

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“FOTOCATÁLISIS DEL DIÓXIDO DE TITANIO EN
LA REDUCCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS,
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUAS
RESIDUALES DE UNA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL, LIMA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autor:

David Alfredo Vidal Chiclayo

Asesor:

Mg. Iselli J. Murga Gonzales

Trujillo - Perú

2021

Dedicatoria

Dedicado a mi familia y amigos que siempre me dieron su amor y apoyo incondicional, en especial a mi Padre que siempre fue y será mi ejemplo por seguir, a mi madre que siempre me aconseja y cuida, y también a mi hija Isabella quien siempre es una motivación para seguir adelante y nunca darme por vencido.

Agradecimiento

Agradecimiento a mis abuelos y a mis padres quienes me formaron, educaron e inculcaron valores; a mis profesores quienes no solo brindaron enseñanzas en el aspecto educativo, sino también en el aspecto ético y moral para ser un buen profesional, por último, un agradecimiento especial a Nicole Guevara quien siempre estuvo ahí para motivarme y apoyándome para nunca darme por vencido.

Índice de contenido

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas	7
Resumen	8
Introducción	9
1.1. Realidad Problemática	9
1.2. Antecedentes	10
1.3. Bases Teóricas	15
<i>1.3.1. Agua Residual Industrial</i>	15
<i>1.3.2. Parámetros Físicos del agua</i>	15
<i>1.3.3. Parámetros Químicos del agua</i>	16
<i>1.3.4. Parámetros Microbiológicas del agua</i>	16
<i>1.3.5. Dióxido de titanio</i>	16
<i>1.3.6. Efecto Fotocatalítico</i>	17
<i>1.3.7. Fundamento Fotocatalítico</i>	18
<i>1.3.8. Actividad Fotocatalítica</i>	19
<i>1.3.9. Aplicaciones de la Fotocatálisis</i>	20
<i>1.3.10. La Fotocatálisis para la Remediación de Aguas Contaminadas</i>	20
<i>1.3.11. El Dióxido De Titanio (TiO₂) como Fotocatalizador</i>	21
1.4. Formulación del problema	23
1.5. Objetivos	23
<i>1.5.1. Objetivo General</i>	23
<i>1.5.2. Objetivos específicos</i>	23
1.6. Hipótesis	24
<i>1.6.1. Hipótesis General</i>	24
<i>1.6.2. Hipótesis específicas</i>	24

2. Metodología	25
2.1. Tipo de Investigación	25
2.2. Población y Muestra	25
2.2.1. Población	25
2.2.2. Muestra	25
2.2.3. Materiales	26
2.2.4. Dióxido de Titanio	26
2.2.5. Cámara de Fotocatálisis	26
2.2.6. Instrumentos de laboratorio	26
2.2.7. Métodos	27
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	28
2.3.1. Toma de muestra	28
2.3.2. Recolección de Datos	28
2.3.3. Procedimiento	29
2.3.4. Consideraciones Éticas	30
3. Resultados	31
3.1. Resultado 1	31
3.2. Resultado 2	31
3.3. Resultados 3	40
4. Discusión y conclusiones	48
4.1. Discusión	48
4.2. Conclusiones	49
4.3. Limitaciones	50
5. Referencia	51
Anexos	54

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de Fotocatálisis en una superficie con Óxido de Titano	18
Figura 2: Variación de la energía de Gibbs durante un proceso de fotocatalisis	19
Figura 3: Diferencia entre los conceptos de catalizador y fotocatalizador	20
Figura 4: Estructura cristalina del TiO ₂	22
Figura 5: Gráfico del cambio de pH en los diferentes ensayos.....	33
Figura 6: Gráfico del cambio de conductividad en los diferentes ensayos.....	34
Figura 7: Gráfico del cambio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los diferentes ensayos	35
Figura 8: Gráfico del cambio de la Demanda Química de Oxígeno en los diferentes ensayos	36
Figura 9: Gráfico del cambio de los sólidos Totales en suspensión en los diferentes ensayos	37
Figura 10: Gráfico del cambio de los Coliformes Totales en los diferentes ensayos	38
Figura 11: Gráfico del cambio de los Coliformes Termotolerantes en los diferentes ensayos.....	39
Figura 12: Gráfico del cambio de pH en los diferentes ensayos.....	41
Figura 13: Gráfico del cambio de Conductividad en los diferentes ensayos	42
Figura 14: Gráfico del cambio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los diferentes ensayos	43
Figura 15: Gráfico del cambio de la Demanda Química de Oxígeno en los diferentes ensayos ..	44
Figura 16: Gráfico del cambio de los Sólidos Totales en los diferentes ensayos	45
Figura 17: Gráfico del cambio de los Coliformes totales en los diferentes ensayos	46
Figura 18: Gráfico del cambio de los Coliformes Termotolerantes en los diferentes ensayos.....	47

Índice de Tablas

Tabla 1: Parámetros de Aguas Residuales Industriales	15
Tabla 2: Propiedades físicas y estructurales de la Anatasa y Rutilo (TiO ₂).....	22
Tabla 3: Equipo de medición	28
Tabla 4: Cantidad de efluente para análisis	29
Tabla 5: Resultado de los parámetros de la muestra original	31
Tabla 6: Resultados para el cálculo de tiempo de exposición a la luz ultravioleta.....	32
Tabla 7: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los parámetros obtenidos por tiempo	32
Tabla 8: Límite superior, inferior, promedio y desviación del pH	33
Tabla 9: Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Conductividad	34
Tabla 10: Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	35
Tabla 11: Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Química de Oxígeno	36
Tabla 12: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Sólidos Totales en Suspensión	37
Tabla 13: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Totales.....	38
Tabla 14: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Termotolerantes	39
Tabla 15: Resultado de tres diferentes concentraciones de TiO ₂ en agua residual	40
Tabla 16: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los parámetros obtenidos por las diferentes cantidades que se usaron	40
Tabla 17: Límite superior, inferior, promedio y desviación del pH	41
Tabla 18: Límite superior, inferior, promedio y desviación de la conductividad.....	42
Tabla 19: Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	43
Tabla 20: Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Química de Oxígeno	44
Tabla 21: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Sólidos Totales.....	45
Tabla 22: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Totales.....	46
Tabla 23: Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Termotolerantes	47

Resumen

El presente trabajo tuvo por finalidad, mostrar los parámetros iniciales del agua residual de una empresa Agroindustrial sin ningún tipo de tratamiento, y determinar cómo los diferentes tiempos de exposición a la luz ultra violeta (15 ,30 ,60 ,90 y 120 minutos) y las diferentes cantidades de Dióxido de titanio (50, 75 ,100 ,150 y 250 g/Lt) influyen en los parámetros tanto físicos, químicos y microbiológicos de dicha agua residual. Para ello se tuvo que realizar el muestreo en la misma empresa, y realizar la extracción de suficiente efluente para determinar sus parámetros, construir una cámara fotocatalítica mediante la cual se concentraran la luz ultravioleta, emitido por 2 focos y obtener Dióxido de Titanio. Como resultados más significativos se obtuvo en la Demanda Química de Oxígeno y en la Demanda Bioquímica de Oxígeno , donde se muestra una diferencia significativa con la muestra original, por otro lado, el cambio en los parámetros microbiológicos demuestra una reducción a considerar ya que va desde 49×10^7 hasta 12×10^5 , por lo tanto, al interpretar los resultados se puede decir que como tiempo óptimo de exposición a la luz ultravioleta 60 minutos y de cantidad de TiO_2 una relación de 150 g/Lt.

Palabras clave: Dióxido de Titanio, Luz Ultravioleta, Parámetros Físicos químicos y microbiológicos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno

Introducción

1.1. Realidad Problemática

El agua es un componente esencial para el ambiente donde se desarrolla la vida, a pesar que el 75% de la superficie de la tierra se encuentra cubierta por agua, se le considera un elemento que es fácil de vulnerar y alterar, ya sea por contaminantes antropogénicos como el vertimiento de aguas residuales o naturales como la erupción de volcanes acuáticos. Las actividades económicas siendo cada vez más intensivas el uso del agua y al mismo tiempo vertiendo sus residuos en océanos lagos o ríos, causando alteraciones en el ecosistema y afectando de manera directa e indirecta al hombre (Zegarra, 2014).

Se calcula que aproximadamente el 80 % del agua residual en el mundo es vertida, sin recibir un tratamiento previo, que alrededor de 340 000 niños menores de cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas. Para ello la Organización de las Naciones Unidas, realizaron acuerdos como “Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo del Abastecimiento de Agua y del Saneamiento” con la esperanza de reducir la contaminación por el vertimiento de aguas residuales, y la reducción de muertes por las enfermedades causadas por el consumo de agua que se encuentra en condiciones poco salubres (OMS, 2017).

En América Latina y el Caribe, Estados Unidos, la contaminación patógena severa afecta a casi un tercio de los tramos de río, considerando que este tipo de contaminación presentan elementos en el agua capaces de producir una enfermedad, afectando principalmente a las personas más vulnerables, que son los habitantes de zonas rurales, las mujeres (por el uso del agua en labores domésticas), los niños (por el uso del agua en actividades recreativas en aguas) y los pescadores. Las causas de la contaminación han ido en crecimiento de la población, aumento de la actividad

económica, la intensificación, expansión de la agricultura y una mayor cantidad de conexiones al alcantarillado con un nivel bajo o nulo de tratamiento de aguas (ONU, 2012).

Desde el punto de vista de UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), a pesar de que los niveles de contaminación de los cuerpos de agua en la América Latina son graves y están empeorando, la mayor parte de los tramos de los ríos u océanos aún no se encuentran contaminados, según el presente programa de las Naciones Unidas, existen oportunidades para detener la contaminación y recuperar la calidad los cuerpos de agua. Para ello se necesitan principalmente políticas públicas inteligentes y una adecuada gobernanza; los estados deben implementar políticas públicas que resulten en un uso eficiente del agua; que generen incentivos para los actores relevantes; y que garanticen niveles adecuados de inversión en tecnología (UNEP, 2016).

En Perú, 60 % de la población peruana, es decir más de 18 000 000 de personas, vive en la costa, de ellos tienen acceso solo a 2,2 % de toda el agua que se produce en el país. En Lima aproximadamente 3 600 peruanos al año mueren por consumir agua no apta para el consumo humano, siendo la mayoría niños de bajos recursos, provocadas por enfermedades a causa de la insalubridad del agua. Se debe considerar que no solo afecta de esa manera a la población, sino también de manera indirecta alterando y envenenando el ecosistema ya sea el caso de microorganismos patógenos u otros (MONGABAY, 2016).

1.2. Antecedentes

Se han considerado las siguientes investigaciones como antecedentes sobre la fotocatalisis del dióxido de titanio y reducción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en aguas residuales.

El autor Carbajo (2013), en la investigación *Aplicación de la fotocatalisis solar a la degradación de contaminantes orgánicos en fase acuosa con catalizadores de TiO₂*, tiene como objetivo el estudio de la actividad fotocatalítica y los aspectos operacionales durante la aplicación de la fotocatalisis solar a distintos contaminantes y/o mezclas de contaminantes orgánicos, los resultados obtenidos en el estudio comparativo de diferentes TiO₂, la mejor eficiencia fotocatalítica observada en los catalizadores preparados mediante metodologías sol-gel puede ser explicada por un balance adecuado entre las propiedades estructurales. Concluyendo que la fotoactividad de cada catalizador es función de la estructura y naturaleza química del contaminante estudiado, y que posee por tanto un carácter multidimensional, es decir, la actividad viene relacionada con varias propiedades del catalizador que son específicas para cada familia de contaminantes.

Maldonado et al. (2015), en la investigación *Degradación De Contaminantes Emergentes Mediante TiO₂ Inmovilizado E Irradiación Solar*, tiene como objetivo central en la síntesis de un fotocatalizador de TiO₂ inmovilizado sobre un soporte transparente a la radiación UV, que permita la degradación de los contaminantes emergentes presentes en el efluente de una EDAR (Estación Depuradora De Aguas Residuales) mediante la utilización de radiación solar, los resultados mostraron un 90% de degradación bacteriana, aunque el sistema no mostró una mejora significativa respecto al sistema de TiO₂ en suspensión. Concluyendo que el fotocatalizador inmovilizado es capaz de degradar la mayoría de los CEs en menos de 40 minutos de tiempo de iluminación (t_{30W}).

La autora Sevilla (2015), en la investigación *Eliminación de Gentamicina en agua mediante fotocatalisis*, tiene como objetivo del trabajo incluyen evaluar la presencia de Gentamicina en efluentes y en el medio ambiente; analizar las diferentes tecnologías con potencial

para degradar la Gentamicina en medio acuoso; y evaluar la potencialidad de la fotocatalisis como tecnología para eliminar la Gentamicina a bajas concentraciones, concluyendo que es un método eficaz, aunque necesita un mayor desarrollo para mejorar su eficacia y conseguir que sea un método de fácil aplicación.

Temporetti (2015), en su investigación *Fotocatálisis Heterogénea Para La Desinfección De Aire En Ambientes Interiores*, tiene como objetivo de este trabajo es el estudio de la fotocatalisis heterogénea aplicada en la desinfección de aire, utilizando la *Escherichia coli* como microorganismo modelo. Para tal fin se construye un fotorreactor de configuración simple de laboratorio para realizar un estudio cinético, resultados indican del modelo obtenidos mediante el ajuste lineal, para los procesos de desinfección de aire, que demuestran que la fotocatalisis es un proceso viable para la desinfección del aire.

Los autores García-Hernández, Alva-Araujo, Morales-Mendoza y Rodríguez-Vázquez, en la investigación llamada *Purificación de agua de lluvia en un reactor de fotocatalisis heterogénea con TIO₂ /UV/AIRE* tiene como conclusión que la fotocatalisis es un proceso de oxidación avanzada, a través de la fotorreacción con un catalizador para generar especies reactivas de oxígeno, las cuales degradan contaminantes orgánicos y eliminan microorganismos. la finalidad de esta investigación fue evaluar el potencial de un POA para la purificación del agua de lluvia recolectada y almacenada durante 5 años en cisternas del Cinvestav-IPN de la Ciudad de México. Se realizaron análisis microbiológicos y determinación de metales del agua en las cisternas. Se determinó que llegaron a eliminar completamente los coliformes totales (9.3×10^4 NMP/100 mL) y *E. coli* (1.5×10^4 UFC/mL). Además, se obtuvo una disminución en la DQO (44 a 39 mg/Lt), de COT (0.7588 a 0.4834 mg/Lt) y de NT (6.2029 a 4.7385 mg/Lt). En este estudio se

comprobó que el sistema de fotocátalisis con nano -TiO₂ /UV/aire es factible para potabilizar el agua de lluvia almacenada.

Rosenberg (2018), en la investigación *Inactivación De Escherichia Coli Aerotransportada En Ambientes Interiores Mediante Fotocatálisis Heterogénea*, tiene como objetivo principal es el estudio de procesos de inactivación de Escherichia coli (E. coli) utilizando filtros de aire absolutos con un fotocatalizador (TiO₂) soportado en combinación con radiación UVA, los resultados indican que los ensayos de inactivación en filtros de aires absolutos mediante fotocátalisis heterogénea (UVA + TiO₂), concluyendo que La fotocátalisis heterogénea es un proceso altamente efectivo en la inactivación de E. coli, lográndose un porcentaje de inactivación mayor.

Huanca (2019), en su investigación llamada *Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocátalisis heterogénea*, dice que, para la evaluación, se muestreo y analizó antes y después de 2 o 4 horas de tratamiento para su análisis respectivo de DQO. Para días nublados, el pH, tiempo de tratamiento y concentración de H₂O₂ en la degradación de aguas residuales es 4, 4 horas y 1 1g/Lt, respectivamente, en estas condiciones se logró el mayor porcentaje de degradación del 62,75%, de la prueba de hipótesis, el tiempo de tratamiento y concentración de H₂O₂ influyen significativamente en el porcentaje de degradación de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Lo que es contrario con el pH, por lo que se concluye que el tratamiento de aguas residuales de la UNCP con fotocátalisis heterogénea es viable.

Muñoz et al. (2019) en la investigación llamada *Influencia de la concentración del TiO₂ y tiempo de tratamiento en la degradación de aguas residuales de camal por fotocátalisis heterogénea*, determinaron la influencia de la concentración del y tiempo de tratamiento en la reducción de DQO de aguas residuales de camal por fotocátalisis heterogénea, para conocer sus

condiciones iniciales, se analizó la DQO y pH de aguas residuales del Camal Municipal de la Provincia de Chupaca, en el desarrollo experimental, en el tratamiento, el efluente se alimentó a los módulos que estaban expuestos a los rayos solares y en posición horizontal, y en función al diseño experimental y concluido el tratamiento, se muestreo el efluente tratado para su análisis respectivo, previamente se determinó que la mejor condición de pH es 6; así mismo que el tiempo de tratamiento y concentración de TiO_2 óptimo es 4 horas y 1,52 mg/Lt, respectivamente, en el tratamiento del agua residual sintético del camal, el porcentaje de reducción de DQO de aguas residuales promedio es 86,75%; mientras que en el tratamiento del efluente real a la concentración del TiO_2 y tiempo de tratamiento óptimo, la reducción de DQO en 5 horas fue 36,31%. Finalmente, se concluyó que el tiempo de tratamiento influye significativamente en la reducción de DQO y es contraria para la concentración del TiO_2 y la interacción concentración del TiO_2 X tiempo de tratamiento.

Zorrilla y Rosales (2017) consideraron tres niveles para la variable tiempo de tratamiento: 1, 2 y 3 horas. El volumen del efluente simulado a tratar es 25 L por cada módulo, 25 mg/Lt, de dióxido de titanio (TiO_2), el efluente simulado se alimentó al módulo, el cual se ubicó horizontalmente y se expuso a los rayos del sol, y se energizó la bomba para iniciar el tratamiento. Luego de 1, 2 y 3 horas se tomaron las muestras respectivas para ser analizadas, se concluyó que el porcentaje de degradación de materia orgánica y color en la fotocatalisis es 83,47% y 40,33%, 90,62% y 60,85%, respectivamente, a partir de los datos experimentales, se determinó el tiempo óptimo, para la degradación de materia orgánica y es 2,76 y 4,85 horas, y 3,18 y 4,85 horas, respectivamente.

1.3. Bases Teóricas

1.3.1. Agua Residual Industrial

Las aguas residuales industriales son las que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyendo los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje (OEA, 2013).

El Agua Residual Industrial, por el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM pertenece a la Categoría 2 (actividades de Extracción y Cultivo Marino Costeras y Continentales), Sub-Categoría C3. (Otras Actividades en aguas marino-costeras). Entiéndase a aguas destinadas para actividades diferentes a las precisadas en las subcategorías C1 y C2, tales como infraestructura marina portuaria, de actividades industriales y de servicios de saneamiento.

Tabla 1

Parámetros de Aguas Residuales Industriales

Parámetros	Unidad de medida	C3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/Lt	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/Lt	15
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/Lt	70
Temperatura	°C	Δ 3
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000
Coliformes Totales	NMP/100 ml	1 000
Conductividad	(uS/cm)	2 500

Nota. Ministerio Del Ambiente (2018).

1.3.2. Parámetros Físicos del agua

Existen ciertas características del agua, se consideran físicas porque son perceptibles por los sentidos (vista, olfato o gusto), y tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua. (ANA, 2017).

1.3.3. Parámetros Químicos del agua

Los análisis químicos constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua. Entre los contaminantes químicos, los que generan especial inquietud son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinógenas.

Por otro lado, el empleo de desinfectantes químicos para tratar el agua produce, por lo general, la formación de productos químicos secundarios, algunos de los cuales son potencialmente peligrosos. Entre las sustancias químicas de importancia para la salud que pueden afectar el agua potable, destacan el cadmio, el cianuro, el cobre, el mercurio y el plomo.

Considerando que existen sustancias químicas que resaltan entre las demás, entre ellas, resaltan parámetros como el cloruro, el cobre, el manganeso y el total de sólidos disueltos. Asimismo, hay que tomar en cuenta la dureza del agua. (pH, Dureza, Alcalinidad, Coloides, Acidez mineral, Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Totales, etc.) (ANA, 2017).

1.3.4. Parámetros Microbiológicas del agua

Son los microorganismos indicadores de contaminación y/o microorganismos patógenos para el ser humano analizados en el agua. (Coliformes totales, Termo tolerantes, etc.) (ANA, 2017).

1.3.5. Dióxido de titanio

El dióxido de titanio es un compuesto inorgánico de color blanco que se emplea desde hace casi un siglo en una enorme cantidad de productos diversos. Se confía en esta sustancia porque aporta luminosidad sin ser tóxica ni reactiva, lo cual permite intensificar la blancura y el brillo de muchos materiales de forma segura.

Se trata del pigmento conocido más blanco y brillante, posee cualidades reflectantes y es capaz tanto de dispersar como de absorber los rayos ultravioletas (Tuesta, 2004).

Según Bermejo (2018) Las principales ventajas de aplicar el TiO₂ son :

El proceso fotocatalítico se realizará a temperatura ambiental y presión atmosférica, por lo que no se necesitarán instalaciones complejas y se reducen los costes energéticos y económicos.

La reacción fotocatalítica tendrá lugar mediante radiación solar o artificial, mediante lámparas de baja potencia.

Al tener un alto poder oxidativo y una escasa o nula selectividad el proceso es capaz de destruir multitud de sustancias e incluso mezclas muy complejas.

Dota a las superficies simultáneamente de capacidad de desinfección, autolimpieza y descontaminación.

1.3.6. Efecto Fotocatalítico

La fotocatalisis parte del principio natural de descontaminación de la propia naturaleza. Podría decirse que es la fotosíntesis de las superficies urbanas, aun que interfieren distintos procesos y variables en cada proceso. Al igual que la fotosíntesis, gracias a la luz solar, es capaz de eliminar CO₂ para generar materia orgánica, la fotocatalisis elimina otros contaminantes habituales en la atmósfera, como son los NO_x, SO_x, COVs, mediante un proceso de oxidación activado por la energía solar.

Garcés (2004) afirma que la fotocatalisis es una reacción catalítica que implica la absorción de luz por parte de un material sólido que actúa como fotocatalizador o sustrato que no tiene alteraciones químicas durante y después de la reacción.

Ostwald (2008) define un catalizador como un elemento que aumenta la velocidad de la reacción a la que se adiciona: la presencia de un catalizador en el sistema de reacción se limita a modificar la velocidad de la transformación. El catalizador no se considera ni reactivo ni producto en la reacción.

El fotocatalizador funciona igual que el catalizador, pero cuando este recibe radiación solar o artificial de una determinada longitud de onda para excitar sus partículas que convierte la energía solar en energía química en la superficie de un catalizador.

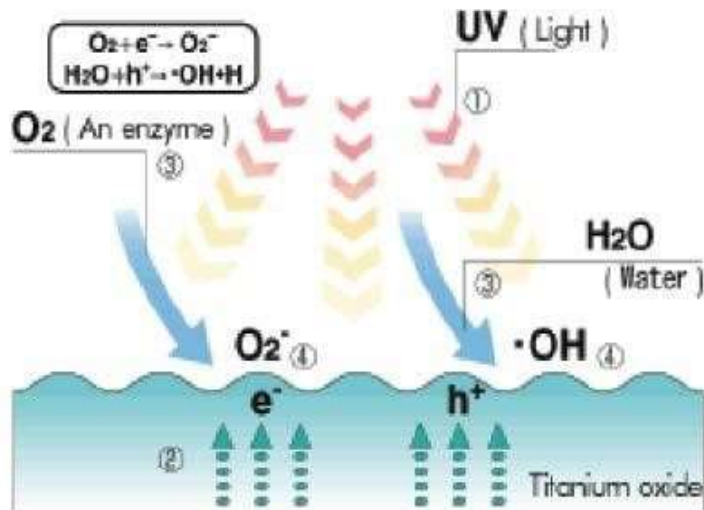


Figura 1. Esquema de Fotocatálisis en una superficie con Óxido de Titanio

Fuente: Juan Peña 2007

1.3.7. Fundamento Fotocatalítico

Primo y García (2013) indican que la fotocatalisis presenta una estructura electrónica de los semiconductores cuya representación se ve en la figura 2.

Los procesos de reducción y oxidación se originan de los compuestos adsorbidos a la superficie del fotocatalizador. Además, que los pares de electrón–huecos fotogenerados, son portadores libres con cargas opuestas que se recombinan rápidamente ante la ausencia de un campo eléctrico (Candal & Herrmann, 1999).

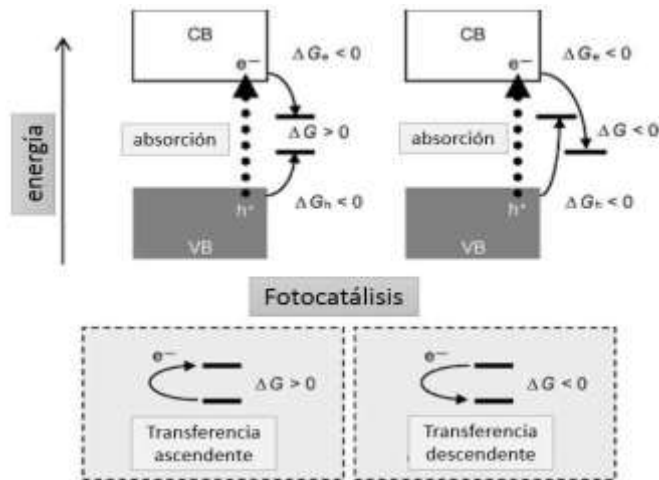


Figura 2. Variación de la energía de Gibbs durante un proceso de fotocatalisis

Fuente: Garcés L. (2004)

1.3.8. Actividad Fotocatalítica

Respecto a la actividad fotocatalítica indican que:

El sitio activo del área de la catálisis indica que el catalizador tiene la capacidad de convertir un determinado sustrato en producto (Mishra, 2015).

La suspensión generada por la fotocatalisis no interviene en la reacción, es por esta razón que no existe una relación directa entre la actividad fotocatalítica y los sitios activos (Ohtani, 2013).

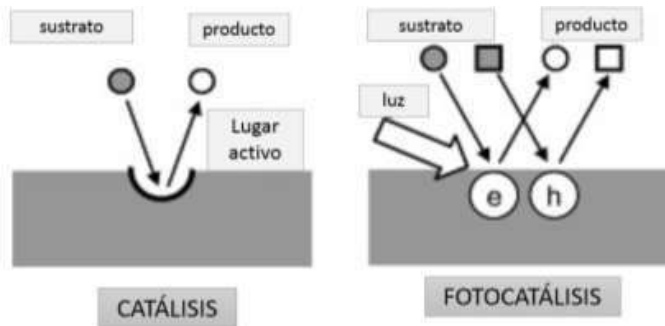


Figura 3. Diferencia entre los conceptos de catalizador y fotocatalizador

Fuente: Ohtani (2013)

1.3.9. Aplicaciones de la Fotocatálisis

Respecto a las aplicaciones de la fotocatalisis indican que:

Degradan contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en el agua como aire, de esta manera contribuye a la remediación ambiental.

Eliminan los microorganismos presentes en el agua, el cual es parte del proceso de desinfección del agua.

Son sistemas eficaces y competitivos en la eliminación de contaminantes emergentes presentes en efluentes permitiendo alcanzar los niveles de desinfección necesarios para que dichos efluentes sean reutilizados.

Producen hidrógeno, usado en las pilas de ciertos combustibles.

1.3.10. La Fotocatálisis para la Remediación de Aguas Contaminadas

Primo y García (2013), afirman los 3 principales puntos:

Los estudios realizados en el laboratorio probaron que la actividad fotocatalítica se refiere a la degradación de los compuestos orgánicos disueltos en el agua. Las tecnologías alternativas a la fotocatalisis, como la oxidación con aire húmedo o la nanofiltración son más adecuados para (oxidación con aire húmedo) altamente concentrada o muy diluida (nanofiltración) de soluciones contaminadas.

Las plantas de aguas residuales municipales se basan en la floculación y sedimentación seguida de la descontaminación biológica; cuando el agua contiene productos químicos, estos compuestos pueden actuar como venenos de las bacterias y por lo tanto este tipo de efluentes no son compatibles con las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

La fotocatalisis puede aumentar la biocompatibilidad de aguas residuales por efectuar la degradación del compuesto bio reduciendo a fragmentos más pequeños que son generalmente más fáciles de procesar biológicamente. Además, la fotocatalisis aumenta el contenido de oxígeno de los productos químicos presentes en el agua e introduce OH y otros grupos funcionales oxigenados que generalmente convierten la química en derivados biodegradables.

1.3.11. El Dióxido De Titanio (TiO₂) como Fotocatalizador

De la Cruz (2013) corroboró que el dióxido de titanio debido a sus diferentes características y propiedades es el catalizador más investigado, por su alta foto actividad, bajo costo y buena estabilidad térmica y química. Existen tres polímeros distintos: anatasa, rutilo y brookita, de los cuales el rutilo es la forma más estable. Los tres polímeros pueden ser sintetizados en laboratorio. En todas sus formas, el átomo de titanio (Ti⁺⁴) se encuentra coordinado con seis átomos de oxígeno (O²⁻), formando el octaedro TiO₆.

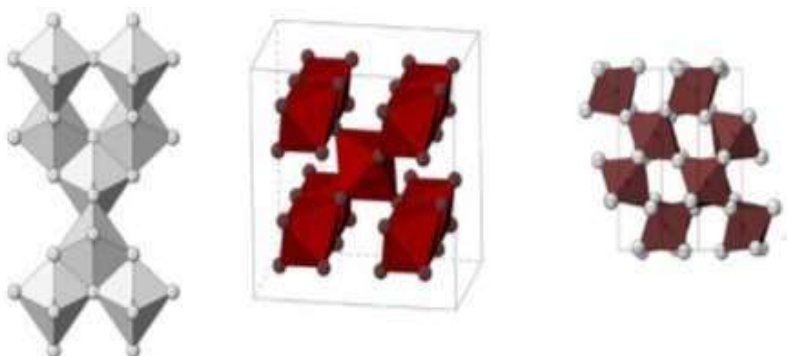


Figura 4. Estructura cristalina del TiO₂

Fuente: (De la Cruz, 2013, pág. 73)

Tabla 2

Propiedades físicas y estructurales de la Anatasa y Rutilo (TiO₂)

Propiedad	Anatasa	Rutilo
Peso molecular (g/mol)	79.88	79.88
Punto de fusión (°C)	1825	1825
Punto de ebullición (°C)	2900	2500
Absorción de luz (nm)	<390	<415
Dureza a Mohr	5.5	6.5-7.0
Índice retroactivo	2.55	2.75
Constante dieléctrico	31	114
Estructura cristalina	Tetragonal	Tetragonal
Densidad (g/cm ³)	3.79	4.13

Fuente: (De la Cruz, 2013, pág. 74)

Según Hernández et al. (2009), el dióxido de titanio el conductor que ha recibido mayor interés en la investigación y desarrollo para su aplicación en fotocatalisis heterogénea, ello en comparación con otros semiconductores. El TiO₂ debido a su abundancia en la corteza terrestre presenta, entre otras ventajas un coste moderado o bajo.

La estabilidad fotoquímica presenta una actividad fotocatalítica relativamente alta, es inerte químicamente y su toxicidad es baja. Por otro lado, posee el inconveniente de que su anchura de banda

prohibida corresponde a la región del espectro electromagnético del ultravioleta cercano, absorbiendo solo una pequeña zona del espectro solar. La mayoría de los semiconductores carece de resistencia mecánica y al mismo tiempo son activos en la región visible del espectro solar.

El TiO_2 se presenta en diferentes polimorfos, con estructuras cristalinas que hacen fácil su reconocimiento. Normalmente se definen tres tipos de estructuras cristalinas del TiO_2 : brookita, anatasa y rutilo. Las dos últimas son las más activas catalíticamente hablando.

1.4. Formulación del problema

¿Cómo la fotocatalisis del dióxido de titanio influye en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en aguas residuales de una empresa agroindustrial?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar como la fotocatalisis del dióxido de titanio influye en los parámetros físicos químicos y microbiológicos en aguas residuales.

1.5.2. Objetivos específicos

Determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos habituales en el agua residual de una empresa agroindustrial.

Determinar el tiempo óptimo de exposición de luz ultravioleta para realizar la fotocatalisis del Dióxido de Titanio.

Determinar la variación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con diferentes cantidades de Dióxido de Titanio, respecto a la muestra original.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

Ha: La fotocatalisis del dióxido de titanio logra influir en los parámetros físicos, químico y microbiológicos en aguas residuales industrial.

Ho: La fotocatalisis del dióxido de titanio no logra influir en los parámetros físicos, químico y microbiológicos en aguas residuales industrial.

1.6.2. Hipótesis específicas

H: Se logra determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos habituales en el agua residual agroindustrial.

Ho: No se logra determinar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos habituales en el agua residual agroindustrial.

Ha: Se logra determinar el tiempo optimo a la luz ultravioleta para una correcta fotocatalisis del TiO₂.

Ho: No se logra determinar el tiempo optimo a la luz ultravioleta para una correcta fotocatalisis del TiO₂.

Ha: Se logra obtener la cantidad optima de TiO₂ para obtener mejores resultados en los parámetros físico, químico y microbiológicos.

Ho: No se logra obtener la cantidad optima de TiO₂ para obtener mejores resultados en los parámetros físico, químico y microbiológicos.

2. Metodología

2.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, dado que tiene como objetivos poner en marcha propuestas prácticas sobre la fotocatalisis del TiO_2 en agua residual agroindustrial, con un diseño experimental ya que se realizó el trabajo en el laboratorio, teniendo en cuenta que se tendrá las dos variables del tipo descriptivo, comparativo pues se buscará determinar el efecto de la cantidad del Dióxido de Titanio respecto al tiempo de exposición a los Rayos Uv en los parámetros físico, químicos y microbiológicos del agua residual industrial, y así proporcionar datos de carácter Longitudinal .

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

La población estará determinada por la cantidad de agua residual de la empresa NEGOCIOS AGROINDUSTRIALES LOS FERROLES S.A.C. producida en un día haciendo un aproximado a 80 mil litros.

2.2.2. Muestra

La muestra será un total de 30 litros de agua residual de la planta agroindustrial, siendo 12 tomas de 2500 ml cada una, las 6 primeras tomas será para determinar el tiempo correcto de exposición a la luz ultravioleta, y las siguientes 6 muestras para ver como dependiendo la cantidad (g/Lt) de Dióxido de Titanio afecta en los parámetros del agua residual.

2.2.3. Materiales

Se recomendó elaborar una lista de equipos y materiales, los cuales serán llevados al campo para la toma de muestra.

Envases para la muestra.

Sistema de refrigeración (caja térmica con hielo o ice pack).

Sistema de posicionamiento satelital.

2.2.4. Dióxido de Titanio

En este trabajo de uso la siguiente relación Dióxido de Titanio respecto a la cantidad de agua residual (50, 75, 100 ,150 y 250 g/Lt.)

El TiO_2 es uno de los óxidos metálicos más estudiados por su actividad fotocatalítica y sus propiedades; es considerado no tóxico, resistente a la corrosión y biocompatible^{5,6}. En presencia de radiación UV, las reacciones que suceden en su superficie permiten generar especies reactivas como electrones (e^-) y huecos (h^+), que a su vez son capaces de provocar reacciones de reducción y oxidación, respectivamente, en el medio circundante. Estos procesos pueden aprovecharse en remediación ambiental, generación de energías limpias, síntesis orgánica, etc.

2.2.5. Cámara de Fotocatálisis

Dado a que no se puede esperar siempre una óptima y continua recepción Rayos UV se optó por fabricar una cámara fotocatalítica casero, mediante 2 focos ultravioletas de 15 watts.

2.2.6. Instrumentos de laboratorio

Se usó los siguientes instrumentos de laboratorio para la preparación de las muestras:

Vasos de precipitación de 1 L.

Balanza analítica.

Agitador magnético.

Embudo.

2.2.7. Métodos

Como métodos de fotocátalisis del TiO₂ se tuvo en cuenta, los siguientes antecedentes.

Los tratamientos de desinfección estudiados se basan en la aplicación de luz UVA- visible (fotólisis) y de UVA- visible catalizada con dióxido de titanio (fotocátalisis).

Las intensidades de irradiación utilizadas son de 250 W/m², 500 W/m² y 750 W/m². La intensidad de 500W/m² corresponde al 50% de la intensidad de la radiación solar natural ecuatorial a medio día (Lanao et al., 2012; Rodríguez-Chueca et al., 2012).

Para realizar los ensayos se vierten 100 ml de muestra en reactores de vidrio borosilicatado (Pyrex) de 250 ml que permite el paso de la radiación UVA. Estos reactores se colocan en el interior de la cámara solar con un agitador magnético, cuya función es proporcionar un medio aireado y una mezcla perfecta durante los experimentos. Previamente, se añade la dosis de TiO₂ requerida que varía desde 5 g/Lt a 200g/Lt, rango de dosis establecidas por ser cercanas a las consideradas óptimas por algunos investigadores

Los tiempos de tratamiento varían entre 2 y 120 minutos, intervalo usado por diferentes autores en sus estudios

Como parámetros de control se miden el pH y la conductividad de las muestras antes y después del tratamiento. Para evaluar la eficacia de los tratamientos aplicados en la desinfección de una muestra se calcula la inactivación bacteriana. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación, donde N₀ es la población bacteriana inicial y N_t, la población que sobrevive al tratamiento de un determinado tiempo t, ambos parámetros medidos en UFC/100 ml. (Castillo, 2016)

Ecuación de Inactivación Bacteriana:

$$\text{Inactivacion Bacteriana: } \log\left(\frac{N_t}{N_0}\right)$$

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Toma de muestra

Antes de tomar muestras del efluente, hay que dejar que el agua corra por las tuberías durante 05 minutos. Luego se colocará el envase contra el sentido de salida del efluente. Los envases para análisis fisicoquímico se deben enjuagar según las veces que sea necesario, y mas no para microbiológicos.

2.3.2. Recolección de Datos

En la Tabla 3 se muestran los parámetros físicos, químicos analizados, los métodos analíticos y la instrumentación utilizada para la caracterización de las muestras de agua.

Tabla 3

Equipo de medición

Parámetro	Equipo	Error
pH	pH-metro	±0,02
Turbidez	Turbidímetro	± 0,5 UNT
Conductividad	Conductímetro	± 0,02 µS/cm
Solidos Totales en Suspensión	Espectrofotómetro	±0,1 mg/Lt
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Fotómetro multiparámetro	±1 mg/Lt
Demanda Bioquímica de Oxígeno	BD 600	±1 mg/Lt

Para los indicadores microbiológicos en el agua se realiza siguiendo las recomendaciones de los Métodos Standard (APHA, 1995), considerándose los siguientes parámetros: Bacterias Heterotróficas por el método de recuento en placa, Numeración de Coliformes Totales y Coliformes fecales (Termotolerantes) por el método de Tubos Múltiples (NMP), Numeración de Streptococos fecales y Enterococos por el método de Tubos múltiples (NMP) y Detección y numeración de Pseudomonas aeruginosa por el método de tubos múltiples (NMP).

2.3.3. Procedimiento

La toma de muestra se realizó en la empresa NEGOCIOS AGROINDUSTRIALES LOS FERROLES S.A.C., Lima y fue enviada a Chimbote (ver Anexo 1).

Para determinar la cantidad de ml. de muestra que se necesitó para el análisis correspondiente se coordinó con el laboratorio encargado de supervisar los resultados COLECBI SAC, los cuales brindaron las siguientes cantidades de muestra:

Tabla 4

Cantidad de efluente para análisis

Análisis	Cantidad en ml
Coliformes Totales	200
Coliformes Fecales	
Conductividad	100
pH	
DBO	1000
DQO	450
Solidos Totales	750
Total	2500

La toma se realizó al final del tratamiento de efluentes, dejando correr aproximadamente 5 minutos para evitar la carga del tubo de salida (Anexo 2 ,3).

La elaboración de la cámara de fotocatalisis, se usó 2 focos ultravioletas en una caja de madera recubierta en su interior por 4 capas aluminio. (anexo 4)

Para determinar el tiempo óptimo de radiación ultravioleta se decidió tomar 3 muestras de 2500 ml y adherir el TiO₂ en relación de 100 g/Lt y dejarlo 15,30, 60 ,90 y 120 Minutos en la cámara Fotocatalítica, donde posteriormente se comparó con el resultado de la muestra original.

Al finalizar de encontrar el tiempo óptimo de exposición, este se usó para encontrar la cantidad de dióxido de titanio ideal para ello se usará la siguiente relación 50, 75, 100, 150 y 250 g/Lt.

2.3.4. Consideraciones Éticas

La presente tesis toma como consideraciones éticas desde los permisos pertinentes a la empresa llamada Negocios Agroindustriales Los Ferroles SAC. para hacerle mención y hacer público los resultados.

Al mismo tiempo la correcta toma de muestra bajo la resolución ministerial de N°273 - 2013-VIVIENDA, también se tomó en cuenta con los permisos pertinentes de la universidad para realizar la Tesis de manera experimental ya que por la coyuntura del año 2020 se optaba en su mayoría ser de carácter descriptivo.

3. Resultados

3.1. Resultado 1

En la siguiente tabla 5 se puede visualizar que los parámetros físicos, químicos y microbiológicos exceden los parámetros dados por el MINAM, cabe resaltar que los resultados obtenidos del agua residual no presentan ningún tipo tratamiento.

Tabla 5

Resultados De los parámetros de la muestra original

ENSAYOS	M0	MINAM
pH	6,89	7.65
Conductividad (mS/cm)	14,5	2 500
D.B.O.5 (mg/Lt)	9826	15
D.Q.O. (mg/Lt)	16867	40
Sólidos Totales (mg/Lt)	7070	70
Coliformes Totales (NMP/100mL)	49x 10 ⁷	1000
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	17x 10 ⁷	1000

3.2. Resultado 2

Como se puede visualizar en la tabla 6 el tiempo de exposición óptimo resulta ser 60 minutos puesto que al compararse los cambios con 15 minutos se nota una mejora en la demanda bioquímica de oxígeno y sobre todo en parámetros microbiológicos, sin embargo, cuando son 120 minutos no muestra un cambio que justifique el tiempo utilizado a comparación a los 60 minutos óptimos.

Tabla 6

Resultados para el cálculo de tiempo de exposición a la luz ultravioleta

ENSAYOS	MUESTRAS 100 g/Lt					
	M0	M-1 15 Min	M-2 30 Min.	M-3 60 Min.	M-4 90 Min.	M-5 120 Min.
pH	6,89	6.9	6.92	6,93	6.93	6.92
Conductividad (mS/cm)	14,5	14,2	14,2	14,0	14,0	14,0
D.B.O.5 (mg/Lt)	9826	6850	6752	6298	6272	6255
D.Q.O. (mg/Lt)	16867	13612	13600	13600	13603	13612
Sólidos Totales (mg/Lt)	7070	107192	107188	107190	107192	107190
Coliformes Totales (NMP/100mL)	49x10 ⁷	97x10 ⁵	92x10 ⁵	88x10 ⁵	88x10 ⁵	87x10 ⁵
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	17x10 ⁷	94x10 ⁵	88x10 ⁵	76x10 ⁵	74x10 ⁵	73x10 ⁵

Tabla 7

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los parámetros obtenidos por tiempo

	Lim Superior	Lim inferior	Prom.	Desv.
pH	6.9314317	6.89856832	6.915	0.0164317
Conductividad (mS/cm)	14.347484	13.9525158	14.15	0.1974842
D.B.O.5 (mg/Lt)	8430.5056	5653.82774	7042.1667	1388.3389
D.Q.O. (mg/Lt)	15480.554	12817.446	14149	1331.554
Sólidos Totales (mg/Lt)	131377.65	49629.6845	90503.667	40873.982
Coliformes Totales (NMP/100mL)	285551450	-107151450	89200000	196351450
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	101184117	-31017450.8	35083333	66100784

Tabla 8

Límite superior, inferior, promedio y desviación del pH

Ensayo	Valor	pH		
		Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	6.89	6.931431677	6.898568323	6.915
M-1 15 Min	6.9	6.931431677	6.898568323	6.915
M-2 30 Min.	6.92	6.931431677	6.898568323	6.915
M-3 60 Min.	6.93	6.931431677	6.898568323	6.915
M-3 90 Min.	6.93	6.931431677	6.898568323	6.915
M-5 120 Min.	6.92	6.931431677	6.898568323	6.915

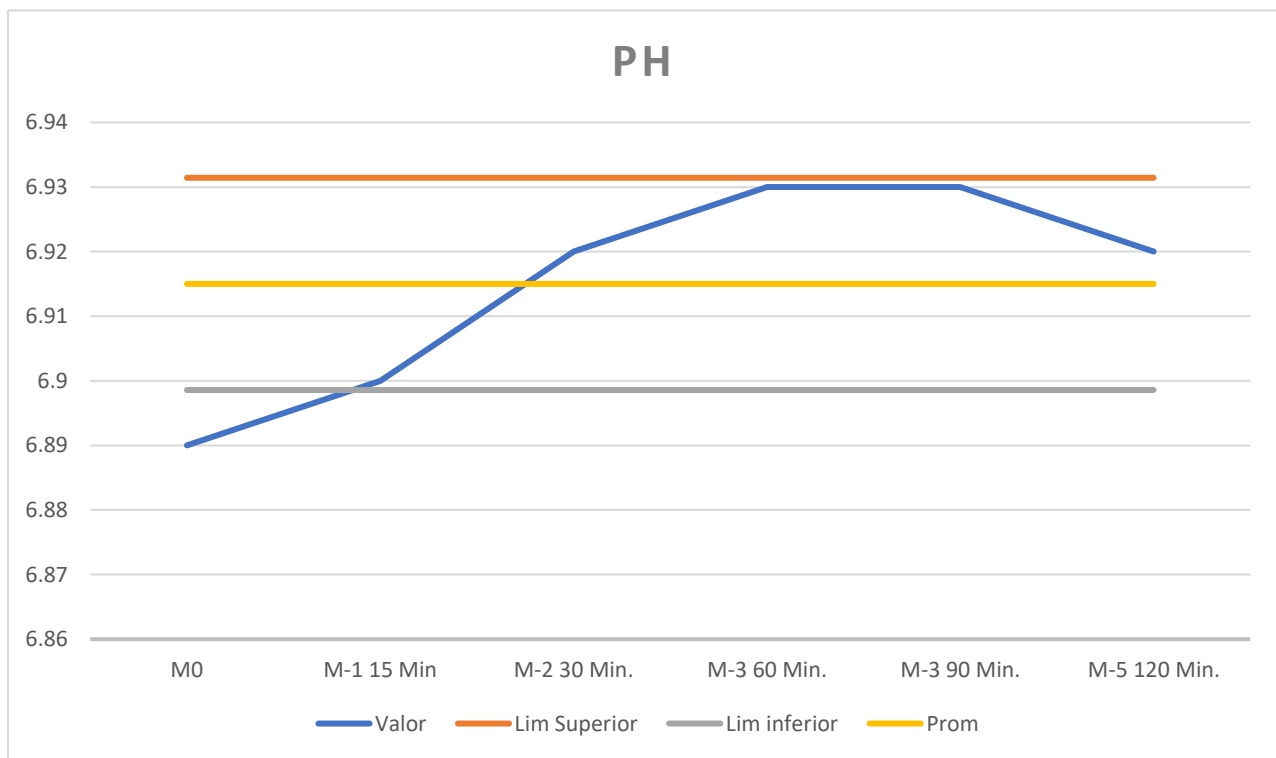


Figura 5. Gráfico del cambio de pH en los diferentes ensayos.

Tabla 9

Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Conductividad

Ensayo	Conductividad (mS/cm)			
	Valor	Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	14.5	14.34748418	13.95251582	14.15
M-1 15 Min	14.2	14.34748418	13.95251582	14.15
M-2 30 Min.	14.2	14.34748418	13.95251582	14.15
M-3 60 Min.	14	14.34748418	13.95251582	14.15
M-3 90 Min.	14	14.34748418	13.95251582	14.15
M-5 120 Min.	14	14.34748418	13.95251582	14.15

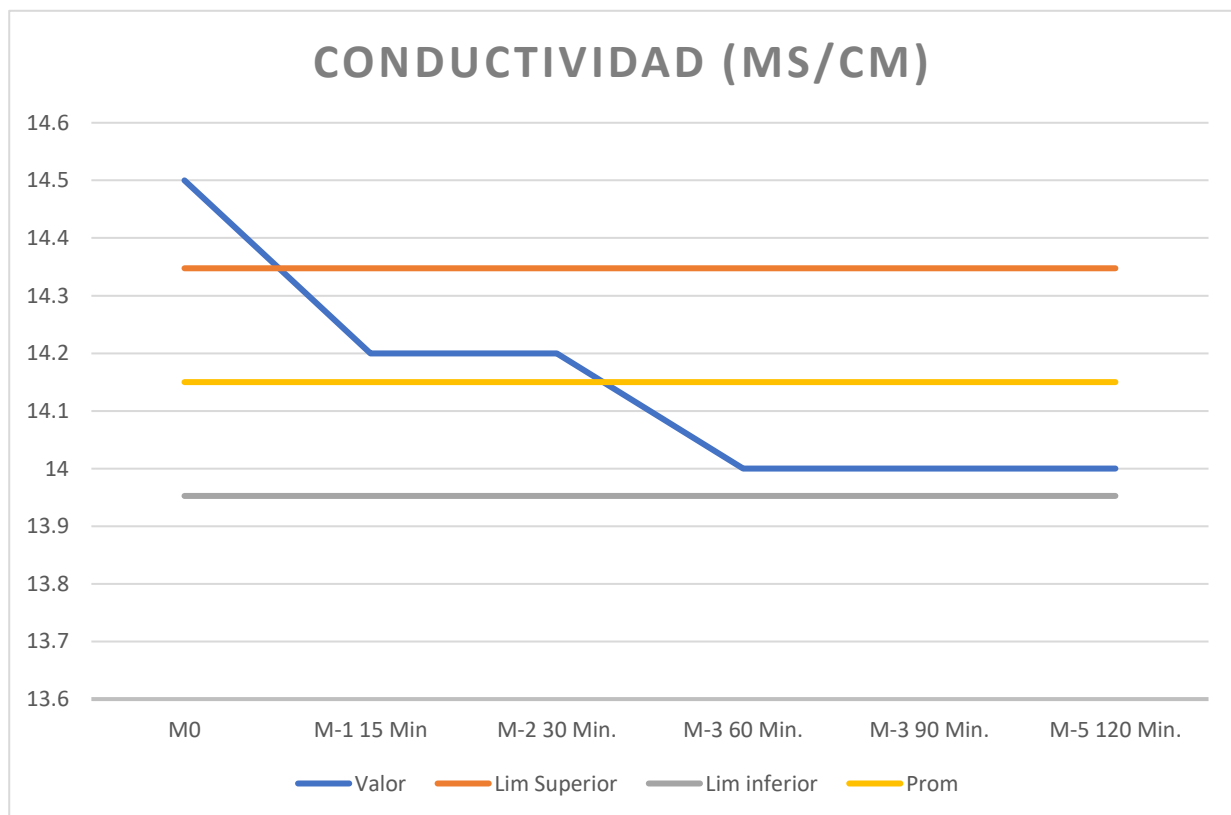


Figura 6. Gráfico del cambio de conductividad en los diferentes ensayos.

Tabla 10

Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Ensayo	Valor	D.B.O.5 (mg/Lt)		
		Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	9826	8430.50559	5653.827743	7042.17
M-1 15 Min	6850	8430.50559	5653.827743	7042.17
M-2 30 Min.	6752	8430.50559	5653.827743	7042.17
M-3 60 Min.	6298	8430.50559	5653.827743	7042.17
M-3 90 Min.	6272	8430.50559	5653.827743	7042.17
M-5 120 Min.	6255	8430.50559	5653.827743	7042.17

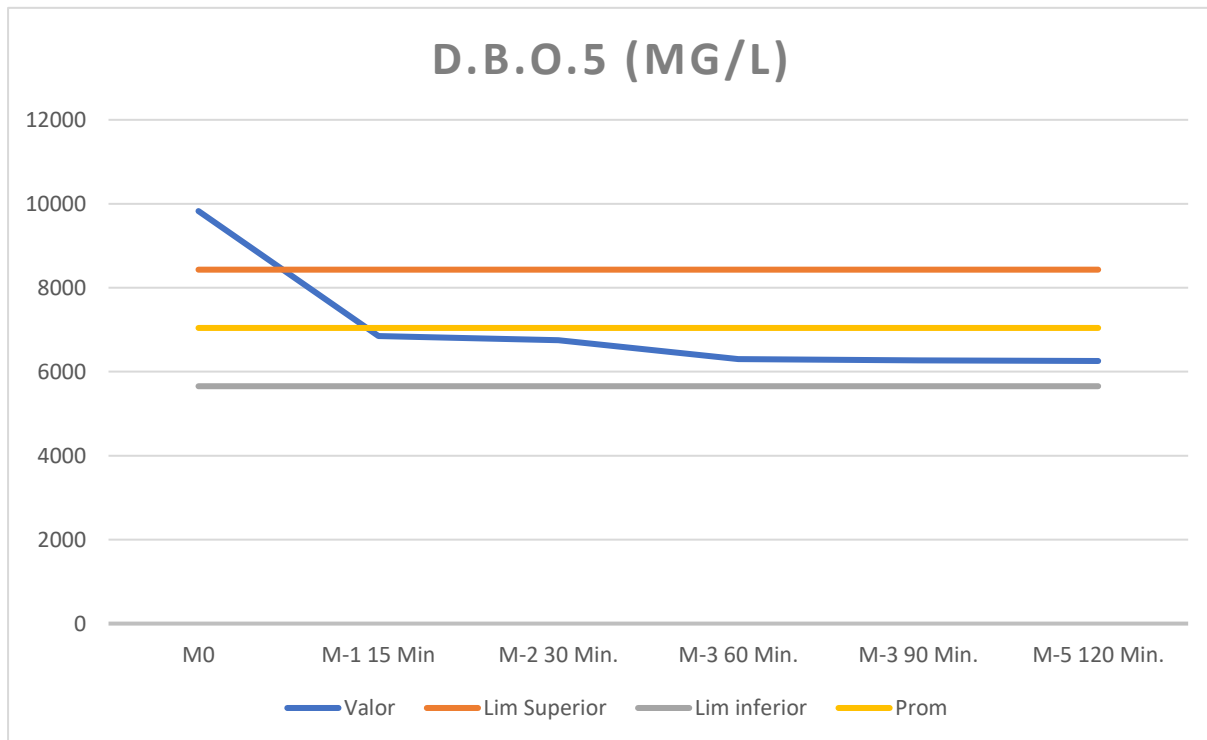


Figura 7. Gráfico del cambio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los diferentes ensayos.

Tabla 11

Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Química de Oxígeno

Ensayo	Valor	D.Q.O. (mg/Lt)		
		Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	16867	15480.55398	12817.44602	14149
M-1 15 Min	13612	15480.55398	12817.44602	14149
M-2 30 Min.	13600	15480.55398	12817.44602	14149
M-3 60 Min.	13600	15480.55398	12817.44602	14149
M-3 90 Min.	13603	15480.55398	12817.44602	14149
M-5 120 Min.	13612	15480.55398	12817.44602	14149

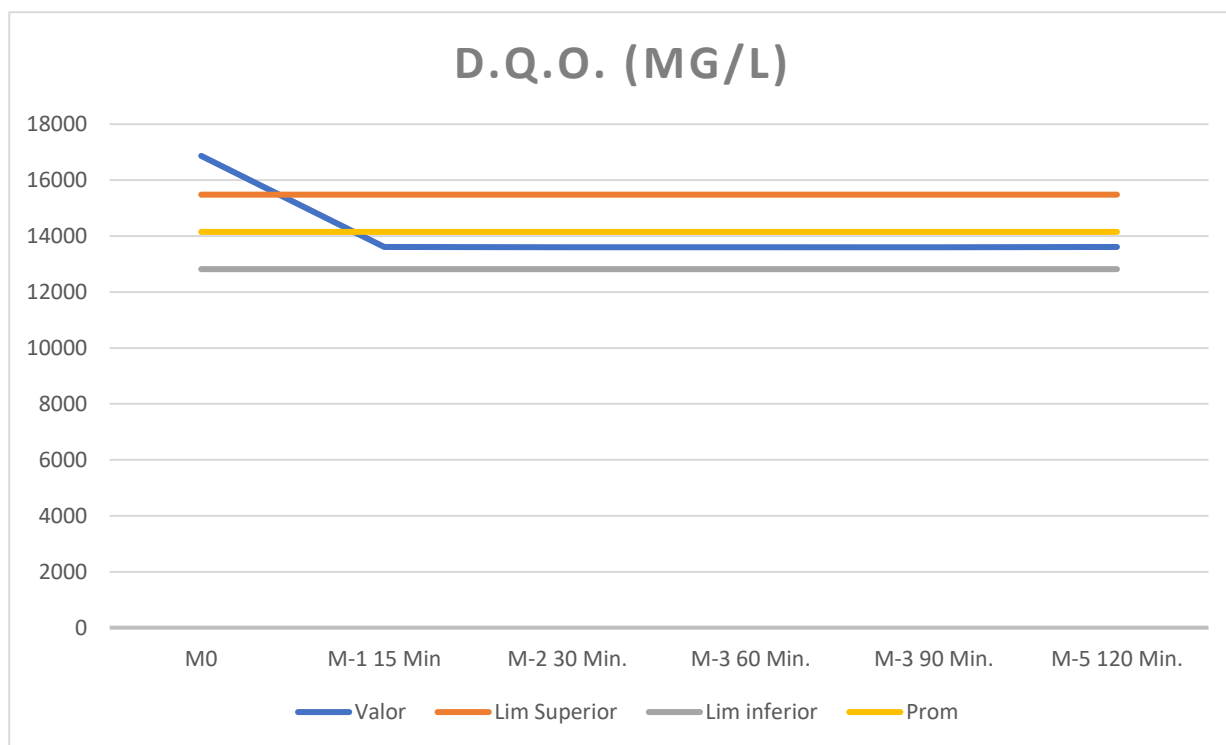


Figura 8. Gráfico del cambio de la Demanda Química de Oxígeno en los diferentes ensayos.

Tabla 12

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Sólidos Totales en Suspensión

Ensayo	Sólidos Totales (mg/Lt)			
	Valor	Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	7070	131377.6488	49629.6845	90503.7
M-1 15 Min	107192	131377.6488	49629.6845	90503.7
M-2 30 Min.	107188	131377.6488	49629.6845	90503.7
M-3 60 Min.	107190	131377.6488	49629.6845	90503.7
M-3 90 Min.	107192	131377.6488	49629.6845	90503.7
M-5 120 Min.	107190	131377.6488	49629.6845	90503.7

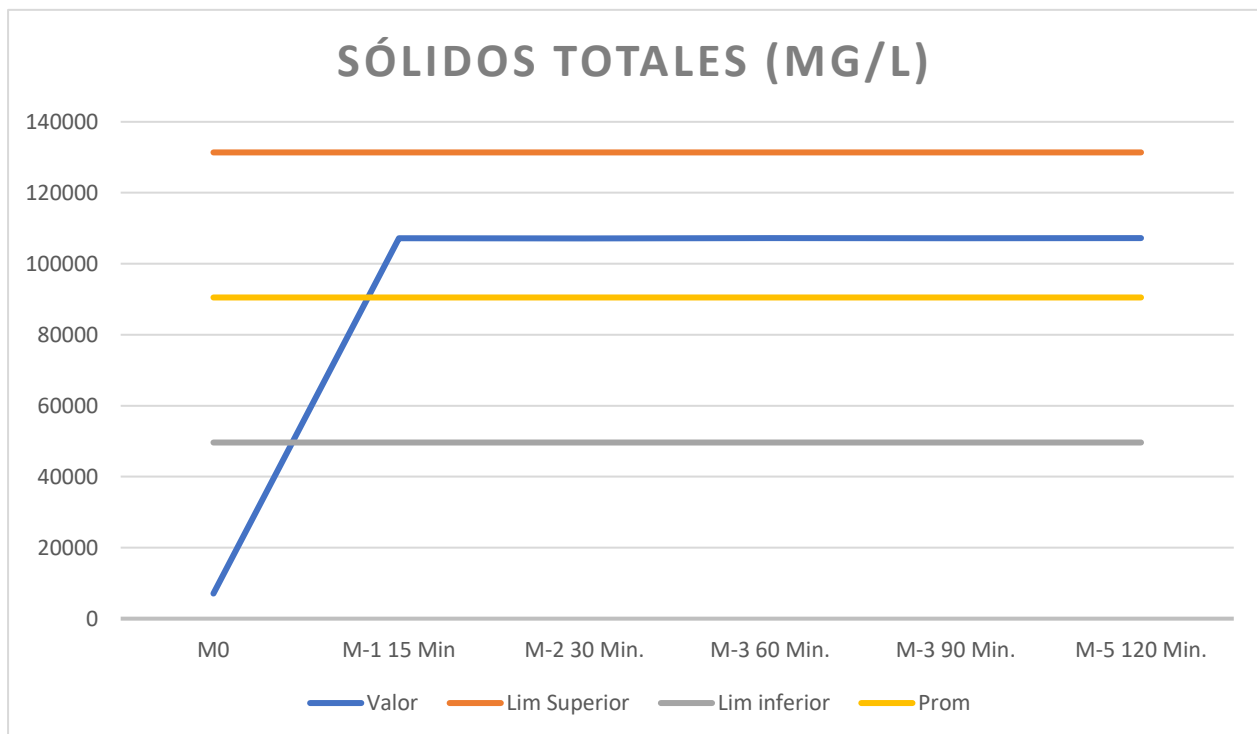


Figura 9. Gráfico del cambio de los sólidos Totales en suspensión en los diferentes ensayos.

Tabla 13

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Totales

Ensayo	Coliformes Totales (NMP/100mL)			
	Valor	Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	490000000	285551450.2	-107151450.2	8.9E+07
M-1 15 Min	9700000	285551450.2	-107151450.2	8.9E+07
M-2 30 Min.	9200000	285551450.2	-107151450.2	8.9E+07
M-3 60 Min.	8800000	285551450.2	-107151450.2	8.9E+07
M-3 90 Min.	8800000	285551450.2	-107151450.2	8.9E+07
M-5 120 Min.	8700000	285551450.2	-107151450.2	8.9E+07

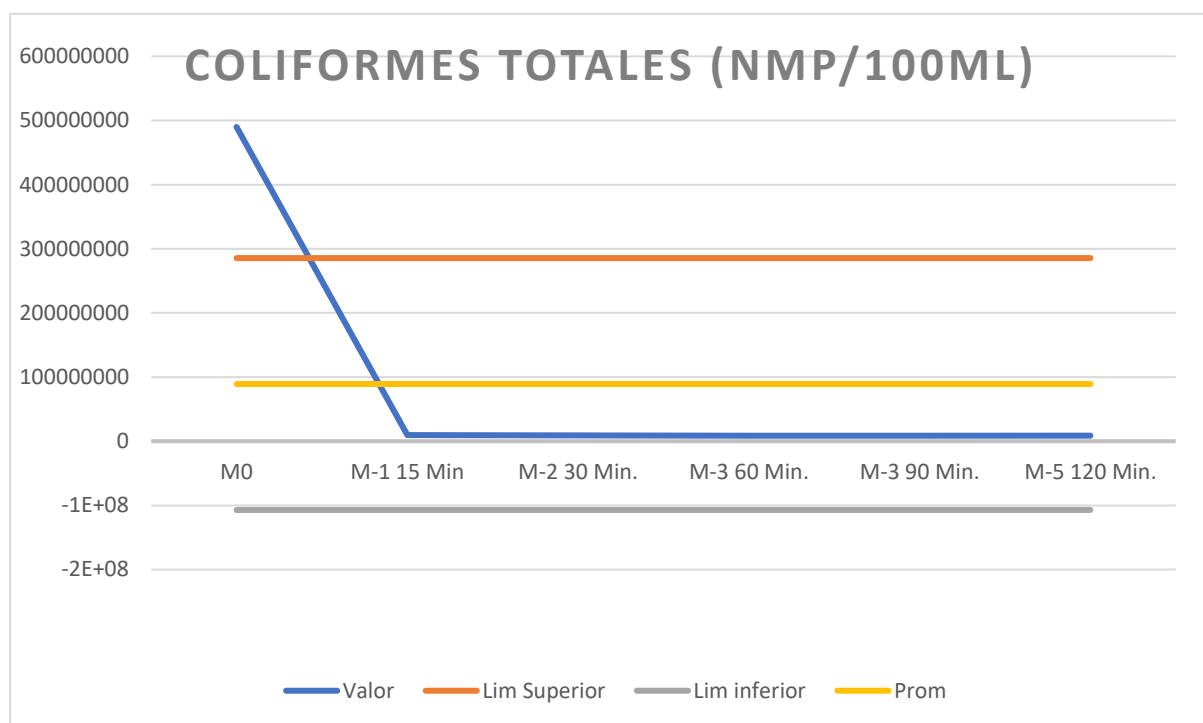


Figura 10. Gráfico del cambio de los Coliformes Totales en los diferentes ensayos.

Tabla 14

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Termotolerantes

Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)				
Ensayo	Valor	Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	170000000	101184117.5	-31017450.83	35083333
M-1 15 Min	9400000	101184117.5	-31017450.83	35083333
M-2 30 Min.	8800000	101184117.5	-31017450.83	35083333
M-3 60 Min.	7600000	101184117.5	-31017450.83	35083333
M-3 90 Min.	7400000	101184117.5	-31017450.83	35083333
M-5 120 Min.	7300000	101184117.5	-31017450.83	35083333

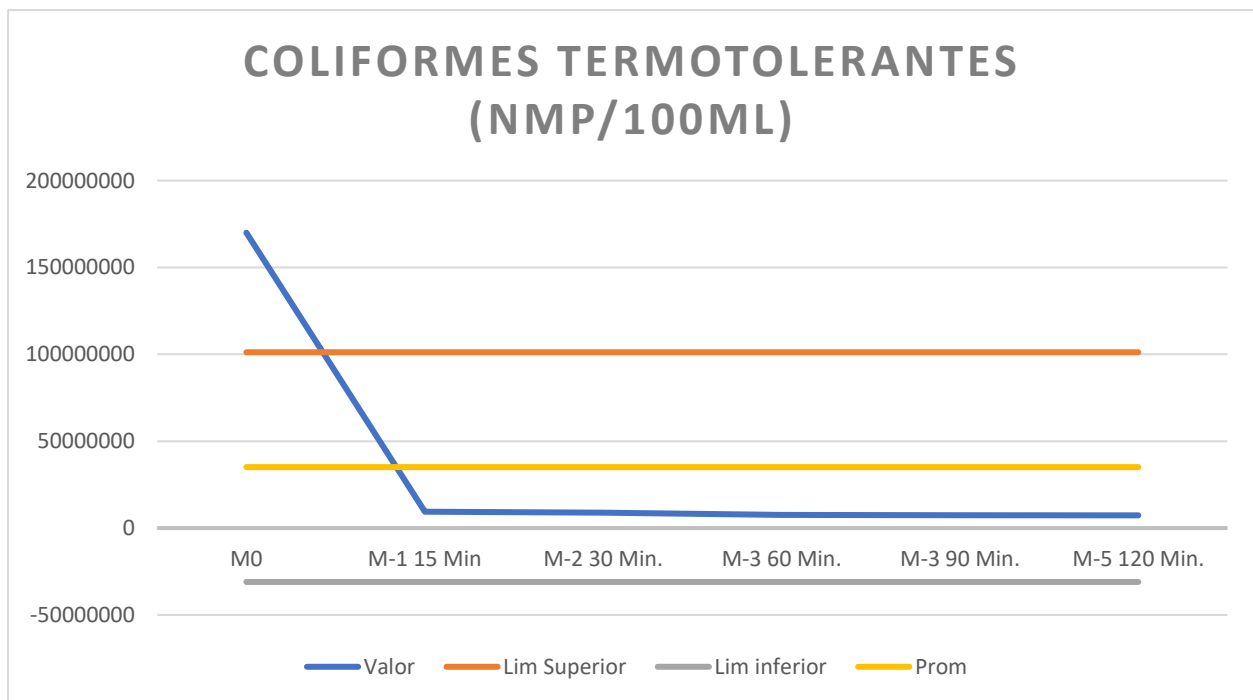


Figura 11. Gráfico del cambio de los Coliformes Termotolerantes en los diferentes ensayos.

3.3. Resultados 3

Después del cálculo del tiempo óptimo de exposición, se usó dicho dato para el cálculo de la cantidad ideal de Dióxido de Titanio, que, a simple vista muestra que 150 gramos por litro muestran una mejora para los parámetros de dicha agua residual a comparación con la inicial.

Tabla 15

Resultados de diferentes concentraciones de TiO₂ en agua residual

ENSAYOS	MUESTRAS					
	M0	M-1 50g	M-2 75g	M-3 100g	M-4 150g	M-5 250g
pH	6,89	7,00	6,97	6,93	6,86	6,86
Conductividad (mS/cm)	14,5	14,2	14,2	14,0	14,0	14,0
D.B.O.5 (mg/Lt)	9826	8887	6782	6298	5773	5433
D.Q.O. (mg/Lt)	16867	14993	13970	13600	11833	9167
Sólidos Totales (mg/Lt)	7070	57050	82620	107190	157910	257820
Coliformes Totales (NMP/100mL)	49x10 ⁷	53x10 ⁶	20x10 ⁶	88x10 ⁵	19x10 ⁵	12x10 ⁵
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	17x10 ⁷	29x10 ⁶	06x10 ⁶	76x10 ⁵	08x10 ⁵	06x10 ⁵

Tabla 16

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los parámetros obtenidos por las diferentes cantidades que se usaron

	Lim Superior	Lim inferior	Prom.	Desv.
pH	6.97678559	6.85988107	6.9183333	0.0584523
Conductividad (mS/cm)	14.3474842	13.9525158	14.15	0.1974842
D.B.O.5 (mg/Lt)	8948.749	5384.251	7166.5	1782.249
D.Q.O. (mg/Lt)	16061.9255	10748.0745	13405	2656.9255
Sólidos Totales (mg/Lt)	199115.904	24104.0964	111610	87505.904
Coliformes Totales (NMP/100mL)	289881856	-98248522.6	95816667	194065189
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	102304634	-30971300.5	35666667	66637967

Tabla 17

Límite superior, inferior, promedio y desviación del pH

Ensayo	Valor	pH		Prom.
		Lim Superior	Lim inferior	
M0	6.89	6.976785593	6.859881074	6.9183333
M-1 50 gr	7	6.976785593	6.859881074	6.9183333
M-2 75 gr	6.97	6.976785593	6.859881074	6.9183333
M-3 100 gr	6.93	6.976785593	6.859881074	6.9183333
M-3 150 gr	6.86	6.976785593	6.859881074	6.9183333
M-5 250 gr	6.86	6.976785593	6.859881074	6.9183333

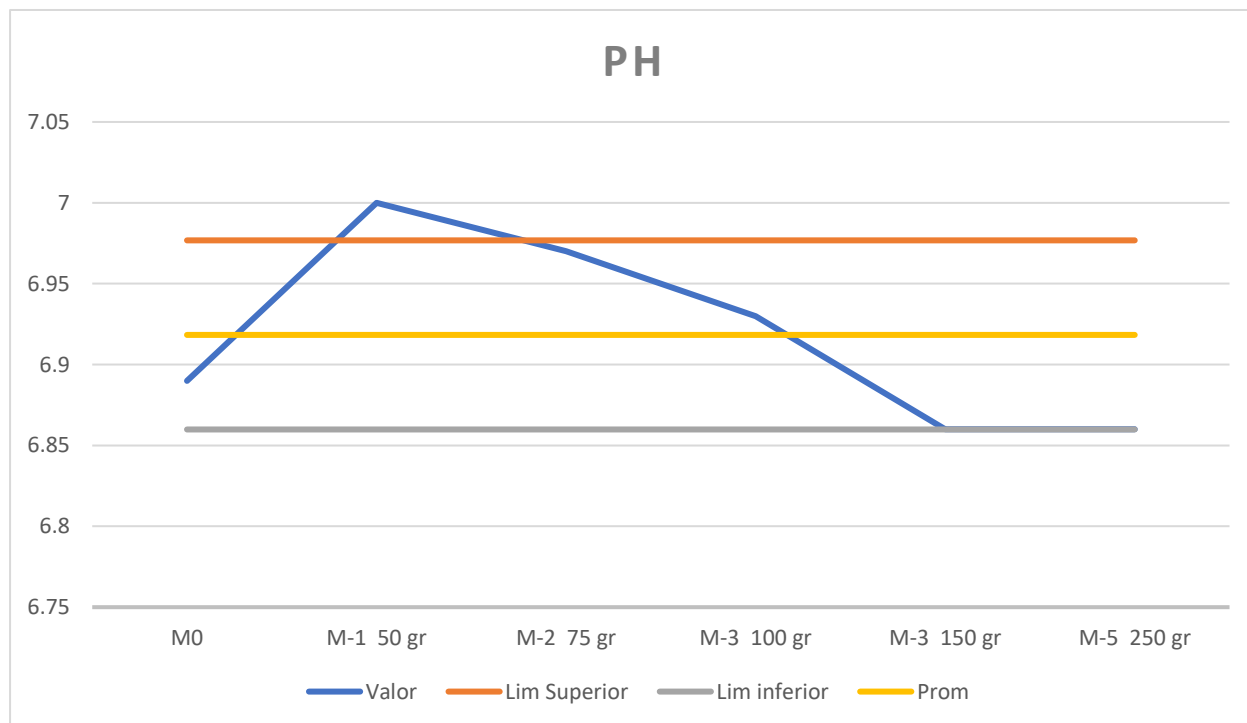


Figura 12. Gráfico del cambio de pH en los diferentes ensayos.

Tabla 18

Límite superior, inferior, promedio y desviación de la conductividad

Ensayo	Conductividad (mS/cm)			
	Valor	Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	14.5	14.3474842	13.9525158	14.15
M-1 50 gr	14.2	14.3474842	13.9525158	14.15
M-2 75 gr	14.2	14.3474842	13.9525158	14.15
M-3 100 gr	14	14.3474842	13.9525158	14.15
M-3 150 gr	14	14.3474842	13.9525158	14.15
M-5 250 gr	14	14.3474842	13.9525158	14.15

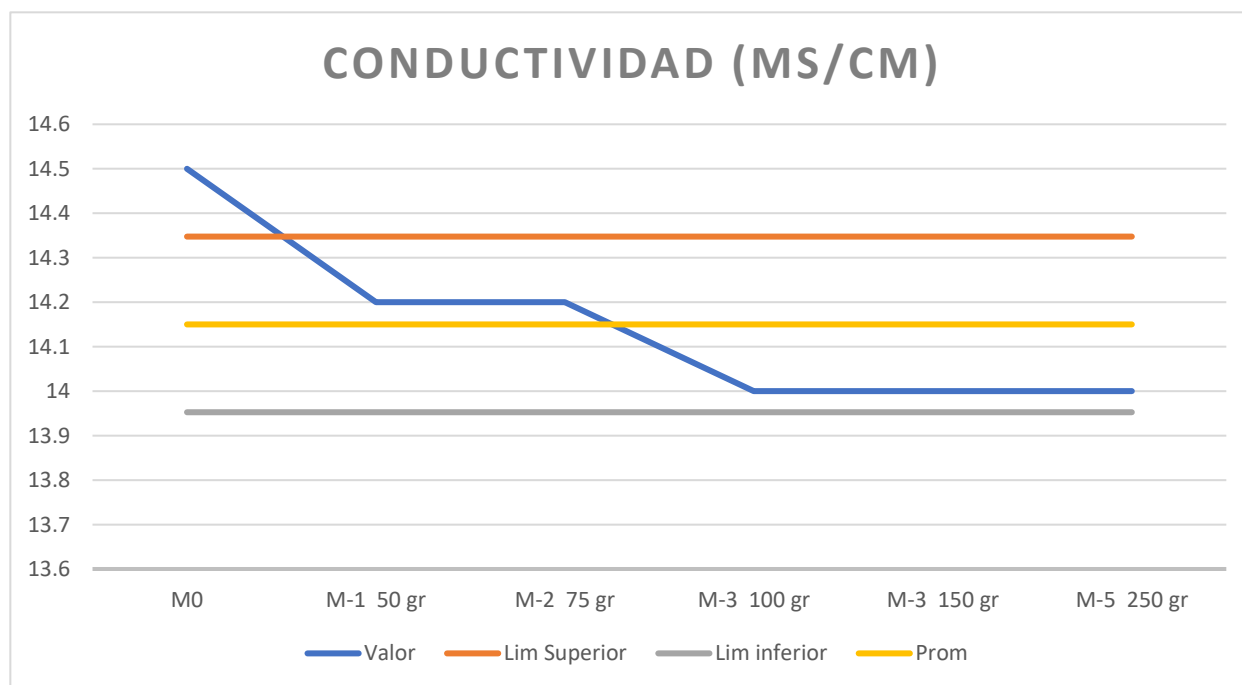


Figura 13. Gráfico del cambio de Conductividad en los diferentes ensayos.

Tabla 19

Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Ensayo	Valor	D.B.O.5 (mg/Lt)		
		Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	9826	8948.749001	5384.250999	7167
M-1 50 gr	8887	8948.749001	5384.250999	7167
M-2 75 gr	6782	8948.749001	5384.250999	7167
M-3 100 gr	6298	8948.749001	5384.250999	7167
M-3 150 gr	5773	8948.749001	5384.250999	7167
M-5 250 gr	5433	8948.749001	5384.250999	7167

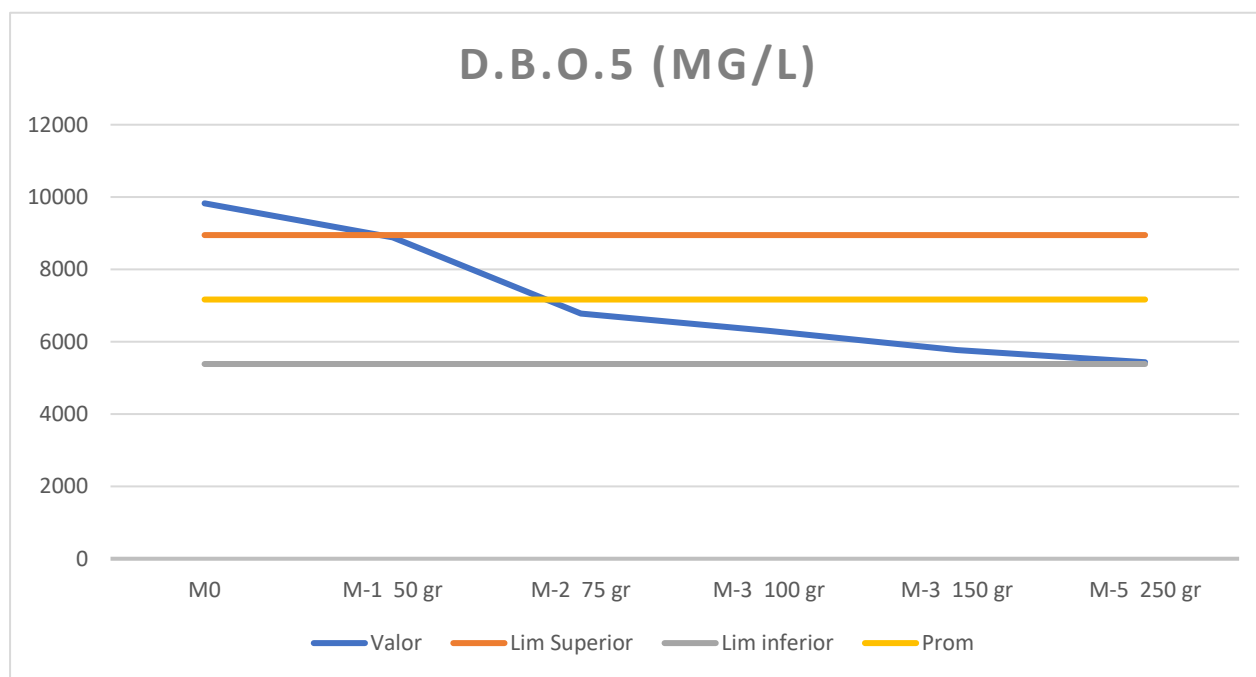


Figura 14. Gráfico del cambio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en los diferentes ensayos.

Tabla 20

Límite superior, inferior, promedio y desviación de la Demanda Química de Oxígeno

Ensayo	Valor	D.Q.O. (mg/Lt)		
		Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	16867	16061.92552	10748.07448	13405
M-1 50 gr	14993	16061.92552	10748.07448	13405
M-2 75 gr	13970	16061.92552	10748.07448	13405
M-3 100 gr	13600	16061.92552	10748.07448	13405
M-3 150 gr	11833	16061.92552	10748.07448	13405
M-5 250 gr	9167	16061.92552	10748.07448	13405

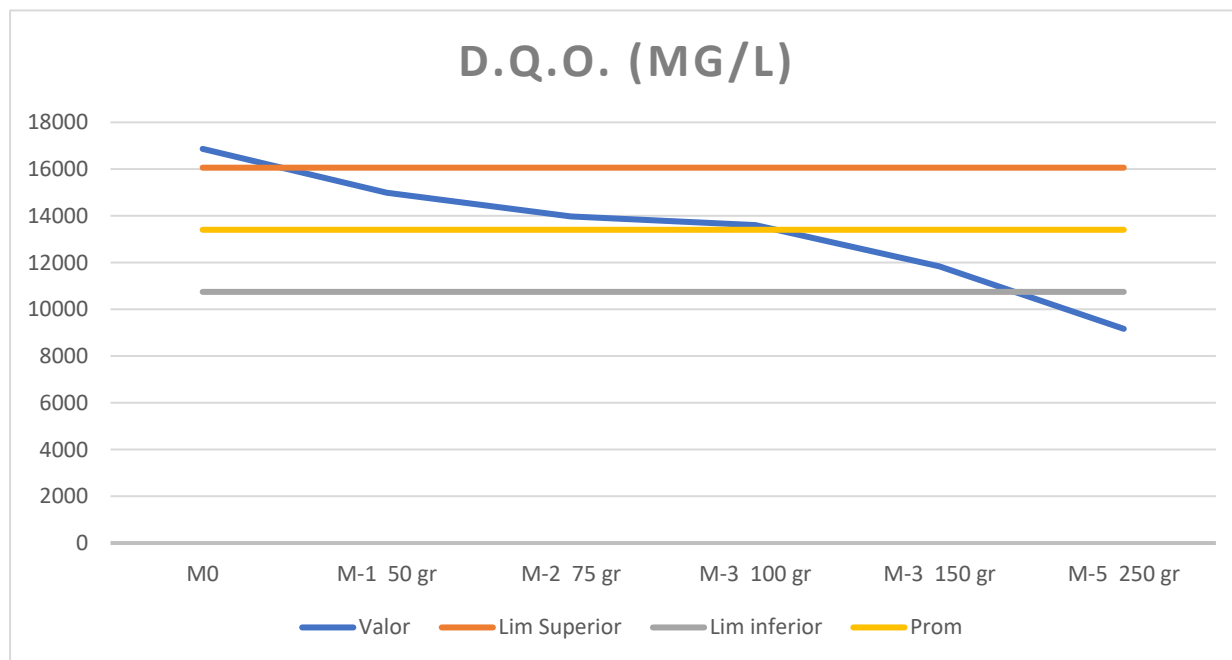


Figura 15. Gráfico del cambio de la Demanda Química de Oxígeno en los diferentes ensayos.

Tabla 21

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Sólidos Totales

Ensayo	Valor	Sólidos Totales (mg/Lt)		
		Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	7070	199115.9036	24104.09643	111610
M-1 50 gr	57050	199115.9036	24104.09643	111610
M-2 75 gr	82620	199115.9036	24104.09643	111610
M-3 100 gr	107190	199115.9036	24104.09643	111610
M-3 150 gr	157910	199115.9036	24104.09643	111610
M-5 250 gr	257820	199115.9036	24104.09643	111610

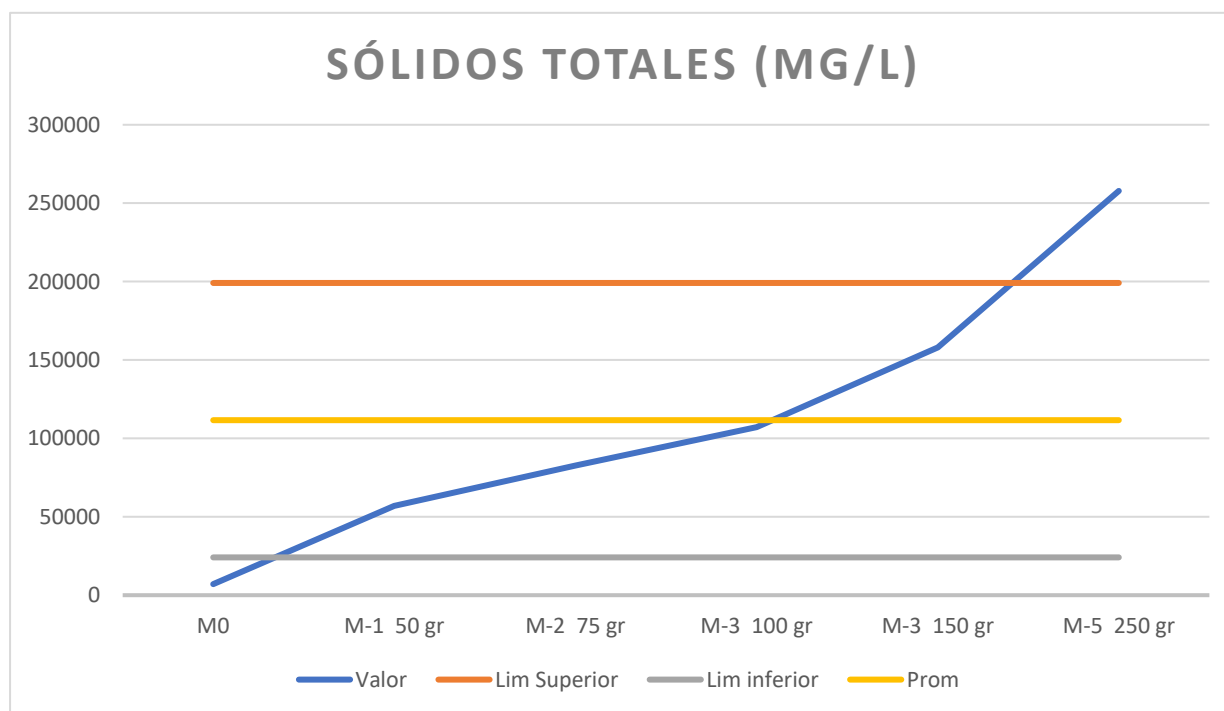


Figura 16. Gráfico del cambio de los Sólidos Totales en los diferentes ensayos.

Tabla 22

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Totales

Coliformes Totales (NMP/100mL)				
Ensayo	Valor	Lim Superior	Lim inferior	Prom.
M0	490000000	289881855.9	-98248522.55	95816667
M-1 50 gr	53000000	289881855.9	-98248522.55	95816667
M-2 75 gr	20000000	289881855.9	-98248522.55	95816667
M-3 100 gr	8800000	289881855.9	-98248522.55	95816667
M-3 150 gr	1900000	289881855.9	-98248522.55	95816667
M-5 250 gr	1200000	289881855.9	-98248522.55	95816667

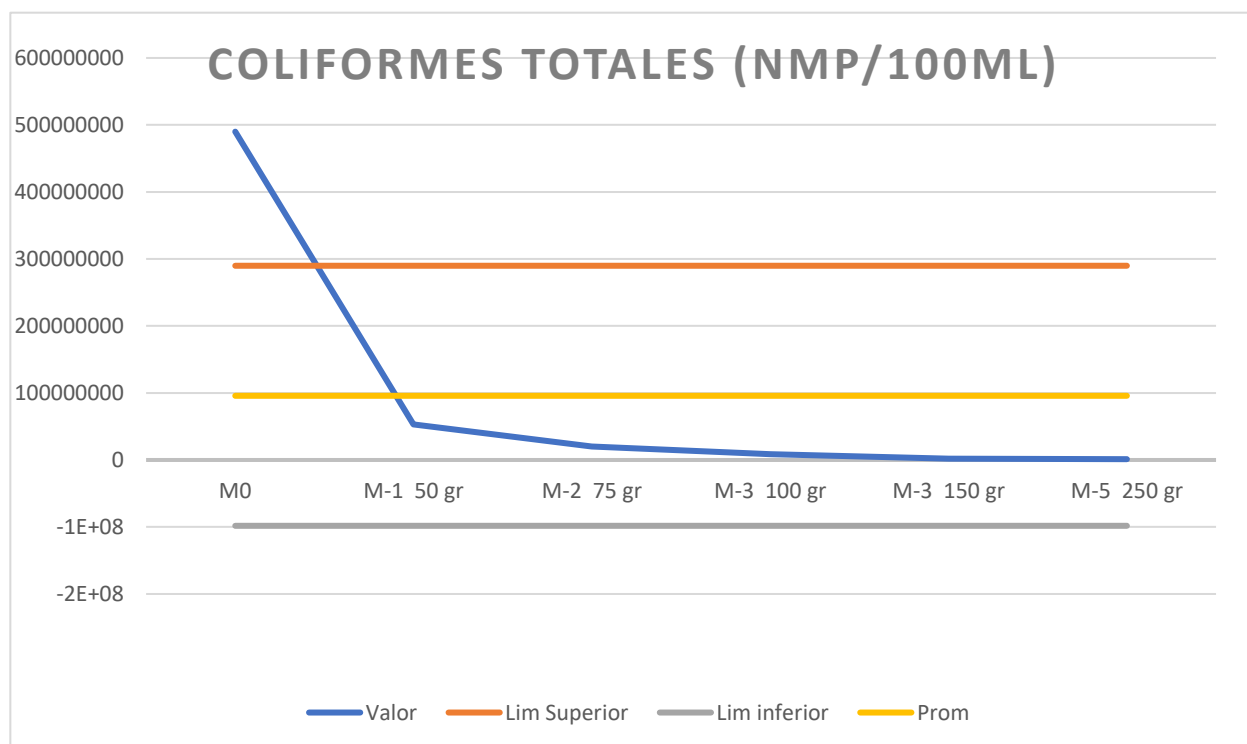


Figura 17. Gráfico del cambio de los Coliformes totales en los diferentes ensayos.

Tabla 23

Límite superior, inferior, promedio y desviación de los Coliformes Termotolerantes

Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)				
Ensayo	Valor	Lim Superior	Lim inferior	Prom
M0	170000000	102304633.8	-30971300.49	35666667
M-1 50 gr	29000000	102304633.8	-30971300.49	35666667
M-2 75 gr	6000000	102304633.8	-30971300.49	35666667
M-3 100 gr	7600000	102304633.8	-30971300.49	35666667
M-3 150 gr	800000	102304633.8	-30971300.49	35666667
M-5 250 gr	600000	102304633.8	-30971300.49	35666667

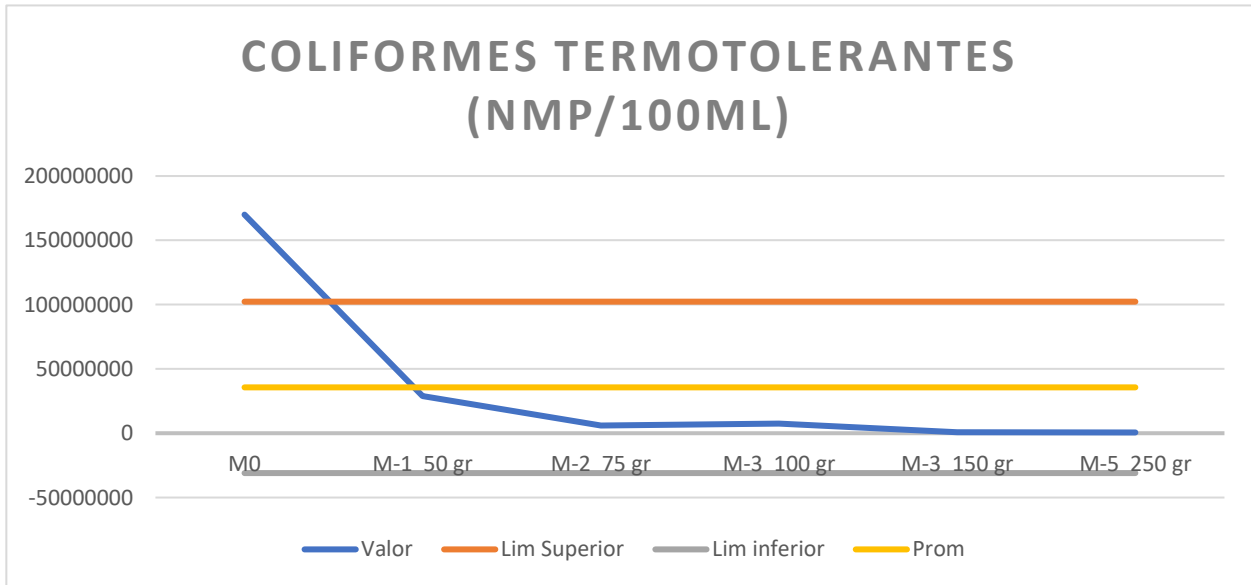


Figura 18. Gráfico del cambio de los coliformes Termotolerantes en los diferentes ensayos.

:

4. Discusión y conclusiones

4.1. Discusión

Ante los resultados de comparación de la muestra original con los parámetros dados por el MINAM, se puede afirmar que los parámetros tanto físicos como químicos y microbiológicos no se encuentran en regla y sobrepasan dichos parámetros, esto se debe a que el agua residual es de una agroindustrial que se encarga de la elaboración de harina de plumas de pollo para, consumo indirecto, es decir para alimentar ganado vacuno, bovino, etc.

Respecto con los resultados para el cálculo de la exposición óptima a luz ultravioleta, se puede determinar que si bien en los primeros 15 minutos se nota un cambio, es insignificante a comparación de los 60 minutos, sobre todo en los parámetros, al ver los resultado transcurrido en los 90 y 120 minutos y compararlo con los 60 minutos se puede visualizar que si hubo una mejora pero mínima que no justificaría el tiempo de espera, ya que si bien logra establecer diferencia esta es ínfima.

Para finalizar respecto a las cantidades que se usó de TiO_2 , considerando los 60 minutos óptimos de exposición a la luz ultravioleta, con diferentes cantidades, donde se puede visualizar que mientras más TiO_2 se use es más reduce más los parámetros, no obstante, se nota solo un leve cambio, respecto a las cantidades de 150 y 250, a pesar que se usó una diferencia de 100 gramos, por ello se concluye que el tiempo y peso ideal es de 150 g/Lt y de 60 minutos de exposición a luz Uv.

Según Carolina Villanueva en su trabajo titulado “Fotocatálisis con TiO_2 /ultravioleta y TiO_2 $CuSO_4$ /visible como sistemas de desinfección para inactivar E. coli proveniente de agua residual doméstica” realiza la investigación con 2 g/Lt de TiO_2 con exposición de 360 minutos a

luz Uv, obtiene resultados la reducción de Coliformes tanto fecales y totales en un 99%, y un aumento considerable en sólidos totales.

Esto se debe a que la muestra era residual doméstica y no industrial, y por ello la baja concentración microorganismos a comparación de una planta agroindustrial, considerando también que el tiempo de exposición a luz Uv se sextuplica.

Según Arnulfo Estrada (2019) en “Fotocatálisis Heterogénea para el tratamiento de Aguas Residuales Generadas En El Baño Del Ganado” se obtuvo mejores resultados al tener un tiempo prolongado de exposición en este caso 4 horas (240 minutos) con un uso moderado de Dióxido de Titanio 1 g/Ltt, en total una reducción e DBO Y DQO de 80%

Según Ángel Muñoz (2003) en su trabajo “Degradación de Sólidos Suspendidos en Agua Residual mediante Fotocatálisis Heterogénea” con TiO_2 se usó 2 g/Ltt con una exposición de 120 minutos, los valores del DQO se redujeron un 4.5% y el DBO un 14.5%

En los presentes resultados se ve una reducción del 42% del DBO, y una reducción del 30% en DQO respecto a Arnulfo Estrada (2019), los cambios pueden ser provocados por el tiempo prolongado a exposición de Luz Uv, y respecto a Ángel Muñoz (2003) la diferencia en reducción se debe a la alta carga de microorganismos.

4.2. Conclusiones

En términos generales, se pudo obtener los resultados del agua residual de la empresa NEGOCIOS AGROINDUSTRIALES LOS FERROLES S.A.C., obteniendo resultados aceptables para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, pues se tiene que considerar que no paso por ningún tipo de tratamiento o pretratamiento.

Al mismo tiempo, se puede concluir que la exposición de la luz ultravioleta tiene un crecimiento lineal en los primeros 60 minutos. Posterior a ello se mantienen estables los resultados

y si hay un cambio es ínfimo; por lo tanto, se puede concluir que el tiempo óptimo de exposición a luz ultravioleta de agua residual con concentraciones de TiO_2 es 60 minutos.

Finalmente, para las cantidades que fueron 50, 75, 100 ,150 y 250 gramos por litro, se puede decir que hay relación directa: mientras más concentración de TiO_2 en el agua residual, se tendrán mejores resultados; sin embargo, su mejora en los resultados es lineal hasta que se llegue a 150 gramos; a partir de ahí aún hay cambios, pero mínimos.

En conclusión, con los datos obtenidos y lo anteriormente mencionado, se puede decir que el tiempo ideal de exposición a luz ultravioleta es de 60 minutos, y la cantidad ideal de TiO_2 para obtener mejores resultados es de 150 gramos por litros.

Considerando la poca solubilidad de TiO_2 , se puede tener un sistema de bombeo y un filtro para evitar una sedimentación. Sería una gran alternativa como tratamiento de agua residual.

4.3. Limitaciones

Las limitaciones encontradas en el presente trabajo es la luz ultravioleta natural, donde no se podía usar ya que está en constante cambio por eso se optó a la elaboración de una cámara fotocatalítica.

Otra limitación que se encontró fue la distancia de las muestras respecto al lugar donde se analizaran, ya que se tuvo que sacar desde un inicio una determinada cantidad para llevar a analizar, de la empresa se encuentra ubicada en el Callao y el laboratorio donde se realizaron los cálculos que se encuentra ubicado en Nuevo Chimbote.

Para finalizar la limitación más importante es la coyuntura actual ya que debido a la pandemia no siempre está disponible el laboratorio para el uso de los tesisistas, y están para la obtención de los resultados se demoran más de lo planeado, ya que se encuentran trabajando con un personal limitado.

5. Referencia

- Bandala, E., Corona-Vásquez, B., Guisar, R., & Uscanga, M. (2007). Aplicación de Procesos Avanzados de Oxidación en la Desactivación Secuencial de Microorganismos Resistentes en Agua. *Ciencia... Ahora*, 20(10).
- Cardozo, M. G. (2012). Evaluación de la fotocatalisis heterogénea UV/TiO₂ y fenton heterogéneo H₂O₂Fe/carbón activado en el tratamiento del agua residual de laboratorios de microbiología.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11799/CardozoMinoMagdaGuadalupe2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carvajal, J. S. (2011). Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales.
http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/517/1/PL_V2_N1_p01829_fotocatalisis.pdf
- Escuadra, S., Gómez, J., Altabás, L., Lasheras, A. M., Bezdicek, J., & Ormad, M. P. (2011). Aplicación de nano--fotocatálisis con TiO₂ como tratamiento final de agua de salida de depuradora.
- Hincapié-Mejía, G. M., Ocampo, D., Restrepo, G. M., & Marín, J. M. (2011). Fotocatálisis heterogénea y foto-fenton aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel. *Información tecnológica*, 22(2), 33-42.
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071807642011000200005&script=sci_arttext&tlng=n
- Ibarz, C. (2008). *Desactivación de Enterococos en agua natural mediante fotocatalisis con dióxido de titanio y radiación solar*. (Doctoral dissertation, Universidad de Zaragoza).

- Martín, M. B. (2008). *Eliminación de plaguicidas no biodegradables en aguas mediante acoplamiento de fotocatalisis solar y oxidación biológica*. (Doctoral dissertation, Universidad de Almería).
- Mateos, A. D., Gianzo, E. C., & Prieto, J. C. G. (2005). La fotocatalisis como tecnología para la desinfección de aguas sin aditivos químicos: ensayos del reactor fotocatalítico UBE en la inactivación de microorganismos. *Tecnología del agua*, 25(261), 81-85.
- Masabanda, M., Aveiga, R. C. E., & Bartolomé, A. A. (2017). Control de la contaminación en aguas residuales de curtiembres, mediante fotocatalisis heterogénea con TiO₂. *Revista de Ciencia de Seguridad y Defensa*, 2(1), 57-77.
- Muñoz, J. S. C. (2011). Fotocatalisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales. *Producción Limpia*, 6(2).
<http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/133/68>
- Organización de las Naciones Unidas (2019). Asuntos que nos importan “Agua .340 000 niños menores de cinco años mueren cada año por enfermedades diarreicas (OMS/UNICEF 2017).
- Pantoja-Espinoza, J. C., Proal-Nájera, J. B., García-Roig, M., Cháirez-Hernández, I., & Osorio-Revilla, G.I. (2015). Eficiencias comparativas de inactivación de bacterias coliformes en efluentes municipales por fotólisis (UV) y por fotocatalisis (UV/TiO₂/SiO₂). Caso: depuradora de aguas de Salamanca, España. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14(1), 119-135.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S166527382015000100011&script=sci_arttext&tlng=pt

- Powell, P. A., Litter, M., Blesa, M. A., & Apella, M. C. (2006). Desinfección solar de aguas por fotólisis y fotocatalisis: aplicación en tucumán, argentina. 10(07).
- Rojas-Higuera, N., Sánchez-Garibello, A., Matiz-Villamil, A., Salcedo-Reyes, J. C., Carrascal-Camacho, A. K., & Pedroza-Rodríguez, A. M. (2010). Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y *Escherichia coli* presentes en agua residual doméstica, empleada para riego. *Universitas Scientiarum*, 15(2), 139-149.
<https://www.redalyc.org/pdf/499/49913962005.pdf>
- Rubio, A. (2017). Fotocatálisis como mejora de la descontaminación de aguas por microorganismos. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (26), 1.
- Soria, M. C., Powell, P. A., & Apella, M. C. (2006). Aguas tratadas por fotólisis y fotocatalisis heterogénea para inactivación bacteriana. Resultados finales del Proyecto OEA/AE141: investigación, desarrollo, validación y aplicación de tecnologías solares para la potabilización de agua en zonas rurales aisladas de América Latina y el Caribe, 39.
- Tototzintle, M. J. (2015). *Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocatalisis solar para la regeneración de aguas de una industria agro-alimentaria*. (Doctoral dissertation, Universidad de Almería). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=222156>
- Villanueva, C. (2011). Fotocatálisis con TiO₂/ultravioleta y TiO₂ CuSO₄/visible como sistemas de desinfección para inactivar *E. coli* proveniente de agua residual doméstica.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1532/VillanuevaJaramilloCarolina2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Anexos



Anexo 01 : Ubicación de la empresa



Anexo 02: Muestras de agua residual recién tomadas



Anexo 03: Envío, Recepción y refrigeración de la muestra.



Anexo 04: Interior de la cámara Fotocatalítica.



Anexo 05: Pesaje 25 gramos de TiO_2 .



Anexo 06: Pesaje 75 gramos de TiO_2



Anexo 07: Pesaje 100 gramos de TiO_2



Anexo 08: Pesaje 150 gramos de TiO_2



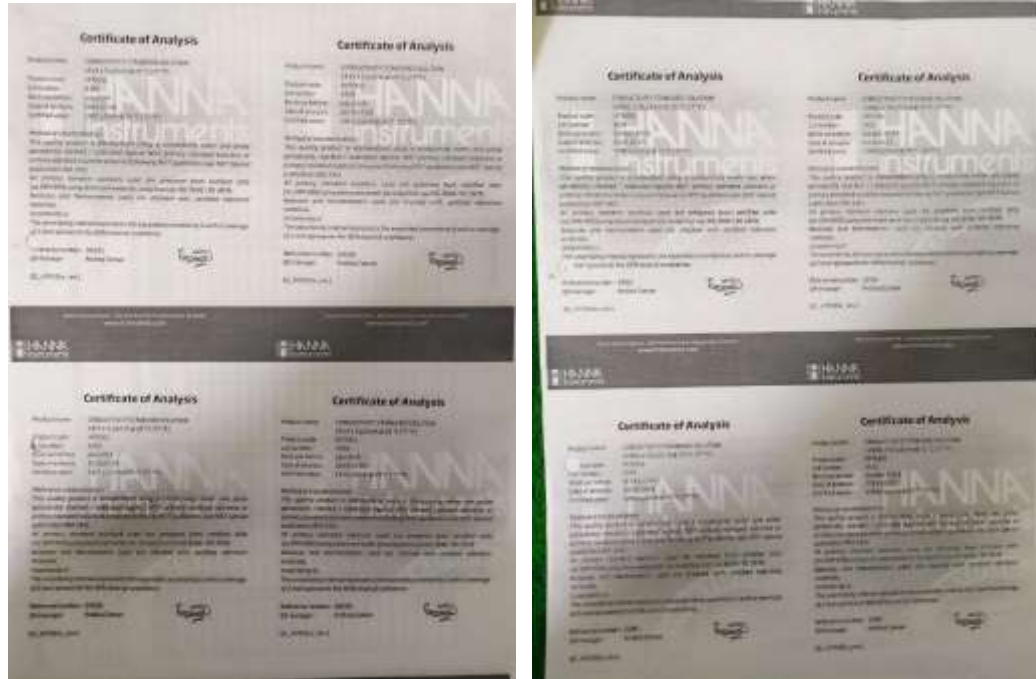
Anexo 09: Mezcla en agitador magnético de TiO_2 en agua residual en relación de
gramo/litro



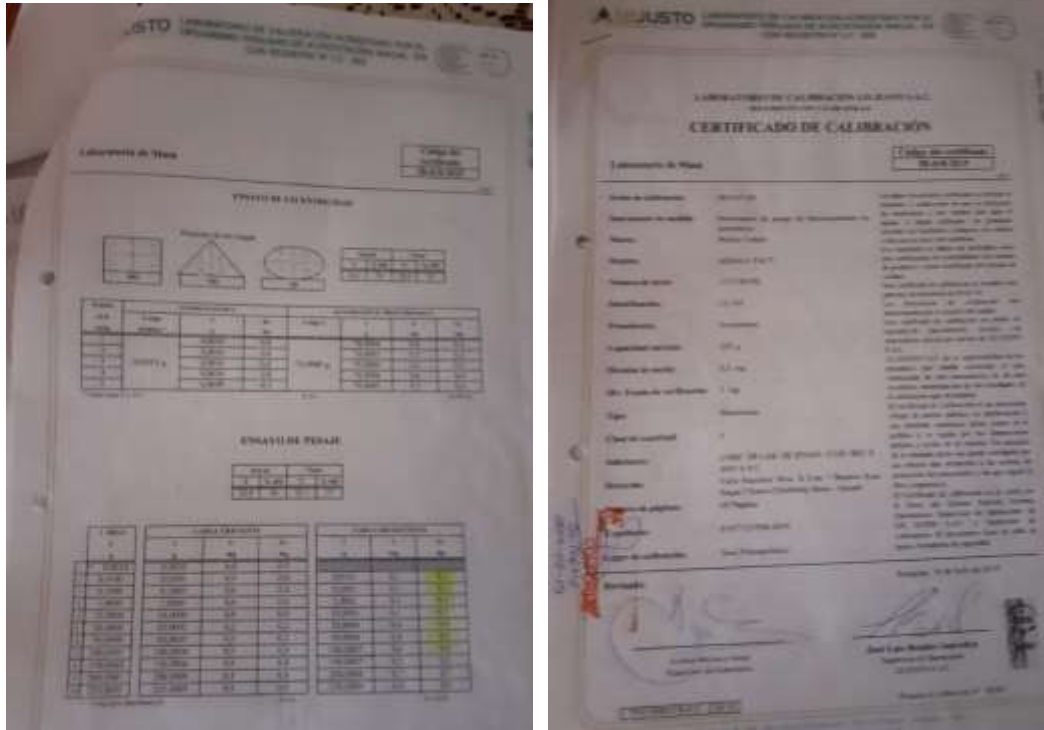
Anexo 10: Muestras con TiO_2 dentro de la cámara Fotocatalítica



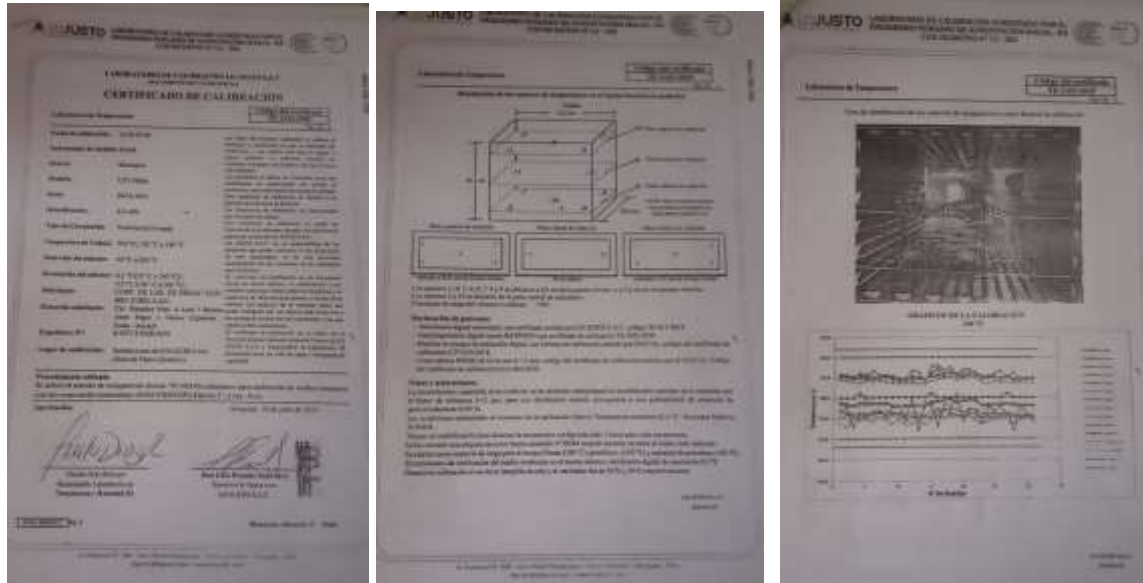
Anexo 11: Calibraciones para las Soluciones Buffers para pH



Anexo12: Calibraciones del potenciómetro.



Anexo 13: Calibraciones Balanza LC-101



LABORATORIO DE CALIBRACIONES METROLOGICAS Y ORGANISMO PERUANO DE ORGANISMOS DE ASESORAMIENTO TECNICO

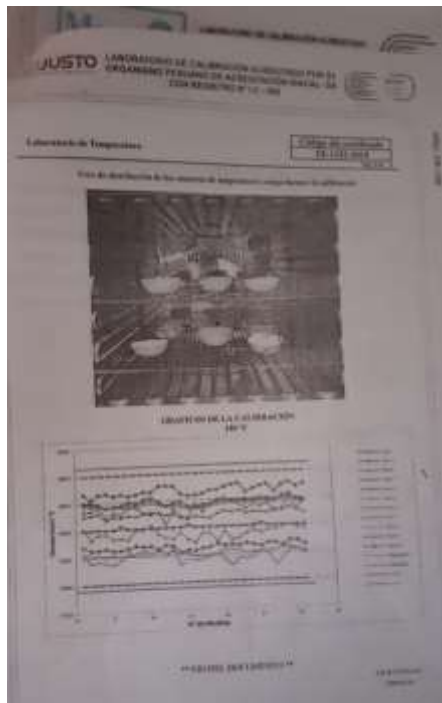
Calibración de Termopares

RESISTENCIA DE LA T (mV)

Temperatura (T)	Resistencia (R)	Resistencia (R)	Resistencia (R)
0	0	0	0
100	100	100	100
200	200	200	200
300	300	300	300
400	400	400	400
500	500	500	500
600	600	600	600
700	700	700	700
800	800	800	800
900	900	900	900
1000	1000	1000	1000

Resistencia (mV)

Temperatura (T)	Resistencia (R)	Resistencia (R)
0	0	0
100	100	100
200	200	200
300	300	300
400	400	400
500	500	500
600	600	600
700	700	700
800	800	800
900	900	900
1000	1000	1000



Anexo 14: Calibraciones de Estufa.



CORPORACION DE LABORATORIO DE ENSAYOS
CLINICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES.
COLECBI S.A.C.
Mz. A Lt 7 Urb. Buenos Aires 1era. Etapa Nuevo Chimbote
Telefax 43 310752 Nextel 839*2893

COTIZACION N° C20-2141

SOLICITANTE	DAVID ALFREDO VIDAL CHICLAYO
ATENCIÓN	
DIRECCIÓN	LAS BRISAS W – 10 NUEVO CHIMBOTE.
REFERENCIA	
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	AGUA RESIDUAL

DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO		
ENSAYOS	METODOLOGÍA	(*) DURACIÓN DEL ENSAYO
Coliformes Termotolerantes	SMEWW 23rd Edition 2017 9221E	4 Días
Coliformes Totales	SMEWW 22th Edición 2012 9221B	3 Días
Conductividad	SMEWW 23rd Edition 2017 2510B	1 Día
pH	SMEWW 23rd Edition 2017 4500 H+B	1 Día
D.B.O. ₅	SMEWW 23rd Edition 2017 5210B	2 Días
D.Q.O.	SMEWW 23rd Edition 2017 5220C	3 Días
Sólidos Totales	SMEWW 23rd Edition 2017 2540B	1 Día

Anexo 15: Metodología de Colecbi para los resultados de los análisis.

RESULTADOS

ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS

ENSAYOS	MUESTRAS					
	M0	M-1 60g	M-2 75g	M-3 100g	M-4 150g	M-5 250g
Coliformes Totales (NMP/100mL)	49x10 ¹	53x10 ⁰	20x10 ⁰	88x10 ⁰	19x10 ⁰	12x10 ⁰
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	17x10 ¹	29x10 ⁰	06x10 ⁰	78x10 ⁰	08x10 ⁰	06x10 ⁰

ENSAYOS FÍSICO QUÍMICOS


ENSAYOS	MUESTRAS					
	M0	M-1 60g	M-2 75g	M-3 100g	M-4 150g	M-5 250g
(**) pH	6,89	7,00	6,97	6,93	6,86	6,86
Conductividad (mS/cm)	14,5	14,2	14,2	14,0	14,0	14,0
D.B.O. ₅ (mg/L)	9826	8887	6782	6298	5773	6433
D.Q.O. (mg/L)	18867	14993	13970	13600	11833	9167
Sólidos Totales (mg/L)	7070	57050	82620	107190	157910	267820

(**) Fuera del alcance de la acreditación por vigencia de muestra.
METODOLOGÍA EMPLEADA:
 Coliformes Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
 Coliformes Termotolerantes: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221-E, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Thermotolerant (Fecal) coliform procedure.
 pH: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23rd Ed. 2017. pH Value. Electrometric Method.
 Conductividad: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 23rd Ed. 2017. Conductivity. Laboratory Method.
 D.B.O.₅: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22nd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
 D.Q.O.: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrmetric.
 Sólidos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 B, 23rd Ed. 2017 Solids. Total Solids Dried at 103-105°C.

NOTA:

- Informe de ensayo emitido en base a resultados de nuestro Laboratorio sobre muestras:
 - Proporcionadas por el solicitante (X)
 - Muestras tomadas por COLECBI S.A.C. ()
- El muestreo está fuera del alcance de la acreditación otorgada por INACAL-DA, salvo donde la metodología lo indique.
- Los resultados presentados corresponden solo a la muestra/s ensayada/s.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- No afecta al proceso de Difirrencia por su perecibilidad y/o muestra única.
- El informe incluye diagrama, croquis o fotografías:
 - SI ()
 - NO (X)
- Cuando el informe de ensayo ya emitido se haga una corrección o modificación de emitir un nuevo informe de ensayo completo que haga referencia al informe que reemplaza. Los cambios se identificarán con letra negra.

Fecha de Emisión: Nuevo Chimbote, Octubre 12 del 2020.
 GVR/jms
 LC-MP-AREVO
 COLECBI S.A.C.


 URB. BUENOS AIRES MZ. A - LT. 7 - 1 ETAPA - NUEVO CHIMBOTE - TELEFAX: 043-310752
 NEXTEL: 839*2893 - RPM # 902995 - APARTADO 127
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
 Web: www.colecbi.com

Anexo 16: Resultados del último análisis COLECBI SAC.

N°	Base de Datos	Título	Autor	Año	Concepto
1	Scielo	Fotocatálisis con TiO ₂ /ultravioleta y TiO ₂ CuSO ₄ /visible como sistemas de desinfección para inactivar E. coli proveniente de agua residual doméstica.	Villanueva Jaramillo, C.	2011	El proceso de interés fue la fotocatalisis heterogénea con TiO ₂ . Se elaboraron películas con el TiO ₂ , sinterizadas a diferentes temperaturas, por la técnica sol-gel/sedimentación.
2	Scielo	Fotocatálisis heterogénea y fenton aplicadas al tratamiento de aguas de lavado de la producción de biodiesel. Información tecnológica	Gina M. Hincapié-Mejía, David Ocampo, Gloria M. Restrepo, Juan M. Marín	2011	Se aplicaron las tecnologías avanzadas de oxidación, fotocatalisis heterogénea y fenton, para comprobar su viabilidad en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del proceso de lavado de biodiesel. Las aguas presentaron altos niveles en demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y metanol
3	Scielo	Evaluación de la fotocatalisis heterogénea UV/TiO ₂ y fenton heterogéneo H ₂ O ₂ Fe/carbón activado en el tratamiento del agua residual de laboratorios de microbiología.	Cardozo Miño, M. G.	2012	Los procesos fotocatalítico UV/TiO ₂ y Fenton Heterogéneo fueron estudiados para la remoción de materia orgánica y la inactivación bacteriana en aguas residuales generadas en los laboratorios de microbiología de la Facultad de Ciencias.
4	Scielo	Evaluación de tres métodos para la inactivación de coliformes y Escherichia coli presentes en agua residual doméstica, empleada para riego.	Rojas-Higuera, N., Sánchez-Garibello, A.	2010	Evaluar tres tratamientos (lagunaje, fotocatalisis con TiO ₂ y desinfección química) para la inactivación de coliformes totales y Escherichia coli presentes en agua

					residual doméstica empleada para riego agrícola.
5	Redalyc	Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales.	Juan S. Carvajal-Muñoz	2014	La fotocatalisis heterogénea es un proceso efectivo para la degradación y mineralización de tensoactivos aniónicos presentes en aguas residuales provenientes de fuentes variables. Esta se ha empleado en forma conjunta con otras técnicas convencionales, logrando incrementos en la cinética química y mayor eficiencia de remoción de contaminantes.
6	Redalyc	Desarrollo de nuevas estrategias basadas en fotocatalisis solar para la regeneración de aguas de una industria agroalimentaria	Tototzintle, M. J	2015	El proceso de fotocatalisis heterogénea con TiO ₂ ha sido propuesto para la eliminación de diversos tipos de contaminantes presentes en agua, sin embargo, la recuperación del catalizador es un proceso complejo, y como consecuencia de esta limitación, actualmente se fomenta la investigación de diferentes técnicas de inmovilización del TiO ₂ , así como diferentes tipos de sustrato.
7	Redalyc	Tratamiento de aguas residuales de la industria textil por medio de la fotocatalisis.	Garcés Giraldo, L. F., & Peñuela Mesa, G. A.		La fotocatalisis realizada con luz solar aparece como una alternativa simple y económica para tratar las aguas residuales, coloreadas con tintes de la industria textil. El uso de esta tecnología para la degradación y mineralización de los 84 colorantes reactivos de naranja puede abrir

					una nueva ruta diferente de los procesos tradicionales de oxidación. Objetivo. Estudiar la fotocatalisis con TiO ₂ en aguas residuales coloreadas utilizando un colector de luz solar.
8	Redalyc	Fotocatálisis heterogénea para el abatimiento de tensoactivos aniónicos en aguas residuales.	Carvajal Muñoz, J. S.	2011	La fotocatalisis heterogénea es un proceso eficaz para degradar y mineralizar contaminantes en las aguas residuales de varias fuentes. Se ha utilizado junto con otras técnicas convencionales, logrando aumentos en la cinética química y una eliminación de la contaminación más eficiente. Los tratamientos de agua convencionales con tensoactivos se realizan mediante una acción biológica durante la sedimentación primaria.
9	Scopus	Aplicación de nano--fotocatálisis con TiO ₂ como tratamiento final de agua de salida de depuradora.	Escuadra, S., Gómez, J., Altabás, L.,Lasheras, A. M.	2011	Entre los tratamientos de oxidación avanzada, destaca la fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio como catalizador, debido fundamentalmente a que es un semiconductor con baja toxicidad, resistencia a la fotocorrosión, disponibilidad, efectividad y relativo bajo coste
10	Redalyc	Estudio de la eliminación de Diclofenaco en aguas residuales mediante fotocatalisis heterogénea con TiO ₂ .	Hernando Ortega, N.	2017	En este trabajo se estudia una fotocatalisis heterogénea con la combinación del TiO ₂ como agente químico y la radiación de luz ultravioleta como fuente de energía.

11	Scopus	Eficiencias comparativas de inactivación de bacterias coliformes en efluentes municipales por fotólisis (UV) y por fotocátalisis (UV/TiO ₂ /SiO ₂)	Pantoja-Espinoza, J. C., Proal- Nájera, J. B.	2015	Se inactivaron bacterias Escherichia coli y coliformes totales presentes en efluentes municipales tratados biológicamente mediante fotólisis (radiación UV-C), así como por fotocátalisis heterogénea (UV-C/TiO ₂ /SiO ₂), utilizando 50 L de muestra del efluente, recirculados en un caudal de 1000 L/h en un fotorreactor UV, durante 150 min de reacción y temperatura constante
12	Scopus	CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES, MEDIANTE FOTOCATÁLISIS	Masabanda, M., Aveiga, R. C. E., & Bartolomé, A.	2017	La degradación de Cromo total en aguas residuales de la industria de cuero, empleando un prototipo de colector cilíndrico parabólico y Dióxido de Titanio como fotocatalizador, donde se presentó mayor remoción de contaminante cuando la fuente de energía (sol) para activar el fotocatalizador alcanzó una radiación promedio de, resultando un 62.05% de abatimiento de contaminante. Los resultados de la investigación muestran la estrecha relación existente entre el fotocatalizador y la luz solar como fuente de radiación fotónica, además de ser la degradación fotocatalítica una técnica muy eficaz.

13	Dyalnet	Combinación de fotocátalisis solar con biorreactores de membrana para el tratamiento de aguas tóxicas. Modelado del proceso foto-fenton como herramienta de diseño y optimización	Reina, A. C.	2014	El análisis reveló que los gastos más importantes recaen sobre el consumo de reactivos, el consumo energético y la construcción del fotorreactor del proceso fotocatalítico. Por tanto, se decide desarrollar un modelo semiempírico del tratamiento foto-Fenton aplicable al control del proceso (dosificación de peróxido de hidrógeno basada en la evolución del oxígeno disuelto), escalado de plantas de tratamiento y diseño de fotorreactores que permita optimizar los aspectos críticos del proceso integrado.
14	Dyalnet	Tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú por fotocátalisis heterogénea.	Del Pilar, Y., & Villanes, H.	2019	La investigación trató las aguas residuales de la Universidad Nacional del Centro del Perú con fotocátalisis heterogénea por las características del efluente (grado de concentración y tipos de contaminantes) y potencialidad de la fotocátalisis.
15	Dyalnet	Fotocátalisis heterogénea con TiO ₂ para el tratamiento de desechos líquidos con presencia del indicador verde de bromocresol	Llanes, C.Y. G., & Benavides, A. C. M.	2011	La degradación se cuantificó por espectrofotometría UV-visible, y la mineralización se evaluó por el parámetro de DQO. Las condiciones óptimas de tratamiento para los desechos son: 260 ppm de TiO ₂ y un tiempo de retención de 60 minutos, con las que se obtuvo una degradación de 84,10% y una mineralización de 82.5 %. Los resultados

					obtenidos muestran que el proceso de fotocátalisis heterogénea puede ser útil en el tratamiento de efluentes que tenga la presencia del indicador verde de bromocresol.
16	Dyalnet	Aplicación de fotocátalisis heterogénea y electrocoagulación en depuración de Cromo y Cadmio en agua residual proveniente de una industria metalmecánica	Bermúdez Errázuriz, M. D., & Salazar Cuellar, S. A.	2019	Se analizan los procesos de electrocoagulación y fotocátalisis heterogénea para observar el comportamiento de los metales pesados en agua residual que proviene de una industria metalmecánica ubicada en la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de reducir los contaminantes cadmio y cromo hasta los límites permisibles estipulados en la normativa ecuatoriana de descargas de efluentes a alcantarillado.
17	Dyalnet	Reactor para tratamiento de aguas residuales por fotocátalisis heterogénea.	B. L., Herrera, K.M., Guzmán, R. Y., González, M. C., & Rojas, F. M.	2019	Condiciones permiten reducir la concentración de contaminantes orgánicos presentes en agua residual de origen industrial y núcleos poblacionales, por fotocátalisis heterogénea. El reactor es provisto de 6 discos perforados de acero inoxidable recubiertos por la técnica de dip-coating revólver, con películas fotocatalíticas del sistema mixto Titania-alúmina sintetizado por la técnica sol-gel; la hidrodinámica al interior del reactor permitió lograr una eficiencia de

					degradación promedio del 97.43 % para azul de metileno.
18	Dyalnet	Degradación de resorcinol por fotocatalisis heterogénea usando TiO ₂ y H ₂ O ₂	Sánchez, H.A. V., Osorio, P. A.R., & Ramírez, V. A.	2012	Para la realización de la degradación de Resorcinol por Fotocatalisis Heterogénea mediada por TiO ₂ y H ₂ O ₂ , se ejecutó el estudio de 27 muestras correspondientes a cada cruce de 3 variables a fin de encontrar las condiciones óptimas para la degradación. Estas corresponden a una dosificación de 0.7 g/Lt de dióxido de Titanio (TiO ₂), 500 ppm de Peróxido de Hidrógeno (H ₂ O ₂) y pH 5.

Anexo 17: Tabla de informaciones los antecedentes encontrados