

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO



FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



“Evaluación del proceso de oxidación avanzada de agua contaminada con
sangre en un reactor batch de burbujeo”

PRESENTADO POR:

Bach. PACCO ILLA YESSICA

Bach. REYES ROJAS LAURA PAMELA

ASESORA:

DRA. AMANDA ROSA MALDONADO FARFÁN

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO

Cusco, Octubre del 2020

A Dios, a mis padres Manuel y Francisca por su amor, mis hermanos(as) y mis amigos por su apoyo.

Y.P.I.

A mis padres, mi motivación de todos los días. A mi esposo, por su amor y apoyo incondicional.

L.P.R.R.

PRESENTACIÓN

Señor Decano y distinguidos docentes de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

De conformidad con el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos vigente a la fecha, se pone a su consideración el trabajo titulado “Evaluación del proceso de oxidación avanzada de agua contaminada con sangre en un reactor batch de burbujeo” para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico.

RESUMEN

En el presente trabajo se investigó el efecto del aire y la velocidad de agitación en el proceso de oxidación avanzada con peróxido de hidrogeno en efluentes provenientes de la industria cárnica, en específico del matadero de pollos Granja Quispe. Basado en la caracterización fisicoquímica antes y después del tratamiento para las condiciones de punto central del diseño experimental; 150 rpm de agitación, 150 ml/min de flujo de aire y 45 mg/l de H₂O₂, se reportó una reducción de la turbiedad en aproximadamente 50 % y una reducción significativa de DBO₅ en un orden de magnitud. Además, comparado con el decreto supremo para efluentes industriales y domésticos DS-021-2009, los valores de DBO₅, conductividad eléctrica y sólidos solubles totales se encuentran por debajo de los límites establecidos. Sin embargo, en el caso de la turbiedad final se encuentra por encima del límite. Aplicando un diseño experimental 2³ se concluyó que el efecto del flujo de aire y la velocidad de agitación no afectan significativamente a la turbiedad, comparado con el efecto de la concentración de H₂O₂, la cual reduce la turbiedad de una manera no lineal, alcanzando un mínimo de turbiedad de 180 NTU. Aplicando el mismo diseño experimental, tomando el tiempo de estabilización como variable respuesta se demostró sinergia entre el flujo de aire y la velocidad de agitación, reduciendo el tiempo de estabilización de 190 a 110 minutos. En el caso del efecto de la concentración de H₂O₂, dicha variable afecta negativamente el tiempo de estabilización para valores menores a la concentración intermedia, 50 mg/l, y esta tendencia se revierte para valores mayores a la concentración intermedia. Para calcular los parámetros adecuados de operación del reactor batch de burbujeo se consideró ambos diseños experimentales, tomando como variable respuesta la turbiedad y el tiempo de estabilización, tomando como criterio una reducción que es alcance significativo en turbiedad en el menor tiempo posible. Se reportó como parámetros adecuados de operación en punto intermedio del diseño experimental, que corresponde 150 rpm de agitación, 150 ml/min de flujo de aire y 45 mg/l de H₂O₂. Finalmente, se estudió la evolución del pH del sistema en el tiempo, para todos los escenarios del diseño experimental el pH inicial se encuentra entre 7 y 7.5, sin embargo se reportó una reducción significativa de pH en presencia de H₂O₂, alcanzando un pH final entre 4 y 4.5. Dicha reducción de pH que el proceso de mineralización de la carga orgánica, implica un mecanismo de deprotonación.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
I. Generalidades	2
1.1 Formulación del problema	2
1.1.1 Problema general	2
1.1.2 Problemas específicos	2
1.2 Objetivo	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación	3
1.3.1 Justificación tecnológica	3
1.3.2 Justificación ambiental	4
1.3.3 Justificación social	4
II. Marco teórico	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Procesos de oxidación avanzada en aguas residuales	7
2.2.1 Método Fenton	7
2.2.2 Oxidación avanzada por UV	9
2.2.3 Fotólisis	9
2.2.4 Fotólisis con reactivo Fenton	10
2.2.5 Fotocatálisis con TiO ₂	10
2.3 Procesos de aireación en tratamientos de aguas residuales	10
2.4 Tratamiento de aguas residuales de matadero	11
2.4.1 Tratamiento biológico de efluentes	11
2.4.2 Oxidación avanzada de efluentes	12
2.5 Tipos de reactores	13
2.5.1 Reactores de flujo continuo	13
2.5.2 Reactores intermitentes	13
2.5.3 Bioreactores	14
2.6 Parámetros en control de calidad de efluentes	14
2.6.1 Turbiedad	14
2.6.2 DBO	14

2.6.3	Solidos disueltos totales (TDS)	15
2.6.4	Conductividad	15
2.7	Microcontroladores Arduino	15
2.8	Protocolo I ² C	16
III.	Metodología	17
3.1	Matadero avícola Granja Quispe	17
3.2	Visión general del proceso	18
3.3	Materiales, equipos e instrumentos	19
3.4	Muestra	19
3.5	Toma de muestra	20
3.6	Preparación y caracterización fisicoquímica	20
3.7	Montaje del reactor Batch de burbujeo	21
3.8	Descripción de proceso de oxidación avanzada	23
3.9	Efecto del flujo de aire, concentración y agitación	24
IV.	Resultados y discusión	26
4.1	Caracterización fisicoquímica de la muestra	26
4.2	Proceso simultaneo de oxidación avanzada y aireación	26
4.2.1	Estudio de la turbiedad	28
4.2.2	Estudio del tiempo de estabilización	30
4.3	Comportamiento del pH en el proceso	33
4.4	Parámetros de operación del proceso	34
4.5	Caracterización de la muestra tratada	35
	CONCLUSIONES	37
	RECOMENDACIONES	38
	REFERENCIAS	39
	ANEXOS	47

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial tiene un efecto directo en el consumo y contaminación de agua fresca, debido al tratamiento inadecuado y su descarga, especialmente en países en vías de desarrollo (US EPA, 2004). Por esta razón, el tratamiento de aguas se ha vuelto imperativo para el continuo desarrollo de la sociedad (Bustillo et al., 2015).

Una de las industrias con mayor impacto ambiental, dentro del sector alimentario, es la industria cárnica que genera efluentes compuestos de sangre, grasa, sólidos suspendidos, sales, etc. (Marcos et al., 2017). Existen deficiencias técnico sanitarias en el proceso cárnico, convirtiéndose en una de las industrias altamente contaminantes por los desechos generados (Garzón, 2010).

Procesos aerobios y anaerobios son tradicionalmente utilizados para el tratamiento de aguas con alto contenido de materia orgánica. Sin embargo, el primer proceso se encuentra limitado por el alto consumo de energía en la etapa de aireación y la generación significativa de lodos (Koby et al., 2006). En el segundo caso, el proceso es frenado debido a la acumulación de sólidos suspendidos y grasas reduciendo la actividad metanogénica.

Procesos de oxidación avanzada se han convertido en una interesante alternativa frente a procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales de camal, una de las ventajas más resaltantes es la inactivación de microorganismos patogénicos y en adición, evitando la generación de co-productos tóxicos (De Sena et al., 2009). Así mismo la oxigenación es común en el tratamiento de efluentes residuales. La generación de burbujas pequeñas, provee características únicas como gran área superficial aire-agua y aumenta el tiempo de residencia (Terasaka et al., 2011).

El presente trabajo evaluó el efecto combinado de un proceso de oxidación avanzada con aireación para el tratamiento de aguas contaminadas con sangre, mediante un reactor batch de burbujeo con control de temperatura y agitación y en adición un sistema de adquisición de datos autónomo de turbidimetría y pH.

I. GENERALIDADES

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La industria de procesamiento de carnes genera efluentes con alta carga de materia orgánica biodegradable y material suspendido como grasas y proteínas generando un impacto ambiental significativo debido a los altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). Aproximadamente 24% del consumo de agua destinado al sector alimentario corresponde al procesamiento cárnico (Mekonnen and Hoekstra, 2012; Gerbens-Leenes et al., 2013).

La concentración de materia orgánica en los efluentes provenientes de plantas procesadoras de carne es usualmente alto, y los residuos son moderadamente solubles. Como consecuencia se tiene un alto impacto ambiental debido a las sustancias orgánicas junto con detergentes que también son usados en la industria cárnica y peletera (Bustillo et al., 2015).

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo se desarrolla el proceso de oxidación avanzada de agua contaminada con sangre proveniente del matadero avícola Granja Quispe en un reactor batch de burbujeo?

1.1.2 PROBLEMAS ESPECIFICOS

- ¿Qué características fisicoquímicas presenta la muestra del efluente de agua contaminada con sangre antes y después del proceso de oxidación avanzada?
- ¿Cuál es el efecto de flujo de aire, velocidad de agitación y concentración de peróxido de hidrogeno en el proceso simultáneo de aireación y oxidación avanzada?
- ¿Cuál es el comportamiento de pH en el proceso?
- ¿Cuáles son los parámetros de operación del reactor en los cuales se alcanza mayor reducción de materia orgánica?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el proceso de oxidación avanzada de agua contaminada con sangre proveniente del matadero avícola Granja Quispe en un reactor batch de burbujeo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la muestra del efluente de agua contaminada con sangre antes y después del proceso simultáneo de oxidación avanzada y aireación.
- Estudiar el efecto de flujo de aire, velocidad de agitación y concentración de peróxido de hidrogeno en el proceso simultáneo de aireación y oxidación avanzada.
- Estudiar el comportamiento del pH en el proceso.
- Determinar los parámetros de operación del reactor en los cuales se alcanza mayor reducción de materia orgánica.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 JUSTIFICACION TECNOLÓGICA

- Los procesos de oxidación avanzada (AOP), definidos como aquellas tecnologías que utilizan radicales hidroxilo (OH^{\bullet}) para la mineralización de sustancias contaminantes, han recibido una atención creciente en la investigación y desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en las últimas décadas. Estos procesos se han aplicado con éxito para la eliminación o degradación de contaminantes tóxicos, que luego pueden tratarse mediante métodos biológicos convencionales (Deng and Zhao, 2015).

1.3.2 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

- Los efluentes del sistema de alcantarillado, se deben encontrar dentro de los valores máximos permisibles, respecto a los parámetros fisicoquímicos que

caracterizan la muestra y que una vez excedidos puedan causar potencial daño a la salud y al medio ambiente (D.S. N° 021-2009-VIVIENDA Art.3).

- Iniciativas en protección ambiental y el incremento de demanda en el mercado por prácticas verdes, hacen que la industria cárnica considere métodos sustentables para el tratamiento de sus efluentes, debido a que tienen un alto impacto ambiental. El tratamiento insitu, es la mejor opción debido a la posibilidad de recuperar energía y reducir gastos (Mehrvar et al., 2017).

1.3.3 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

- El agua es un recurso finito e irremplazable, que es fundamental para el ser humano. Es únicamente renovable mediante tratamientos adecuados que usualmente demandan gasto significativo de energía. Hoy en día, más de 1.7 billones de personas viven cerca de fuentes naturales de agua fresca como ríos o lagunas, donde la tasa de agotamiento excede a la de recarga natural. Estadísticas sugieren que dos tercios de la población mundial vivirán en ciudades con problemas serios de agua para el 2025 (United Nations, 2012).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

- **Rege, et al. (1991); SIMULTANEOUS AERATION AND ADVANCED OXIDATION PROCESSES FOR PROCESS WATER TREATMENT.** La tesis da a conocer una nueva alternativa para la recuperación de agua para la industria de procesamiento químico (CPI). Se señala que a temperaturas altas la actividad del catalizador que presentó mayor remoción de (CPI) fue el de gasa de platino, así mismo mejora la degradación de un reactivo oxidante en especies de oxígeno más activo. Es posible utilizar procesos de oxidación avanzada en la destrucción de una mezcla compleja de materia orgánica disuelta en agua de proceso. En este estudio se logró una eficiencia de eliminación de hasta 75% de los compuestos orgánicos en cuatro horas de tratamiento.
- **Ventura et al. (2017); TRATAMIENTO DE SANGUAZA DE PESCADO DEL MERCADO DE ANCÓN UTILIZANDO MICRO - NANOBURBUJAS DE AIRE A ESCALA LABORATORIO.** Realizó una investigación para el tratamiento de efluentes de camal con el fin de mantener los parámetros fisicoquímicos dentro de la norma. Las muestras se tomaron en intervalos de 30 min, 45 min y 60 min. Se logró disminuir la turbidez en un 78.7%, el DBO5 en un 41.12%, trabajando a condiciones de pH neutras y una temperatura promedio de 20.15 °C.
- **Medina et al. (2018); APLICACIÓN DEL PROCESO FENTON PARA DEGRADAR AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE CHOTA.** Esta investigación encontró las concentraciones óptimas de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso para el tratamiento de aguas de camal de chota. Se encontró que el proceso de oxidación sigue una cinética de primer orden.
- **Mehmet et al, (2005); TREATMENT OF POULTRY SLAUGHTERHOUSE WASTEWATERS BY ELECTROCOAGULATION.** Se investigó el efecto del pH, densidad de corriente y tiempo de residencia en la demanda química de oxígeno (DQO). Se concluyó que la electrocoagulación es un método efectivo en el tratamiento de

efluentes provenientes de canales reduciendo en un 93% el DQO. En adición, se alcanzó una remoción de grasas del 98%.

- **Galicia, (2005); DISEÑO DE UN REACTOR PARA PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA CON AIREACIÓN.** La tesis consiste en la elaboración de un reactor fotocatalítico a escala piloto, este sistema incluye procesos de aireación y fotorreacción para tratar una solución sintética de aromáticos. El sistema de aireación tipo eyector-difusor (4°) permite asegurar la saturación del aire en la mezcla. La integración de un sistema de aireación con el fotorreactor (Foto-Fenton) asegura la completa degradación de una solución sintética que compone aromáticos (fenol a 200 ppm de concentración inicial), el tiempo de la degradación completa con aireación es de 60 min y 90 minutos sin aireación.

- **Farfán Urbano, et al, (2010); TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS DE CURTIEMBRE APLICANDO EL PROCESO FENTON.** Esta tesis estudia el proceso Fenton para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria de curtiembre. Se estudiaron tres variables, pH, concentración de peróxido de hidrogeno y velocidad de agitación, sobre la reducción de la DQO al 90.3% y la DBO al 23.27%. En él se concluyó que las tres variables con parámetros siguientes (concentración de peróxido de hidrogeno de 0.5 g/l, pH de 3 y velocidad de agitación de 700 rpm) fueron significativas para la reducción de la materia orgánica, se obtuvo también el orden de reacción de primer orden y constante cinética de 0.3.

- **Bustillo et al., (2017); SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER: TREATMENT, MANAGEMENT AND RESOURCE RECOVERY.** En este trabajo se discute la normativa, impacto ambiental, efectos a la salud y tratamientos físicos, químicos y biológicos de efluentes de la industria cárnica. En adición, se muestra una caracterización típica de estos efluentes, mostrando niveles de turbiedad entre 200 y 300 NTU y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) entre 150 y 8500 mg/l.

2.2. PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Existen varios procesos mediante los cuales, se generan radicales de alto potencial de oxidación (proceso fenton, fotofenton, reacciones fotocatalíticas y heterogéneas). Dichos radicales son capaces de mineralizar compuestos orgánicos persistentes convirtiéndolos en CO₂, agua y trazas inorgánicas (Rubio, 2014). La utilización de éstos procesos oxidativos avanzados representa una oportunidad para aumentar el grado de biodegradabilidad y alcanzar reducciones significativas de color en aguas residuales tanto industriales como domésticas (Rodríguez, 2013). En la Figura 1 se muestra la clasificación de procesos de oxidación avanzada, los cuales se dividen en dos grandes grupos, procesos homogéneos y heterogéneos.

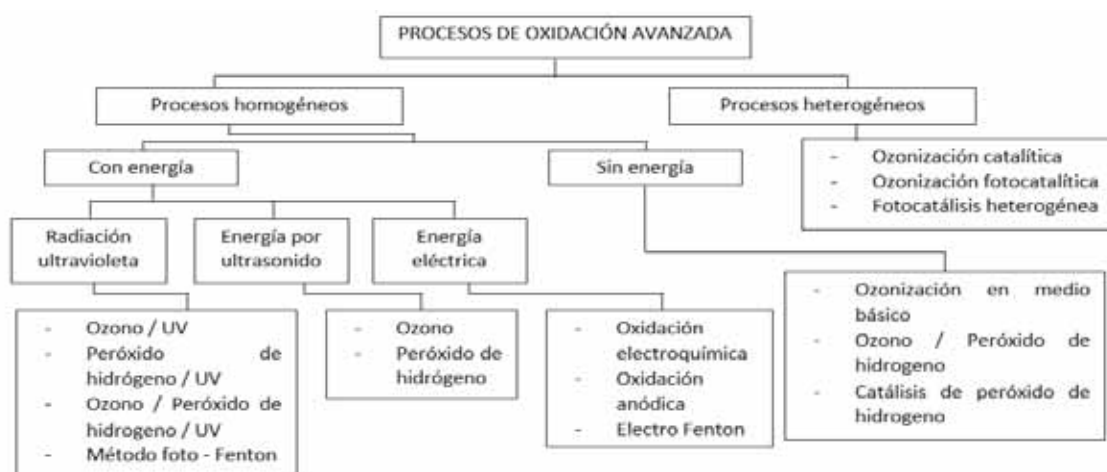
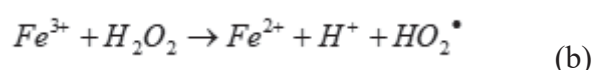
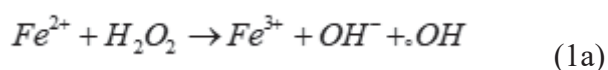


Figura 1: Clasificación de procesos de oxidación avanzada (Sharma et al., 2011)

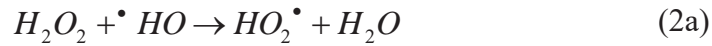
2.2.1. MÉTODO FENTON

Dicho método considera la mezcla de iones hierro con H_2O_2 , con el fin de producir radicales oxidantes. A esta mezcla se le conoce como reactivo Fenton (Ec. a y b) (Ghosh et al., 2010; Neyens & Baeyens, 2003).



En adición a los radicales $\cdot OH$, estudios también reportan la generación de radicales perhidroxilo, que promueven una reacción en cadena mejorando la eficiencia del proceso de mineralización de la carga orgánica (Domenech et al., 2004).

La cantidad de peróxido y compuestos de hierro a utilizar depende de la caracterización fisicoquímica del efluente. El peróxido de hidrógeno reacciona con Fe^{2+} produciendo radicales $\cdot OH$. La cinética de degradación es afectada positivamente por la concentración de los reactantes y catalizador, es decir peróxido de hidrógeno y Fe^{2+} . Sin embargo, esta relación no es monotónica y concentraciones altas de oxidante promueven reacciones secundarias que inhiben el proceso (Ec. 1) (Neyens & Baeyens, 2003).

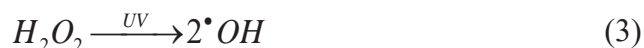


A pesar de que el proceso Fenton puede ocurrir a temperatura ambiente, un aumento de ésta favorece su cinética de reacción. Homem et al. (2009), manifestaron la viabilidad de operar a altas temperaturas. Por otro lado, el peróxido de hidrógeno es inestable a altas temperaturas (Malíková et al., 2009).

El control del pH es crítico en el mecanismo de reacción Fenton. Previos trabajos reportaron una mayor eficiencia en un rango de pH ácido menor a 4 y mayor a 2. (Durán-Moreno et al., 2011; Pignatello et al., 2006; Xu et al., 2004). En entornos de pH muy ácido o muy alcalino la cinética de reacción del proceso de mineralización se ve afectada negativamente. Si se realiza un incremento en el valor del pH conduce a la precipitación del hierro en $Fe(OH)_3$ y de esta manera la reacción no se lleva a cabo viéndose afectada la regeneración de Fe^{2+} . Malíková y colaboradores (2009), reportaron que a condiciones de pH muy ácidas se promueve la generación del reactivo $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$, que reacciona selectivamente con el peróxido de hidrogeno impidiendo la formación de radicales $\cdot OH$. En adición condiciones de acidez extrema inhiben el proceso de recuperación del catalizador, debido a la estabilización de los iones oxonio ($H_3O_2^+$) (Malíková et al., 2009). En cuanto al tiempo de residencia, desde un punto de vista económico, operar con altos tiempos de residencia no es viable (Ghosh et al., 2010); con bajos períodos de reacción se consiguen buenos niveles de degradación de contaminantes en comparación con otros procesos de oxidación química (Burbano et al., 2008; Esplugas et al., 2002).

2.2.2. OXIDACIÓN AVANZADA POR UV

La formación de radicales hidroxilo en el método H_2O_2/UV se producen debido a la fotólisis del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y la acción de la radiación ultravioleta como se muestra en la siguiente reacción:

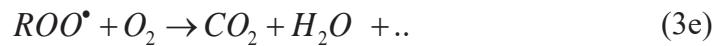


Se observa que la disociación de peróxido de hidrógeno se sucede en el rango de 200 a 280 nm de longitud de onda UV. (Aleboyeh et al., 2003). Como conclusión del estudio en la eficiencia del método Fenton, autores como (Kalt y Galindo, 1999; Caronna et al., 1999; Amer et al., 2008) concluyeron con respecto a los parámetros que afectan significativamente la mineralización de la carga orgánica se encuentran: condiciones de acidez, concentración inicial del efluente y la radiación ultravioleta. (Kalt, 1999). Se reportó que en condiciones alcalinas la degradación del color no es eficiente comparado con condiciones neutras o acidas, lo que se explica debido a la generación de agua molecular en lugar de radicales oxidantes en dichas condiciones (Castro et al., 2014).

2.2.3. FOTÓLISIS

Fotólisis es el proceso químico mediante el cual reacciones de degradación son catalizadas por algún tipo de radiación (Rodríguez et al., 2009). El proceso tiene lugar en el dominio de radiación ultravioleta tipo C UV-C (210– 230nm) y se basa en la formación de radicales libres (Garcés et al., 2003). La efectividad de este método depende de la absorbancia de los reactantes, es decir que se puedan promover compuesto de transición en estado excitado, en el rango de longitud de onda de la fuente radioactiva (Hincapié et al., 2002). No obstante, se requiere longitudes de onda por debajo de 200 nm para maximizar la absorción de fotones y promover la mineralización de la materia orgánica (Garcés et al., 2004). Durante el proceso de fotólisis de la materia orgánica se presentan las siguientes reacciones:





2.2.4. FOTOCATÁLISIS CON REACTIVO FENTON

El reactivo Fenton es una mezcla de sales de hierro que cumplen la función de catalizador, acelerando la generación de radicales de peróxido de hidrógeno. Esta reacción es más efectiva en condiciones ácidas de pH. El estado de oxidación del hierro puede ser Fe^{3+} , Fe^{2+} . Estos radicales inician una cadena de reacciones para eliminar toda la materia oxidable, como se muestra en las Ec. (Garcés et al., 2003). En adición, la reacción UV/visible acelera las reacciones fenton (H_2O_2/Fe^{3+} , Fe^{2+}), favoreciendo así la degradación de contaminantes orgánicos, incluidos compuestos aromáticos y alifáticos. Este reactivo presenta una mayor efectividad a pH ácido, debido a la aparición de hidróxidos de hierro como precipitados coloidales a valores de pH mayores a 3, lo cual hace necesario su separación mediante un proceso adicional (Hincapié et al., 2002).

2.2.5. FOTOCATÁLISIS CON DIÓXIDO DE TITANIO (TiO_2)

Algunos tipos de fotocatalisis utilizan semiconductores derivados de óxidos de metales. La característica de estos materiales es que se convierten altamente reactivos como resultados de su exposición a fuentes de radiación. Entre estos materiales se encuentra el dióxido de titanio (TiO_2) como potencial candidato debido a su estabilidad y no toxicidad (Hincapié et al., 2003).

2.3. PROCESOS DE AIREACIÓN EN TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los procesos de aireación en el tratamiento de aguas residuales, ocupan un lugar importante en la administración de calidad del agua y en la auto-purificación de aguas naturales. Aun cuando en la transferencia de gas es un fenómeno físico, en el que se intercambian moléculas de gas entre un líquido y un gas, en la interfaz o superficie de contacto gas-líquido, la operación física va acompañada de cambios químicos, bioquímicos y biológicos, así como biofísicos. La importancia de la aportación de oxígeno depende de las siguientes características: de la superficie de contacto entre burbujas de aire y el agua, del gradiente de concentración de oxígeno entre el aire y el agua, del tiempo disponible para la

difusión del oxígeno, de la temperatura del agua, de las sales presentes en el agua (Barreque, 1979).

Existen dos tipos de aireadores, que forman gotas o películas de agua en contacto con el aire, llamados aireadores descendentes. Estos pueden ser de rociamiento, escalones (aireadores mecánicos) y de cascada (aireadores por gravedad). En este tipo de aireadores el oxígeno es suministrado en forma fragmentada, es decir, la masa del líquido bombeado en forma de gotas, integra el oxígeno al volver al seno de la masa acuosa de las lagunas o tanques (Droste et al., 1997).

En adición, existen los aireadores ascendentes que forman burbujas de aire en contacto con el agua. A diferencia de los anteriores, el oxígeno es introducido en el seno de la solución acuosa como sucede regularmente en tratamientos biológicos. Estos pueden del tipo de boquilla o de difusores, esto con el fin de eliminar la resistencia de transferencia de masa de un gas hacia un líquido (Mingzhi et al., 2009).

2.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE MATADEROS

2.4.1. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DE MATADEROS

Para un tratamiento biológico de aguas residuales de camal en primer lugar se realiza una separación de grasas. Las vísceras pueden ser digeridas en una instalación de biogás junto con el estiércol (Muñoz, 2005). El proceso de descomposición de los efluentes de camal pasa por una etapa anaerobia, donde la carga orgánica se digiere de dos a tres días. Previo al proceso de precipitación química y sedimentación, el efluente se somete a cloración. La digestión anaerobia hace uso de control de temperatura para su estabilización y evitar productos dañinos para el medio ambiente. A continuación, se describen los procesos tanto aerobios como anaerobios (Muñoz, 2005).

Las bacterias aeróbicas se caracterizan por utilizar el oxígeno en su metabolismo, oxidando y degradando el contaminante orgánico. Los tratamientos aerobios se clasifican en procesos de lodos activados, lagunas aireadas y procesos de filtración biológica (López, 2008).

En la Figura 2, se muestra un reactor secuencial para el tratamiento de efluentes de camal, este sólo aplicando el proceso de aireación.

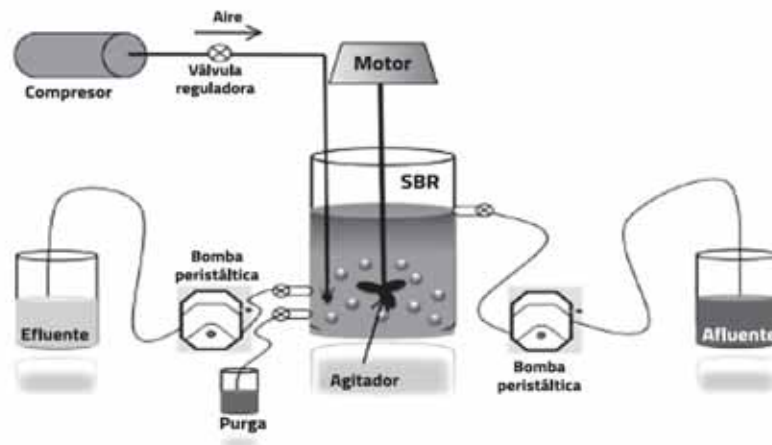


Figura 2: Descripción ilustrada del reactor por carga secuencial (Carrasquero et al., 2015)

2.4.2. OXIDACIÓN AVANZADA DE EFLUENTES DE MATADEROS

Los procesos de oxidación avanzada alteran químicamente los contaminantes orgánicos generando productos inocuos al medio ambiente. Dichos procesos involucran el uso de radicales hidroxilo y compuestos transitorios altamente reactivos. La generación de radicales se basa en fotocátalisis (uso de radiación solar) u otros tipos de energía. Este método es altamente efectivo en tratamiento de efluentes con alta carga orgánica.

De Sena, 2009 estudio el proceso de oxidación avanzada de efluentes provenientes de camal. Los experimentos se llevaron a cabo en lotes usando un fotorreactor variando la concentración de H_2O_2 entre 150 y 525 mg/l. Se concluyó que cantidades excesivas de peróxido de hidrógeno crean efectos negativos en la eficiencia de remoción de materia orgánica, lo que podría atribuirse a la formación radicales $\cdot HO_2$, que se forman por la reacción entre radicales hidroxilo y exceso de peróxido de hidrógeno (Gogate, 2004). La *Tabla 1* muestra la eficiencia de remoción de DBO y DQO aplicando diferentes procesos de oxidación avanzada mediante aire disuelto (DAF).

Tabla 1: Porcentaje de eliminación de materia orgánica por flotación de aire directo (DAF) (Gogate, 2004).

Tratamiento	AOP reactivo (m/l)		Eficiencia de remoción (%)	
	H_2O_2 /UV	Fe^{3+}	DBO ₅	DQO
DAF			70.3	80.3
DAF+Perox-1	150		74.3	87.1
DAF+Perox-2	300		78.6	88.7
DAF+Perox-3	525		82.9	91.1
DAF+Foto-Fenton	525	80	97.7	97.6

Gogate, 2004 concluyó que procesos de foto-peroxidación y foto-Fenton son tratamientos de oxidación avanzada con más éxito para contaminantes orgánicos que se encuentran en aguas residuales de camal. En adición, procesos combinados en un reactor anaeróbico de lodos activados con oxidación UV/H₂O₂ fueron técnicamente más eficientes que otros procesos, eliminando un 15% más de TOC (Carbón orgánico total) durante la misma cantidad de tiempo de operación. Este sistema combinado ha demostrado ser la solución más rentable entre otros procesos (Bustillo et al., 2014).

2.5. TIPOS DE REACTORES

2.5.1. REACTORES DE FLUJO CONTINUO

Estos tipos de reactores operan normalmente en condiciones estacionarias y el tiempo de residencia, es suficientemente largo para asegurar una mezcla perfecta. En condiciones isotérmicas, la temperatura no depende de la posición ni del tiempo. Un caso especial es el reactor tubular, que está formado por un conjunto de tubos por los cuales entran los reagentes, produciéndose la reacción química en dirección axial de los tubos (Fogler, 2006).

2.5.2. REACTORES INTERMITENTES

Su uso está enfocado a un nivel de producción pequeño o procesos nuevos en etapa experimental. Estos reactores permiten una conversión significativa debido a que es posible tener un control total en el tiempo de reacción sin tener que variar el volumen de reproducción. Para su modelamiento se considera que no existe flujo de entrada ni de salida, y por lo tanto el balance general solo incluye el termino acumulación, como se muestra en la ecuación 5 (Fogler, 2006).

$$\frac{dN_j}{dt} = \int r_j dV \quad (5)$$

2.5.3. BIORREACTORES

Son reactores que sostienen y soportan la vida de células y cultivos de tejidos., prácticamente todas las reacciones celulares necesarias para mantener la vida son mediadas por enzimas que catalizan diversos aspectos del metabolismo celular, como la

transformación de energía química y la construcción, la descomposición y la digestión de componentes celulares (Fogler, 2006).

2.6. PARAMETROS EN CONTROL DE CALIDAD DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA CÁRNICA

2.6.1. TURBIEDAD

Se entiende por turbidez o turbiedad a la medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sólidos suspendidos en el líquido, mayor será el grado de turbidez. En potabilización del agua y tratamiento de aguas residuales, la turbidez es considerada como un buen parámetro para determinar la calidad del agua, a mayor turbidez menor calidad. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez (Severiche et al., 2013).

2.6.2. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

Es un parámetro físicoquímico que indica el consumo de oxígeno por microorganismos que habitan el efluente. Se mide en unidades de concentración como mg/l. Este indicador es importante en la caracterización de aguas. Un alto nivel de DBO se traduce en una concentración significativa de carga orgánica en la muestra (Boyd, 2015).

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días. Las condiciones naturales de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar y la concentración de oxígeno no pueden ser reproducidas en el laboratorio (Garay et al., 1993).

2.6.3. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (TDS)

El total de sólidos disueltos (a menudo abreviado como TDS, del inglés: Total Dissolved Solids) es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma

de suspensión micro-granular (sol coloide). En general, la definición operativa es que los sólidos deben ser lo suficientemente pequeño como para sobrevivir filtración a través de un filtro con poros de 0,45 micrómetros (tamaño nominal, o más pequeño). EL total de sólidos disueltos se diferencia del total de sólidos en suspensión (TSS), ya que este último se compone de sustancias que no pueden pasar a través de un filtro de 0,45 micrómetros, aunque estas sean también suspendidas indefinidamente en una solución líquida (Boyd, 2015).

2.6.4. CONDUCTIVIDAD

La conductividad se define como "la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido". Las unidades son Siemens por metro [S/m] en SI.

2.7. MICROCONTROLADORES ARDUINO

Arduino es un tipo de microcontrolador de acceso libre con implementación del lenguaje C++, así mismo cuenta con puertos de entrada y salida de tipo digital y analógico (Barrett, 2013). Dentro de los elementos principales de la plataforma Arduino, se encuentra el microprocesador en la placa con puertos PIN y la conexión con puerto USB. este último servirá para transferir las instrucciones del computador al FIRMWARE. En la Figura 3 se muestra un diagrama de la plataforma arduino, indicando sus partes principales.

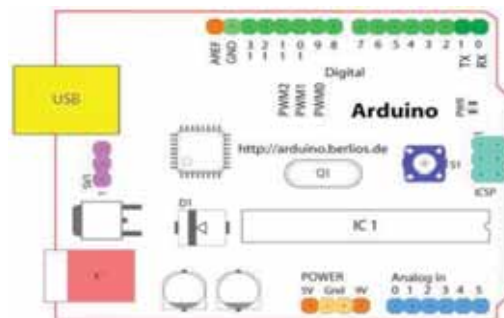


Figura 3: Diagrama de una plataforma arduino (Barrett, 2013).

2.8. PROTOCOLO I²C

I²C es un protocolo mediante el cual se envían y reciben datos de manera sincronizada entre componentes electrónicos que se encuentran enlazados en dicho protocolo. Este protocolo permite conectar hasta 127 dispositivos esclavos y un maestro. y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales. El puerto incluye dos cables de comunicación, SDA

y SCL. Además el protocolo permite conectar hasta 127 dispositivos esclavos con esas dos líneas, con hasta velocidades de 100, 400 y 1000 kbits/s. También es conocido como IIC ó TWI – Two Wire Interface. El protocolo I²C es uno de los más utilizados para comunicarse con sensores digitales, ya que a diferencia del puerto Serial, su arquitectura permite tener una confirmación de los datos recibidos, dentro de la misma trama, entre otras ventajas.

La conexión de tantos dispositivos al mismo bus, es una de las principales ventajas. Los mensajes que se envían mediante un puerto I²C, incluye además del byte de información, una dirección tanto del registro como del sensor. Para la información que se envía siempre existe una confirmación de recepción por parte del dispositivo. Por esta razón es bueno diferenciar a los distintos elementos involucrados en este tipo de comunicación. A continuación se muestra la Figura 4 con el diagrama de conexión de dos dispositivos mediante dicho protocolo, donde SDA es el bus de datos y SCL es el bus de reloj (Paz, 2014).

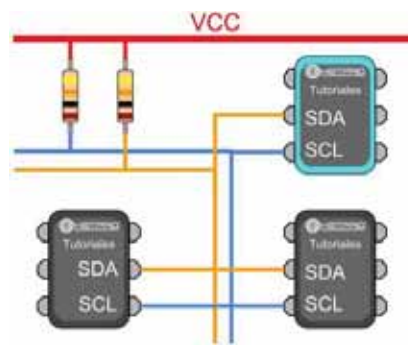


Figura 4: Diagrama de conexión I²C (Paz, 2014).

III. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación se realizó en la facultad de Ingeniería de Procesos, en las instalaciones de investigación de Gas Natural y Recursos Orgánicos, ubicadas en el campus de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. El presente estudio se divide en tres partes, muestreo y preparación de la muestra, diseño y montaje del reactor, recolección de datos y análisis de resultados. El estudio del proceso de oxidación avanzada, que se realizó en la tercera parte, considera la perturbación de variables de operación como flujo de aire inyectado al reactor, agitación y concentración de oxidante.

3.1. MATADERO AVÍCOLA GRANJA QUISPE

El matadero avícola “Granja Quispe” se encuentra en el Mercado central de Abastos, de la Ciudad del Cusco, Perú. El 70% de la producción de pollo en la granja Quispe, se destina a los mercados de abasto locales.

Las técnicas que se aplican dentro de un mercado de abastos como mataderos es 100% manual, a ello se le adiciona que los desechos de aguas contaminadas con el desangrado son directamente enviados al alcantarillado municipal.

A continuación se describen las etapas envueltas en el proceso de producción de carne de pollo.

Recepción de pollos: Consiste en la llegada de los pollos desde la granja de producción hasta el mercado central.

Matanza y desangrado: Los pollos se introducen en los conos de sacrificios hasta que la cabeza y el pescuezo salgan por el orificio interior del cono. Se estira el pescuezo y se lo dobla para realizar el corte en la vena yugular provocando la muerte del ave.

Escaldado y pelado: Luego del desangrado, se procede al escaldado del pollo que tiene por objetivo dilatar los folículos de la piel y facilitar la extracción de plumas, se sumerge en agua que se encuentra a una temperatura de 50 – 52 °C, para luego extraer las plumas.

Eviscerado: Se realiza un corte horizontal de 5 cm en la cloaca, se procede a la extracción de las vísceras o menudencias de la cavidad gastrointestinal del ave, se abre la cavidad intestinal a partir del rajado de la cloaca, se extrae las vísceras de la cavidad gastrointestinal, y por último se lava la cavidad vacía.

Lavado: Este último con el fin de eliminar el resto de la sangre, para luego ser comercializados.

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo general del matadero avícola Granja Quispe, donde se muestra cada proceso y operación correspondiente, donde se puede apreciar la etapa de lavado, es donde se realizara la toma de muestra de esta etapa específica.

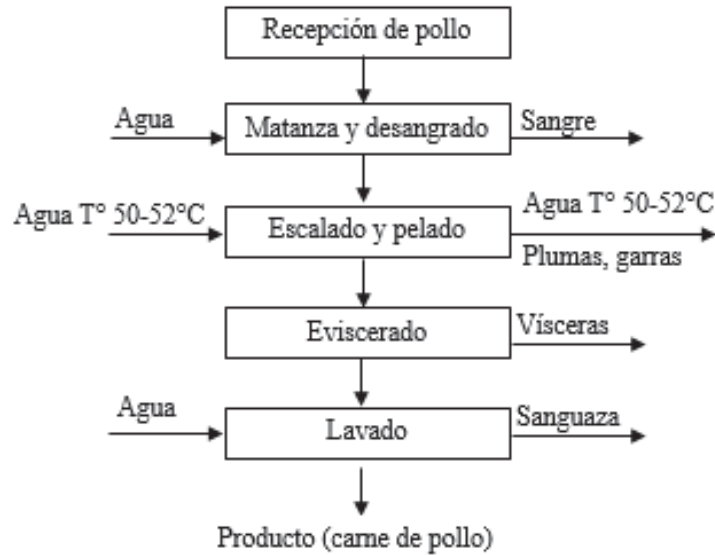


Figura 5: Diagrama de flujo del proceso del matadero avícola Granja Quispe

3.2. VISION GENERAL DEL PROCESO

La Figura 6 presenta un diagrama de flujo, para el porcentaje de reducción de turbiedad.

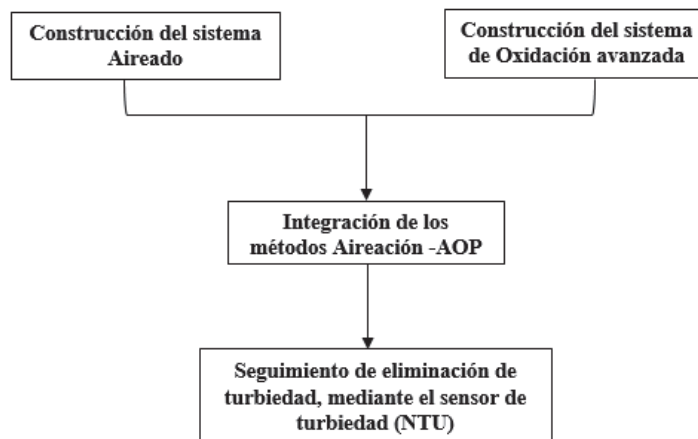


Figura 6: Diagrama de flujo de integración de proceso simultaneo para el pre-tratamiento de agua con sangre para la construcción de equipo.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de flujo para los experimentos realizados en el reactor batch de burbujeo, indicando los parámetros de operación que se mantuvieron constantes.

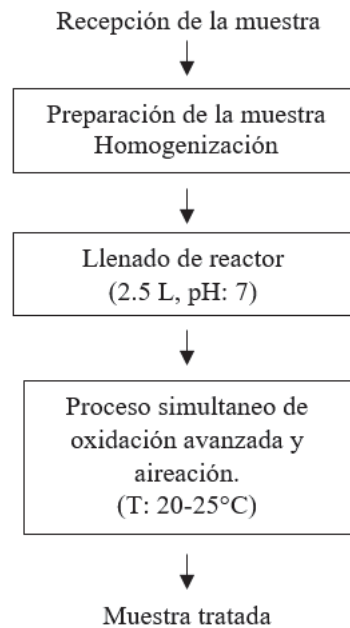


Figura 7: Diagrama de flujo para los experimentos realizados en el reactor batch de burbujeo.

3.3. MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS

En el Cuadro 1 se lista los materiales, equipos e instrumentos utilizados en el presente trabajo de investigación. Parte de los cuales fueron proporcionados por el laboratorio y lo restante adquirido externamente.

Cuadro 1: Lista de materiales, equipos e instrumentos.

<i>Materiales y reactivos</i>	<i>Equipos</i>	<i>Instrumentos</i>
- <i>Peróxido de hidrogeno (H₂O₂).</i>	<i>Reactor de burbujeo con control de temperatura y adquisición de datos autónoma.</i>	- <i>Analizador digital de Solidos disueltos totales (TDS)</i>
- <i>Vaso de precipitado</i>		- <i>Sensor de pH SEN0161</i>
- <i>Probeta</i>		- <i>Sensor de turbidez SEN0189.</i>
- <i>Pipeta</i>		- <i>Termostato XW3001</i>

Fuente: Elaboración propia

3.4. MUESTRA

Se presenta seis muestras tomadas durante (Figura 5) cada media hora, esta muestra estuvo constituida por el efluente del lavado de las aves desviceradas. El protocolo de muestreo se describe en la sección “Toma de Muestra”.

3.5. TOMA DE MUESTRA

Se tomó una muestra compuesta de un volumen de 3 litros, debido a que el flujo fue variable. Las muestras simples para hacer la muestra compuesta, fueron de igual volumen (500 ml). Se tomaron muestras en el mismo punto de muestreo cada hora, durante seis horas. Se repitieron los mismos pasos de la toma de muestra para las dieciocho experimentaciones, se eligieron como días de muestreo los viernes, sábados y domingos, debido a que fueron de mayor producción. En la Figura 8 se visualizan las muestras tomadas.



Figura 8: Muestras obtenidas posterior al proceso de lavado.

3.6. PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra consistió en la homogenizaron de las muestras simples y se obtuvo un volumen de 3 litros; se extrajo 20 ml de esta muestra compuesta, que fueron llevados al laboratorio para la caracterización de la misma.

Dicha caracterización se realizó en el Laboratorio de Ciencias Naturales – Cusco. El Cuadro 2 muestra los parámetros analizados en el presente trabajo, basado en el estudio de Bustillo et al., 2017, que caracterizaron efluentes de la industria cárnica.

Cuadro 2: Parámetros de caracterización de agua con sangre.

Parámetros	Técnica de análisis
DBO	Prueba DBO de 5 días (Sawyer et al., 2003)
Nitrógeno total	Método Kjeldahl (Sawyer et al., 2003)
Fosforo total	Digestión ácida (Sawyer et al., 2003)
Sólidos solubles totales	Multiparamétrico
Turbiedad	Multiparamétrico
pH	Multiparamétrico

3.7. MONTAJE DEL REACTOR BATCH DE BURBUJEO

El reactor batch tuvo una capacidad máxima de 7 litros. Se desarrolló con un sistema de control de temperatura y agitación, así como adquisición de datos de turbiedad y pH mediante microcontroladores Arduino como se muestra en la Figura 9a, el código de programación se encuentra en el apéndice A. Galicia et al.,2005 encontraron que la cantidad de aire necesario es el 5.5% del volumen de la muestra, los cálculos realizados para el volumen del reactor y del flujo volumétrico del aire se encuentran en el Anexo F. El control de temperatura se realizó con un termostato a una temperatura constante alrededor de 20°C, se eligió esta temperatura como referencia basado en el trabajo de Li et al., 2008, con el fin de comparar los resultados. En la Figura 9 a y b, se muestra el armado y el diagrama del reactor batch respectivamente con sus componentes electrónicos.

a)



b)



Figura 9: Armado de circuito electrónico, con adquisición de datos (a); Armado del reactor batch de burbujeo con sensores de pH y turbiedad (b).

La Figura 10 muestra el diagrama general del reactor batch de burbujeo con los respectivos sensores y controladores implementados.

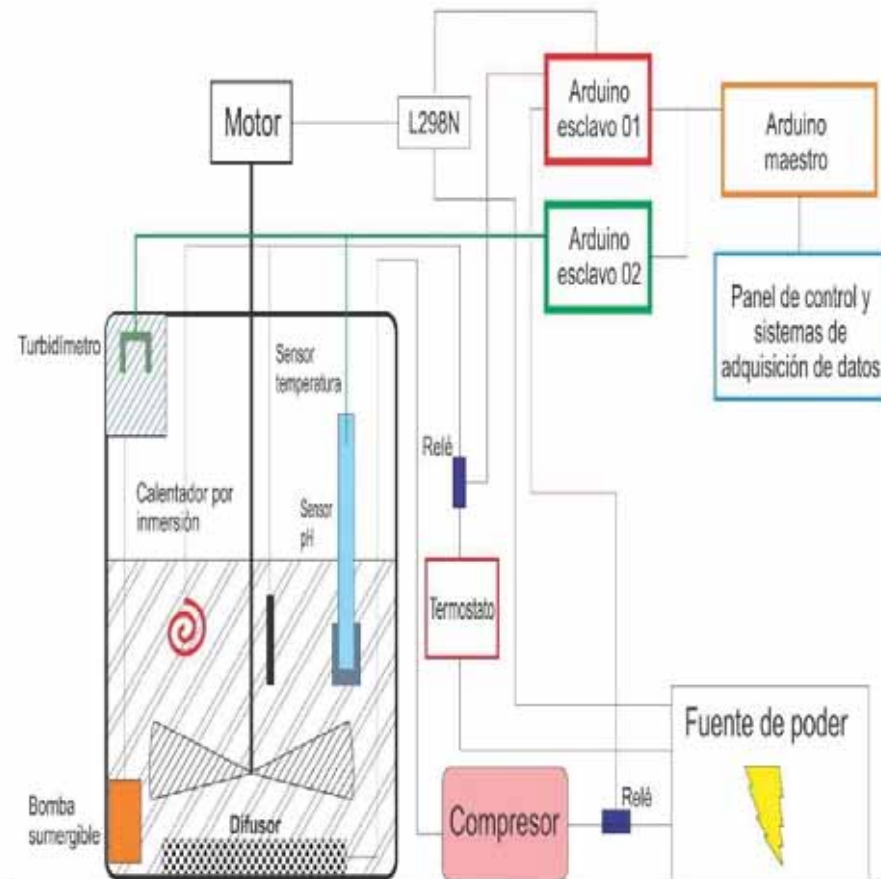


Figura 10: Diagrama general del reactor batch de burbujeo con sensores y controladores implementados

Se utilizó dos controladores Arduino Uno en configuración esclavo y un controlador Arduino Mega maestro, los cuales se sincronizaron mediante un protocolo I²C. El circuito electrónico, con la implementación del protocolo I²C, se muestra en la Figura 11. El algoritmo para el sistema, se desarrolló en lenguaje C++, y se encuentra adjunto en el Anexo A. Finalmente, el control de temperatura se realizó mediante un termostato de encendido/apagado serie XH-3001, cuyas especificaciones se muestran en el Anexo B. Debido a que la interface del panel de control se desarrolló en base a una pantalla táctil, se utilizó 3 Arduinos para aliviar la carga de memoria de los microcontroladores. Para el panel de control, se usó un Arduino mega el cual es compatible con el shield TFT y una pantalla táctil de 3.2”.

Los microcontroladores denominados esclavos son del modelo Arduino Uno. El esclavo 01 tuvo la función de leer datos de los sensores de turbidez, pH y enviar señales al panel de control maestro. Por otro lado, el esclavo 02 se encargó de recibir señales de ON/OFF y el control de agitación del reactor. Las especificaciones técnicas de los sensores de pH y turbiedad

compatibles con Arduino se encuentran en el Anexo B. En adición, el Anexo E muestra las fotos de la placa del sistema de control así como del reactor batch.

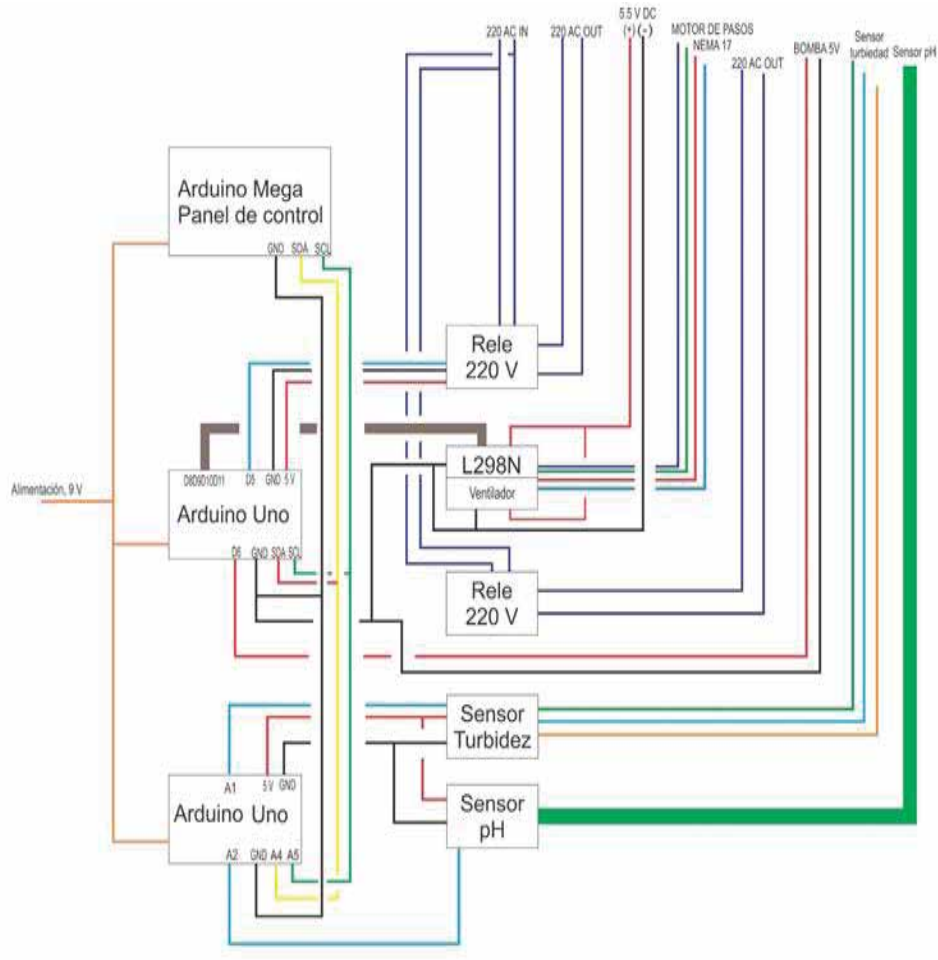


Figura 11: Configuración I^2C para el reactor batch de burbujeo

3.8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA

El proceso consistió en alimentar un volumen de 2.5 litros de muestra al reactor batch; corresponde aproximadamente a la mitad de la capacidad del reactor, para evitar fugas de muestra debido a la formación de espuma en el proceso de aireación. Así mismo el valor controlado de temperatura entre 20 a 25 °C, y presión 520.5 mm Hg (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología -SENAMHI, 2018) presión atmosférica de la ciudad del Cusco, se trabajó a diferentes condiciones de flujo y concentración. En la Figura 12 se observa el reactor batch y en el interior la muestra con sus respectivos sensores listos para dar marcha al plan experimental que se muestra en la Tabla 3, la cual muestra las condiciones de operación para cada experimentación.



Figura 12: Muestra de entrada al proceso simultaneo de oxidación avanzada y aireación

3.9. EFECTO DE FLUJO DE AIRE, CONCENTRACIÓN DE PERÓXIDO DE HIDROGENO Y VELOCIDAD DE AGITACIÓN

El efecto del flujo de aire, concentración de peróxido de hidrogeno y velocidad de agitación, se estudiaron mediante un diseño factorial de dos niveles más un punto medio y replica, donde las variables respuesta fueron turbidez y tiempo, el tiempo de residencia será tomado hasta que el valor medido por el sensor de turbiedad fue constante (Bustillo et al., 2017). Los valores máximos y mínimos de las variables independientes se basan en antecedentes los cuales se detallan: Para los valor mínimo de la concentración de peróxido de hidrógeno se tomó a Carrasquero et al., 2015, ya que ellos evaluaron un reactor continuo de solo aireación, al cual le llevo un tiempo de retención hidráulica de 15 horas, y valor máximo a Bustillo et al., 2017, los cuales se indican al lado inferior de la variable, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Diseño factorial multinivel.

Variables	Tipo	Mínimo	Máximo	Niveles
Flujo de aire, ml/min (Galicía et al., 2005)	Independiente	100	200	2
Concentración H ₂ O ₂ , mg/l (Bustillo et al., 2017)	Independiente	0	90	2
Velocidad de agitación, rpm	Independiente	0	300	2
Turbidez, NTU	Respuesta			
Tiempo de estabilización, min	Respuesta			

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3 muestra el diseño experimental 2^3 con punto central a desarrollar a lo largo de las experimentaciones. Se calculó el promedio de cada prueba y replica. Además se detalla los porcentajes de eliminación de la turbiedad a las condiciones establecidas para el diseño experimental.

Tabla 3: Plan experimental de proceso simultaneo de oxidación avanzada y aireación.

N°	T			% NTU Eliminado
	F	C	V	
1	100	0	0	
2	100	90	0	
3	200	0	0	
4	200	90	0	
5	100	0	300	
6	100	90	300	
7	200	0	300	
8	200	90	300	
9	150	45	150	
10	150	45	150	

F: flujo de aire en ml/min, C: concentración de H_2O_2 en mg/l, V: velocidad de agitación en rpm. NTU_0 : turbiedad inicial, NTU_F : turbiedad final, τ : tiempo de estabilización, min

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA MUESTRA

La Tabla 4 presenta la caracterización fisicoquímica de la muestra de agua contaminada con sangre.

Tabla 4: Caracterización fisicoquímica de la muestra antes del tratamiento.

<i>Parámetro</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
<i>DBO₅</i>	<i>1036</i>	<i>mg l⁻¹</i>
<i>Nitrógeno total</i>	<i>120</i>	<i>mg l⁻¹</i>
<i>Conductividad eléctrica</i>	<i>5110</i>	<i>uS cm⁻¹</i>
<i>Sólidos solubles totales SST</i>	<i>3400</i>	<i>mg l⁻¹</i>
<i>Turbiedad</i>	<i>305</i>	<i>NTU</i>
<i>pH</i>	<i>7.5</i>	

Basado en el Decreto Supremo de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda (DS 021-2009-VIVIENDA) se establece un valor admisible para el sistema de alcantarillado de DBO₅ de 500 mg/l. La DBO₅ de la muestra estudiada en el presente trabajo duplica dicho valor presentado en el decreto supremo. Con respecto al pH, Ventura et al., 2017 caracterizaron sanguaza de pescado encontrando un valor neutro de pH. En adición, varios trabajos reportan valores de pH para agua proveniente de mataderos entre 6.4 y 9.7 (Salas et al., 2008; Fedeyibi, et al., 2011; Tidjani, et al., 2016; Boughou, et al., 2018). La razón de que el pH de la muestra estudiada en el presente trabajo se acerca a valores neutros, se debe a que la sangre constituye un sistema buffer con pH alrededor de 7.35. Como todo sistema buffer, tiende a mantener constante el pH ante perturbaciones menores. En adición, los valores de turbiedad de la muestra del presente trabajo se encuentran por debajo de valores reportados por Kobya et al., 2006 quienes reportaron valores entre 550 y 600 NTU para efluentes provenientes de mataderos.

4.2. PROCESO SIMULTÁNEO DE OXIDACIÓN AVANZADA Y AIREACIÓN

La Tabla 5 muestra las medidas de turbiedad final en NTU y el tiempo de estabilización τ , para las diferentes condiciones. Cada experimento se realizó con su respectiva réplica, las tablas completas se encuentran en el Anexo D. Así mismo los cálculos se realizaron para cada experimento y su réplica.

Tabla 5: Resultados del diseño experimental.

				τ , min	NTU_0	NTU_F	(%) NTU Eliminado
N°	F	C	V				
1	100	0	0	205	307.1	287.5	6.38
2	100	90	0	195.5	309.3	156.5	49.40
3	200	0	0	167	306.3	280	8.58
4	200	90	0	171	301.8	159	47.31
5	100	0	300	174	321.4	281.5	12.41
6	100	90	300	181.5	310.7	154	50.43
7	200	0	300	143	315.2	276.5	12.28
8	200	90	300	112.5	316.8	150	52.65
9	150	45	150	134	316.1	186.5	40.99

F : flujo de aire en ml/min, C : concentración de H_2O_2 en mg/l, V : velocidad de agitación en rpm. NTU_0 : turbiedad inicial, NTU_F : turbiedad final, τ : tiempo de estabilización, min

En adición en la Tabla 5, se observan tres escenarios resaltantes. Para un flujo de aire de 100 ml/min, concentración de H_2O_2 de 0 mg/l y velocidad de agitación de 0 rpm se tiene un porcentaje de disminución de turbiedad de 6.38%. Dichas condiciones muestran que la aireación y el flujo de aire oxidan en cierto grado el efluente resultando en una disminución en la turbiedad.

El segundo escenario se encuentra a un flujo de aire de 150 ml/min, concentración de H_2O_2 de 45 mg/l y velocidad de agitación de 150 rpm, presentando un porcentaje de disminución de turbiedad de 40.99%. Nótese como el peróxido de hidrogeno es un potente oxidante, mejorando la eficiencia del proceso al menos en un orden. En adición a la mayor disminución de turbiedad, el tiempo de estabilización para estas condiciones es menor, comparado con el primer escenario. Lo que sugiere una sinergia entre el flujo de aire y la agitación con el peróxido de hidrogeno.

El tercer escenario representa las condiciones a las cuales se logra la mayor disminución de turbiedad. Dichas condiciones se encuentran a un flujo de aire de 200 ml/min, concentración de H_2O_2 de 90 mg/l, y velocidad de agitación de 300 rpm. La drástica disminución de la turbiedad al doblar la concentración de peróxido sugiere un comportamiento no lineal respecto a dicha variable independiente. Esta observación es importante, ya que sustenta los modelos de regresión para la turbiedad y el tiempo de estabilización planteados en las siguientes secciones.

4.2.1. ESTUDIO DE LA TURBIEDAD

Para el caso de la turbidez como variable respuesta, el análisis de superficie respuesta se propuso la hipótesis de que el flujo de aire y la velocidad de agitación afectan linealmente a la turbidez, mientras que la concentración de H_2O_2 tiene un efecto no lineal. Miller et al., 1999 propusieron parámetros no lineales en su trabajo de caracterización del proceso de oxidación de contaminantes provenientes de acuíferos con H_2O_2 . La regresión resultante se muestra en la Ec. 5, con un coeficiente de determinación R^2 igual a 0.998.

$$NTU = 287.75 - 0.0275F - 2.8194C - 0.0150V + 0.0158C^2 \quad (6)$$

La Figura 13 muestra la superficie respuesta con su respectivo contorno, correspondiente a la Ec. 5, manteniendo el flujo constante de aire a 150 ml/min. Donde los colores cálidos y fríos representan zonas de mayor y menor turbiedad respectivamente. Como se muestra en el gráfico de contorno Figura 13b, la turbiedad decrece de manera no lineal con la concentración de H_2O_2 , donde la zona de mayor turbiedad se encuentra por debajo de 20 mg/l. Similar conclusión se reportó en el trabajo de Mehmood et al., 2013, que estudio el efecto del peróxido de hidrogeno en el porcentaje de remoción de color en aguas residuales domésticas, mostrando que el porcentaje de remoción se vuelve independiente de la concentración de peróxido a partir de 0.5 ml/l de peróxido. Por otro lado, la agitación no tiene efecto significativo en la turbiedad lo que se traduce en un color constante para varios valores de agitación, como se muestra en la superficie y el gráfico de contorno. Esto sugiere que el proceso de oxidación es dominado por la concentración de peróxido. Castro-Peña et al., 2014 obtuvo similares resultados en su estudio sobre degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles. Él propuso que la dosis de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) controla la eficiencia global de la remoción de color.

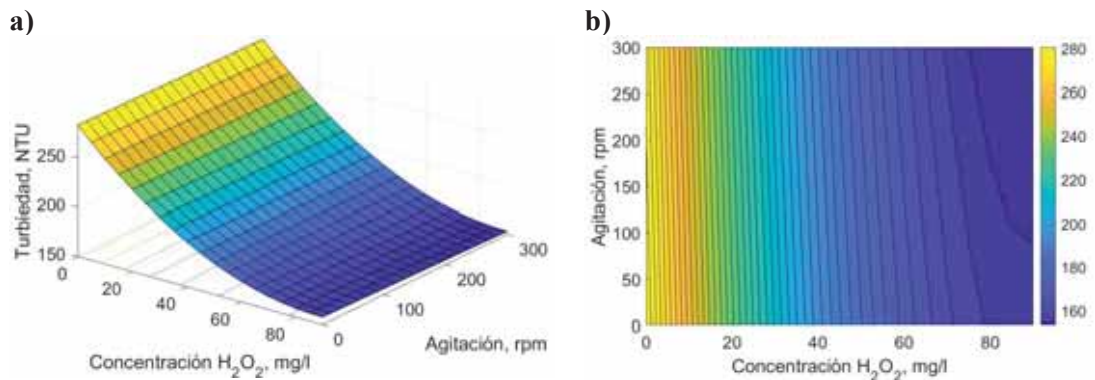


Figura 13: Superficie respuesta (a) y gráfico de contorno (b) manteniendo flujo de aire constante de 150 ml/min.

La Figura 14 muestra la superficie respuesta y el gráfico de contorno del modelo de regresión (Ec. 5), esta vez manteniendo constante la concentración de H_2O_2 a 45 mg/l. Se observa que la turbidez presenta una relación lineal entre el flujo de aire y la velocidad de agitación, resultando en un plano inclinado como superficie respuesta (Figura 14a). Sin embargo se debe notar que tanto la velocidad de agitación como el flujo de aire resultan en un cambio en la turbiedad del sistema de apenas 6 unidades aproximadamente, de 183 a 189 NTU, como se muestra en la barra de color del gráfico de contorno (Figura 14b).

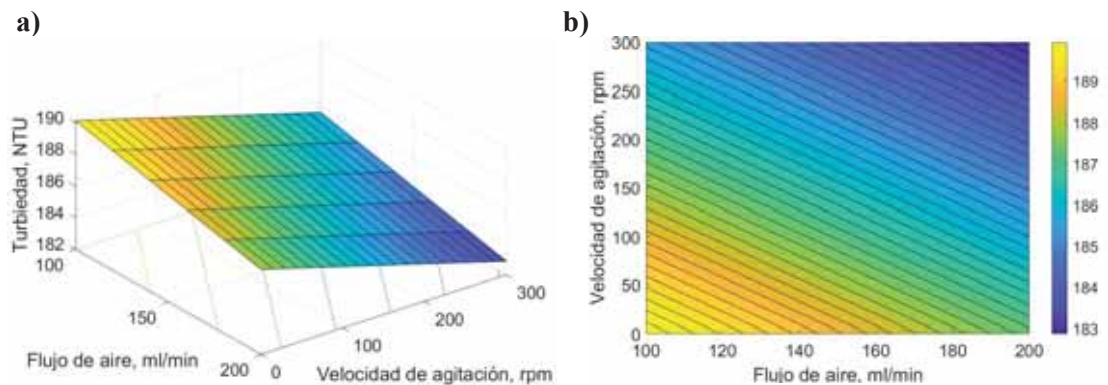


Figura 14: Superficie respuesta (a) y gráfico de contorno (b) manteniendo la concentración de H_2O_2 constante a 45 mg/l.

La Figura 15 muestra la superficie respuesta y el gráfico de contorno correspondiente al modelo de regresión (Ec. 5), manteniendo la velocidad de agitación constante. Dicho gráfico es similar a la superficie respuesta de turbiedad en función de la concentración de H_2O_2 y velocidad de agitación (Figura 13). Como se observa en el diagrama de contorno, la turbiedad varía significativamente con la concentración de H_2O_2 .

Mehmood et al., 2013, propuso una relación no lineal entre el porcentaje de remoción de color en aguas residuales domésticas y la concentración de H_2O_2 .

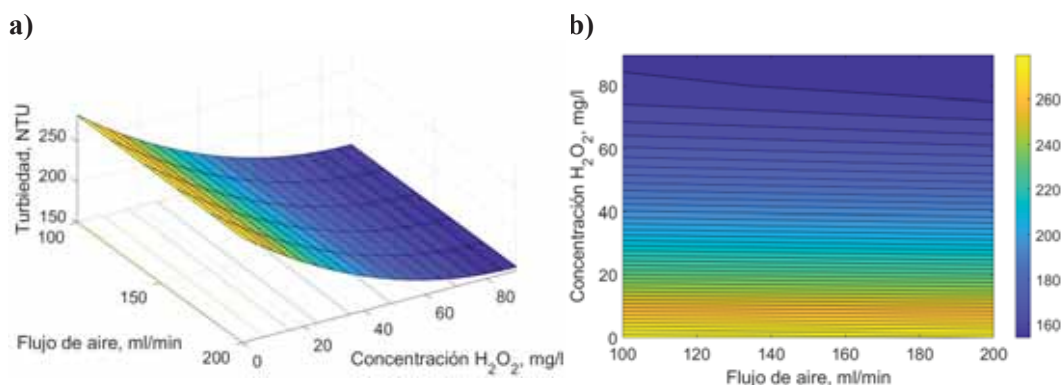


Figura 15: Superficie respuesta (a) y gráfico de contorno (b) manteniendo la velocidad de agitación constante a 150 rpm.

La Tabla 6 muestra el ANOVA del modelo de regresión tomando como variable respuesta la turbidez. Se puede observar que el efecto de la concentración de H_2O_2 es más significativo en la turbidez, seguido por la velocidad de agitación y en último lugar se encuentra el flujo de aire.

Tabla 6: ANOVA del diseño experimental tomando como variable respuesta la turbidez.

	Estimado	SE	p valor
Intercepto	287.75	2.8318	3.0451e-20
F	-0.0275	0.0163	0.1164
C	-2.8194	0.1105	1.7249e-12
V	-0.0150	0.0054	0.0165
C ²	0.0158	0.0012	7.6058e-9

4.2.2. ESTUDIO DEL TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN

Para el caso del tiempo de estabilización como variable respuesta, el presente trabajo define tiempo de estabilización como el tiempo que toma el sistema para alcanzar un valor constante de turbidez. La Ec. 6 muestra el modelo estadístico propuesto para el ajuste de los datos experimentales, presentando un coeficiente de determinación R^2 de 0.86; donde τ es el tiempo de estabilización en minutos. Nótese que en el modelo estadístico propuesto se consideró interacción entre las variables independientes (los términos FC, FV y CV), y de las tres interacciones, FV y CV tienen

un coeficiente próximo a cero y por lo el tiempo de estabilización no es sensible a dichos términos.

$$\tau = 208.2442 - 0.1813F + 0.0055C^2 - 0.0031FC - 5.65e^{-4}FV - 4.9670e^{-4}CV \quad (7)$$

La Figura 16 muestra la superficie respuesta y el gráfico de contorno para el tiempo de estabilización, manteniendo el flujo de aire constante a 150 ml/min. Nótese que a diferencia de la turbiedad que incrementa con la concentración en una relación cuadrática, en el caso de tiempo de estabilización, el menor tiempo de estabilización (color azul en el gráfico de contorno, Figura 16b) se encuentra en concentraciones intermedias, entre 40 y 60 mg/l y velocidades de agitación por encima de 250 rpm. Otra diferencia importante a resaltar es que en el caso del estudio del efecto de la velocidad de agitación en la turbiedad, dicha variable no afectaba significativamente a la turbiedad en comparación de la concentración de H₂O₂. Sin embargo en este caso, la velocidad de agitación disminuye monofónicamente el tiempo de estabilización. Se propone como mecanismo que la velocidad de agitación ayuda a sobresaturar el sistema de oxígeno contribuyendo al proceso de oxidación, iniciado por el peróxido de hidrógeno. Wang et al., 2019 reportó que la eficiencia de remoción de sulfadimetoxina de aguas de tratamiento, incrementa con la velocidad de agitación aplicando en método Fenton. El reportó un incremento de 88.1 %, 94.4% y 96.2% para velocidades de agitación de 80, 100 y 120 rpm, respectivamente.

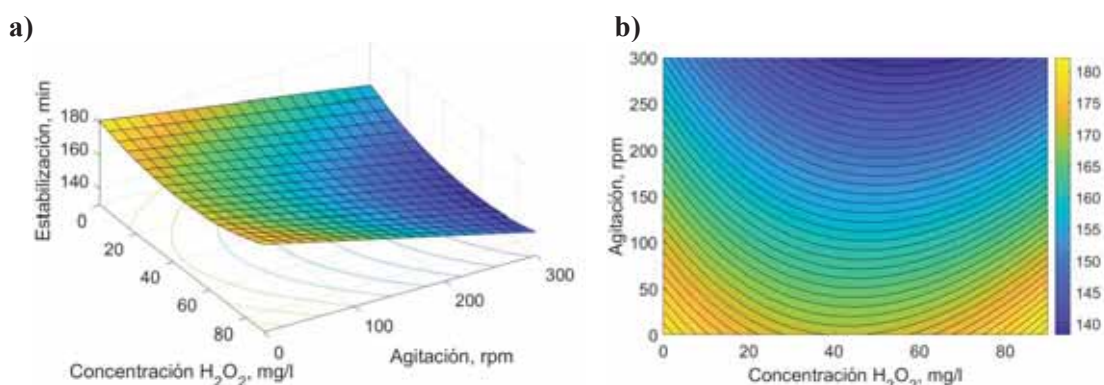


Figura 16: Superficie respuesta (a) y gráfico de contorno (b) para el tiempo de estabilización manteniendo el flujo de aire a 150 ml/min.

La Figura 17 muestra la superficie respuesta y el gráfico de contorno para el tiempo de estabilización, manteniendo la concentración de peróxido constante a 45 mg/l. De manera interesante, aunque en el modelo de regresión el coeficiente del término de interacción entre flujo de aire y velocidad de agitación es cercano a cero (coeficiente

de FV en la Ec. 6) se puede observar que existe sinergia entre ambas variables. Tanto la velocidad de agitación como el flujo de aire ayudan a disminuir el tiempo de estabilización y por lo tanto disminuyen el tiempo de reacción mejorando la cinética del proceso. Dehghani et al., 2016 estudio el efecto de la aireación en el proceso de remoción de tintes en efluentes textiles, mostrando que el flujo de aire afecta positivamente en la eficiencia de remoción, llegando a un valor máximo de 87% con un flujo de 150 ml min^{-1} .

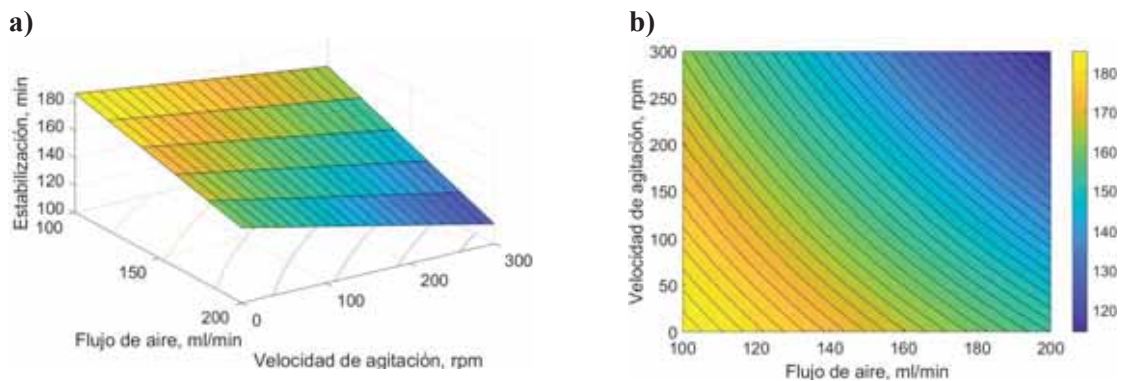


Figura 17: Superficie respuesta (a) y gráfico de contorno (b) para el tiempo de estabilización manteniendo la concentración de H_2O_2 a 45 mg/l .

La Figura 18 muestra la superficie respuesta y gráfico de contorno para el tiempo de estabilización, esta vez manteniendo constante la velocidad de agitación a 150 rpm . Al igual que la primera superficie respuesta, en la que se mantiene constante el flujo de aire (Figura 16), el tiempo de estabilización es menor a concentraciones intermedias de peróxido y flujos de aire por encima de 180 ml/min .

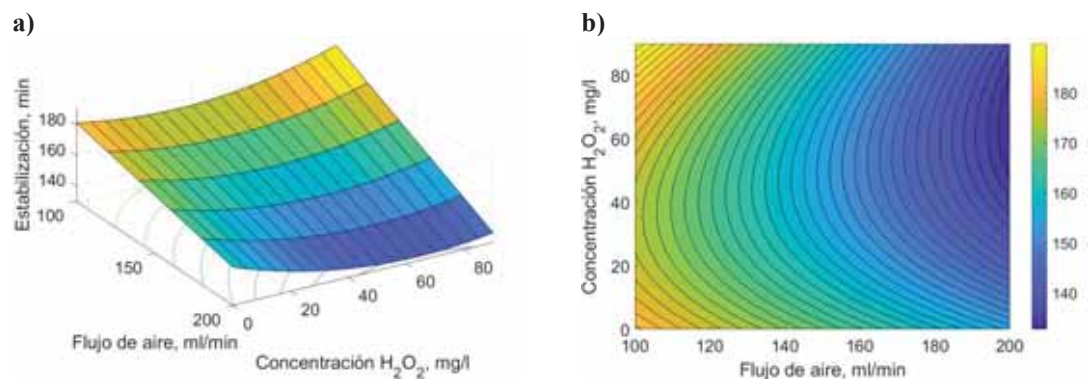


Figura 18: Superficie respuesta (a) y gráfico de contorno (b) para el tiempo de estabilización manteniendo la velocidad de agitación constante a 150 rpm .

La Tabla 7 muestra el ANOVA del modelo de regresión para el tiempo de estabilización. Todos los términos de la regresión son estadísticamente significantes

excepto el término CV, cuyo coeficiente tiene una alta probabilidad de no contribuir a la variable respuesta, i.e. el tiempo de estabilización. Dicho ANOVA además indica que aunque el coeficiente del término de interacción FV es cercano a cero, es estadísticamente significativo con un valor p de 0.0105. Lo cual se comprueba en el análisis de superficie respuesta que muestra sinergia entre el flujo de aire y la velocidad de agitación (Figura 17). En adición, el modelo de regresión indica que existe interacción entre el flujo de aire y la concentración de H₂O₂, con un estadístico p igual a 0.0360.

Tabla 7: ANOVA del diseño experimental tomando como variable respuesta la turbidez.

	Estimado	SE	p valor
Intercepto	208.2442	13.577	3.0123e-9
F	-0.1813	0.0938	0.0773
C²	0.0055	0.0024	0.0391
FC	-0.0031	0.0013	0.0360
FV	-5.65e-4	0.0002	0.0105
CV	-4.97e-4	0.0005	0.3030

4.3. COMPORTAMIENTO DEL pH EN EL PROCESO

La Figura 19 muestra el comportamiento de pH respecto al tiempo para las condiciones del diseño experimental planteado. La disminución del pH en todos los escenarios se puede explicar debido a la disolución del dióxido de carbono del aire, formando H₂CO₃ en la solución. Sin embargo, en algunas condiciones, dicha disminución de pH es más notoria. Por ejemplo a 200 ml/min de flujo de aire, 90 mg/l de H₂O₂ y 300 rpm velocidad de agitación (Figura 19h), se observa que el pH alcanza el menor valor comparado con las demás condiciones, lo que sugiere que la oxidación de la carga orgánica contenida en muestra libera hidrogeniones. Dehghani et al., 2016 en su estudio sobre remoción de color de aguas mediante proceso de oxidación avanzada, reportó que a menores valores de pH la eficiencia del proceso incrementa entre 5 y 15 %. Sin embargo, también se observó una mejora en la eficiencia a valores de pH básicos por encima de 10, mostrando que el proceso sigue una tendencia no lineal. Además, se observa que la espuma incrementa a valores de pH más ácidos, lo que concuerda con el trabajo de Ramirez et al., 2013, quienes estudiaron el efecto del pH en las propiedades surfactantes de sustancias húmicas. Ellos explicaron que a valores de pH ácidos, los grupos carboxilo tienden a ganar hidrogeniones, alcanzando su estado de carga neutra y por ende disminuyendo la atracción electrostática necesaria para formar la interface miscelar. Bustillo et al., 2016, en su trabajo de Tratamiento y Caracterización de Aguas Residuales de Matadero, reportó que el pH

no varía de forma significativa a flujos de efluente bajos, sin embargo a media que se incrementa el flujo, se hace notoria la variación en el pH, obteniendo menor porcentaje de peróxido residual.

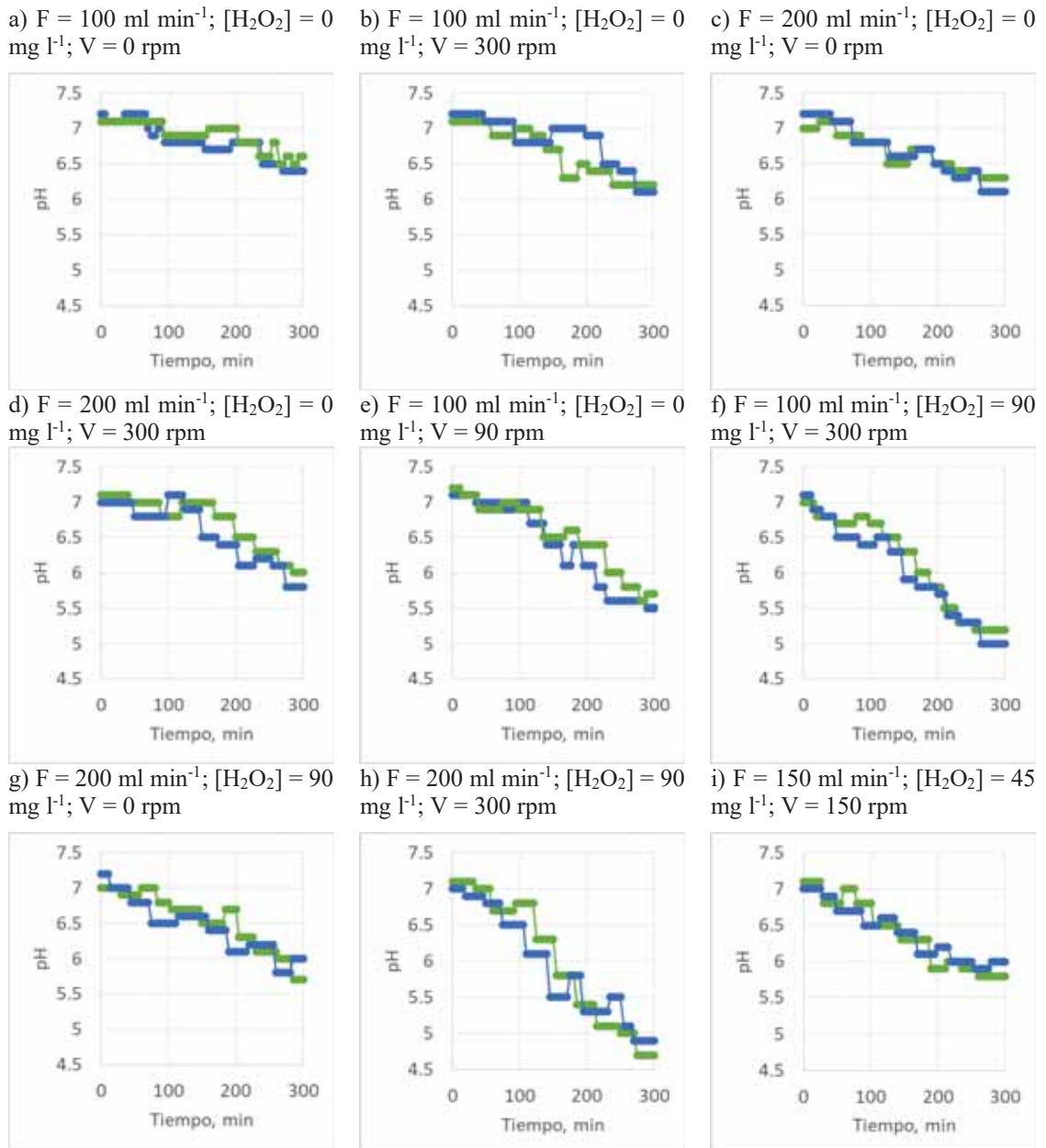


Figura 19: Comportamiento del pH en función del tiempo para las condiciones del diseño experimental propuesto.

4.4. PARAMETROS DE OPERACIÓN DEL PROCESO

Para comparar los modelos de regresión entre la turbiedad y el tiempo de estabilización, la Figura 20 muestra gráficos de corte transversal para ambas variables respuesta. Se observa que en el caso de la turbiedad, Figura 20a, dicha variable no es sensible al flujo de aire y a la

velocidad de agitación. Sin embargo, cambia con la concentración de H_2O_2 . En el caso del tiempo de estabilización, Figura 20b, sucede lo contrario, esta vez la variable respuesta no es muy sensible a la concentración de H_2O_2 , pero varía considerablemente con el flujo de aire y la velocidad de agitación. El objetivo es alcanzar un menor tiempo de estabilización y a la vez una turbiedad mínima. En otras palabras, al superponer ambos gráficos, la zona que presenta las mejores condiciones de operación se representa por la intersección del color azul. Dicha zona corresponde a un flujo de aire a 175 ml/min, una velocidad de agitación mayor a 150 rpm y una concentración de H_2O_2 mayor a 40 mg/l.

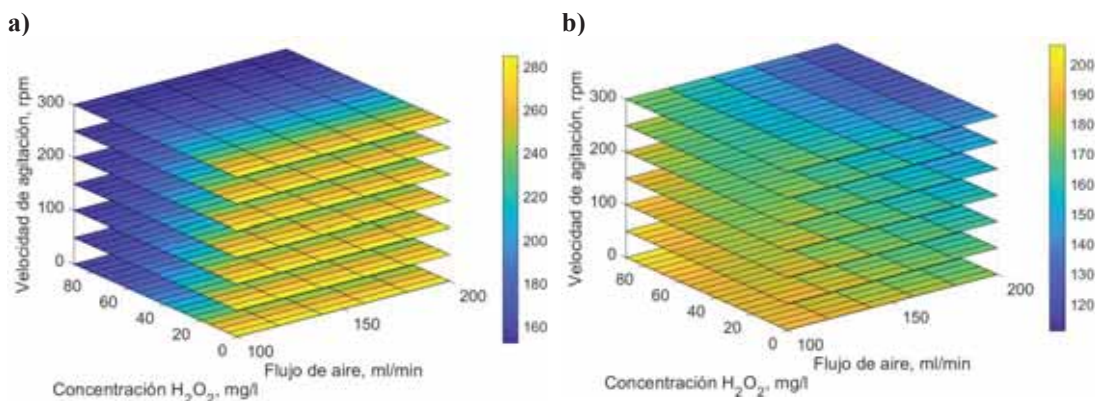


Figura 20: Gráfico de corte transversal para la turbiedad (a) y tiempo de estabilización (b).

4.5. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA TRATADA

La Tabla 8 presenta la caracterización fisicoquímica de la muestra tratada correspondiente a 200 ml/min de flujo de aire, 300 rpm de velocidad de agitación y 90 mg/l de concentración de H_2O_2 . Los valores de DBO_5 y nitrógeno total de la muestra se encuentran por debajo de los límites máximos admisibles estipulados en el DS-021-2009 para descargas de aguas de aguas residuales no domésticas en alcantarillado. Respecto a la conductividad eléctrica y sólidos solubles totales, los valores de la muestra se encuentran por debajo de los límites estipulados por DS-031-2010, para consumo de agua potable. Así mismo estos valores se encuentran cercanos a los valores obtenidos en el trabajo de Ventura Cueva, S. (2017) en el cual se obtuvo una disminución en el DBO_5 de 70% similar al 73% obtenido en el presente trabajo, a su vez la conductividad eléctrica también se encuentra dentro de los parámetros mostrando un porcentaje de reducción de 79.4%.

Tabla 8: Caracterización fisicoquímica de la muestra después del tratamiento.

<i>Parámetro</i>	<i>Cantidad</i>	<i>DS-021-2009</i>	<i>DS-031-2010</i>
<i>DBO₅</i>	<i>280</i>	<i>500</i>	
<i>Nitrógeno total, mg/l</i>	<i>14</i>	<i>80</i> <i>(amoniacal)</i>	
<i>Conductividad eléctrica, uS/cm</i>	<i>1050</i>		<i>1500</i>
<i>Sólidos solubles totales SST, mg/l</i>	<i>750</i>		<i>1000</i>
<i>Turbiedad, NTU</i>	<i>150</i>		<i>5</i>
<i>pH</i>	<i>4.7</i>	<i>6-9</i>	

CONCLUSIONES

- Basado en la caracterización fisicoquímica después del proceso, parámetros como DBO_5 , nitrógeno total, sólidos solubles totales y conductividad eléctrica se encuentran por debajo de los valores máximos admisibles estipulados en los decretos supremos DS-021-2009 y DS-031-2010 para descarga de aguas residuales no domesticas en alcantarillado y consumo de agua potable respectivamente. Se reporta en la caracterización fisicoquímica de la muestra después del tratamiento 150 NTU de turbiedad final, 280 mg/L de DBO_5 y 750 mg/L de solidos solubles totales.
- Respecto a la turbiedad, el flujo de aire y la velocidad de agitación no afectan significativamente dicha variable respuesta. Sin embargo, la turbiedad es sensible a la concentración de H_2O_2 . En el caso del tiempo de estabilización, esta variable respuesta es sensible a cambios de flujo de aire y velocidad de agitación. En adición, existe sinergia entre el flujo de aire y la concentración de H_2O_2 , alcanzando menores tiempos de estabilización y por lo tanto acelerando el proceso de oxidación. La materia orgánica se reduce en un 72.9%, turbiedad en un 51% y solidos solubles totales en 77.9%.
- Se observa que el pH disminuye en función del tiempo para todos los escenarios del diseño experimental, lo cual se atribuye a la disolución de CO_2 del aire. Sin embargo en el caso de las muestras que contienen H_2O_2 , el pH alcanza valores más ácidos, lo que sugiere la formación de hidrogeniones en el proceso de degradación de la sangre.
- Comparando ambos modelos de regresión para la turbidez y el tiempo de estabilización, se determina que las mejores condiciones de operación para alcanzar un menor tiempo de estabilización y a la vez una turbiedad mínima se encuentran a un flujo de aire mayor a 175 ml/min, una velocidad de agitación mayor a 150 rpm y concentraciones de H_2O_2 mayores a 40 mg/l.

RECOMENDACIONES

- Estudiar el sistema, regulando el pH para valores ácidos y medir la concentración de hierro en la muestra con el fin de encontrar una correlación entre la acidez del sistema y la eficiencia del proceso. En adición, la concentración de hierro en el sistema permitirá hacer una comparación con un proceso Fenton y determinar si es necesario la adición de sulfato de hierro para maximizar la eficiencia de remoción.
- Incluir un pretratamiento de filtrado en el proceso, debido a que el agua residual muestra un cantidad significativa de material particulado. Dicho material puede ser removido parcialmente vía un proceso mecánico. De esta manera se requerirá menor peróxido de hidrogeno para un tratamiento adecuado.
- Estudiar el efecto de la temperatura en la eficiencia del proceso. Mediante estudios mecanísticos, aplicando espectroscopia de luz ultravioleta e infrarroja es posible determinar los grupos funcionales que participan en la reacción de oxidación con el peróxido de hidrogeno. En adición, tener la temperatura como variable permitirá determinar la energía de activación de las reacciones mecanísticas propuestas.
- Estudiar otro tipo de aguas residuales como por ejemplo efluentes textiles y de esta manera extender el proceso para otro tipo de aguas residuales con alta carga orgánica. Dicho estudio contribuirá a construir una base de datos con los parámetros de operación del reactor en función del tipo de efluente a tratar.
- Realizar un análisis fisicoquímico completo de la muestra antes y después del tratamiento, donde también se incluyan grasas así como otros parámetros presentes en la muestra, de esta manera se podría adicionar algún proceso adicional con el fin de mejorar el proceso planteado en el presente trabajo.
- Realizar un estudio del mecanismo de las reacciones que se suceden dentro del proceso combinado de oxidación avanzada y aireación, para determinar nuevos estudios.

REFERENCIAS

1. Ahmad, M. I., Ejaz, O., Ali, A., Durrani, M. A. Q. J., & Khan, I. A. (2014). Anaerobic digestion of waste from a slaughterhouse. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1317-1320.
2. Aleboyeh, A., Aleboyeh, H. & Moussa, Y. (2003). Critical effect of hydrogen peroxide in photochemical oxidative decolorization of dyes: acid orange 8, acid blue 74 and methyl orange. *Dyes and pigments* 57, 67-75.
3. Amer, A., Amin, H., El Fecky, A. & Ibrahim, I. (2008). Treatment of textile wastewater using H₂O₂/UV system. *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 42, 17-28.
4. Barreque, Ch. (1979). Bases teóricas de los principales procesos de tratamiento. Manual teórico del agua. Edit. Degremont.
5. Barrett, S. F. (2013). Arduino microcontroller processing for everyone!. *Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems*, 8(4), 1-513.
6. Bensadok, K., Belkacem, M., & Nezzal, G. (2007). Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation. *Desalination*, 206(1-3), 440-448.
7. Bianco, B., De Michelis, I., & Vegliò, F. (2011). Fenton treatment of complex industrial wastewater: optimization of process conditions by surface response method. *Journal of Hazardous Materials* 186 (2-3), 1733-1738.
8. Boughou, N., Majdy, I., Cherkaoui, E., Khamar, M., & Nounah, A. (2018). Effect of pH and time on the treatment by coagulation from slaughterhouse of the city of Rabat. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 149, p. 02091). EDP Sciences.
9. Box, G. E., Hunter, W. G., & Hunter, J. S. (1978). *Statistics for experimenters*.
10. Boyd, C. E. (2015). *Water quality: an introduction*. Springer.
11. Buffle M. O., Schumacher J., Salhi E., Jekel M. and von Gunten U. (2006). Measurement of the initial phase of ozone decomposition in water and wastewater by means of a continuous quench-flow system: Application to disinfection and pharmaceutical oxidation. *Water Research*, 40(9), 1884–1894.
12. Burbano, A.A., Dionysiou, D.D., & Suidan, M.T. (2008). Effect of oxidant-to-substrate ratios on the degradation of MTBE with Fenton reagent. *Water Research* 42 (12), 3225-3239.

13. Bustillo-lecompte, C. F., Mehrvar, M., & Quiñones-bolaños, E. (2014). Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic e aerobic and UV / H₂ O₂ processes. *Journal of Environmental Management*, 134, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.035>
14. Bustillo-Lecompte C.F., Mehrvar M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances. *Journal of Environmental Management*. 2015;161:287–302. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.07.008
15. Bustillo-Lecompte, C., & Mehrvar, M. (2017). Slaughterhouse wastewater: treatment, management and resource recovery. In *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*. InTech.
16. Cáceres, J. V., Rodríguez, S. M., & Alba, A. R. F. (2003). Evaluación analítica y optimización de procesos de oxidación avanzada en planta piloto solar. *CIEMAT*.
17. Caronna, T., Colonna, G.M. & Marcandalli, B. (1999). Oxidative degradation of dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide. *Dyes and Pigments* 41, 211-220.
18. Carrasquero, S. J., Maquina, D. C., Soto, J. G., Rincón, S. V., Sierra, M. C. P., & Montiel, A. R. D. (2015). Remoción de nutrientes en aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 43-60.
19. Castro-Peña, L., & Durán-Herrera, J. E. (2014). Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. *Revista Tecnología en Marcha*, 27(2), 40-50.
20. D. Masse, L. Masse, The effect of temperature on slaughterhouse wastewater treatment in anaerobic sequencing batch reactors, *Bioresour. Technol.* 76 (2001) 91–98.
21. Dehghani, M. H., Karimi, B., & Rajaei, M. S. (2016). The effect of aeration on advanced coagulation, flotation and advanced oxidation processes for color removal from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 223, 75-80.
22. Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment. *Current Pollution Reports*, 1(3), 167-176.
23. De Sena, R.F., Tambosi, J.L., Genena, A.K., Moreira, R., Schroder, H.Fr., Josue, H.J., 2009. Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced

- oxidation processes monitored by GC-MS and LC-MS. *Chem. Eng. J.* 152 (1), 151e157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2009.04.021>.
24. Dobby, G. S., & Finch, J. A. (1986). Flotation column scale-up and modelling. *CIM Bulletin*, 79(889), 89-96.
 25. Domenech, X., Wilson, F., Jardim, W., & Litter, M. (2004). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. In: M.A. Blesa & B. Sánchez (editores), *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*. Colección Documentos Ciemat, (Capítulo 1).
 26. Droste, R. L., & Gehr, R. L. (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment* (pp. 622-629). New York etc: Wiley.
 27. Durán-Moreno, A., García-González, S.A., Gutiérrez-Lara, M.R., Rigas, F., & RamírezZamora, R.M. (2011). Assessment of Fenton's reagent and ozonation as pre-treatments for increasing the biodegradability of aqueous diethanolamine solutions from an oil refinery gas sweetening process. *Journal of Hazardous Materials* 186, 1652–1659.
 28. Farfán Urbano, N. (2011). *Tratamiento de aguas residuales de industrias de curtiembre aplicando el proceso fenton*. Tesis para optar al grado de ingeniero químico, UNSAAC.
 29. Fadeyibi, et al.; (2011). Caracterización del color y relación con el pH de pechuga de pollo durante el procesado de las canales en matadero. *Veterinary Journal*. Sawyer, C. N. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science*. McGraw-Hill.
 30. Fogler, S. (2006). *Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas*. 4ta Edicion, Pearson Prentice Hall. Pág. 10-17.
 31. Forero, J. E., Ortiz, O. P., & Rios, F. (2005). Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería. *CT&F-Ciencia, tecnología y futuro*, 3(1), 97-109.
 32. Fuchs, W., Binder, H., Mavrias, G., & Braun, R. (2003). Anaerobic treatment of wastewater with high organic content using a stirred tank reactor coupled with a membrane filtration unit, 37, 902–908.
 33. Garay, J., Panizzo, L., Lesmes, L., Ramirez, G., Sanchez, J. *Manual de Técnicas Analíticas de Parámetros Físico-químicos y Contaminantes Marinos*. Tercera edición. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Cartagena, 1993.

34. Garcés Giraldo, L. F., & Peñuela Mesa, G. A. (2003). Fotocatálisis con TiO₂ de los colorantes azul de metileno y naranja reactivo 84 utilizando colector solar (Doctoral dissertation, Tesis Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Medellín).
35. Gerbens-Leenes, P.W., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: a comparative study in different countries and production systems. *Water Resour. Ind.* 1e2, 25e36.
36. Gerrity, D., Rosario-Ortiz, F. L., & Wert, E. C. (2017). Application of ozone in water and wastewater treatment. *Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: Fundamentals and Applications*, 123.
37. Ghosh, P., Samanta, A.N., & Ray, S. (2010). COD reduction of petrochemical industry wastewater using Fenton's oxidation. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 88 (6), 1021-1026.
38. Glaze, W.H., Kang, J.W., & Chapin, D.H. (1987). The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation. *Ozone: Science & Engineering* 9 (4), 335-352.
39. Gogate, P.R., Pandit A.B., A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods, *Advances in Environmental Research* 8 (2004) 553–597.
40. Gómez, L. et al. Fotooxidación de vertidos químicos: Revisión y experiencias de procesos de oxidación avanzada. En: *Ingeniería Química*. Madrid. No. 371; (sep. 2000); p. 211-216.
41. Gordon, M. (1976). Purificación de agua y tratamientos de remoción de aguas residuales. Vol. 2. Edit. Limusa.
42. Hincapié Pérez, M., & Sepúlveda Marín, J. M. (2002). La fotocatalisis en el tratamiento de aguas contaminadas. *Revista Ingeniería*. Universidad de Medellín. Medellín, (602), 83-91.
43. Hincapié, P. (2003). Margarita y Marin S., Juan M. Reacciones de fenton y foto-fento en la Descontaminación de aguas residuales. *Revista Ingenierías*. Universidad de Medellín. Medellín, (14), 53-63.
44. Jose, S., Ferrer, C., Carolina, D., Gelvez, M., Gelvez, D. C. M., & Sierra, M. C. P. (2015). Nutrients removal from slaughterhouse wastewater using a sequencing bath reactor, 43–60.
45. Kalt, A. & Galindo, C. (1999). UV/H₂O₂ oxidation of azodyes in aqueous media: evidence of a structure-degradability relationship. *Dyes and Pigments* 42, 199-207.

46. Kobya, M., Senturk, E., & Bayramoglu, M. (2006). Treatment of poultry slaughterhouse wastewaters by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 133(1–3), 172–176. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.10.007>
47. Kumsa, D. W., Bhadra, N., Hudak, E. M., Kelley, S. C., Untereker, D. F., & Mortimer, J. T. (2016). Electron transfer processes occurring on platinum neural stimulating electrodes: A tutorial on the $i(V_e)$ profile. *Journal of Neural Engineering*, 13(5), 1–15. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/13/5/052001>
48. Li, J. P., Healy, M. G., Zhan, X. M., & Rodgers, M. (2008). Nutrient removal from slaughterhouse wastewater in an intermittently aerated sequencing batch reactor. *Bioresource Technology*, 99(16), 7644-7650.
49. Lopez, M. (2008). Auditorio ambiental de tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola. 1-20.
50. Malíková, P., Hajduková, J., & Nezvalová, L., (2009). Oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fenton reaction. *GeoScience Engineering LV* (4), 23-28.
51. Marcos, A. C., Al-Kassir, A., Cuadros, F., & Yusaf, T. (2017). Treatment of slaughterhouse waste water mixed with serum from lacteal industry of extremadura in Spain to produce clean energy. *Energies*, 10(6). <http://doi.org/10.3390/en10060765>
52. Marsden, J. E., Tromba, A. J., & Weinstein, A. (1993). Basic multivariable calculus.
53. Medina Valderrama, C. J., Uriarte Tirado, W., Zapo, O., Tomas, S., & Montero Del Aguila, E. M. (2018). Aplicación del proceso Fenton para degradar aguas residuales del camal de Chota.
54. Mendez, F., & Gazquez, J. L. (1994). Chemical reactivity of enolate ions: the local hard and soft acids and bases principle viewpoint. *Journal of the American Chemical Society*, 116(20), 9298-9301.
55. Mehmood, C. T., Batool, A., & Qazi, I. A. (2013). Combined biological and advanced oxidation treatment processes for COD and color removal of sewage water. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(2), 88.
56. Mehrvar, M. & Bustillo-Lecompte, C. F. (2017). Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic–aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: An optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. *Journal of cleaner production*, 141, 278-289.

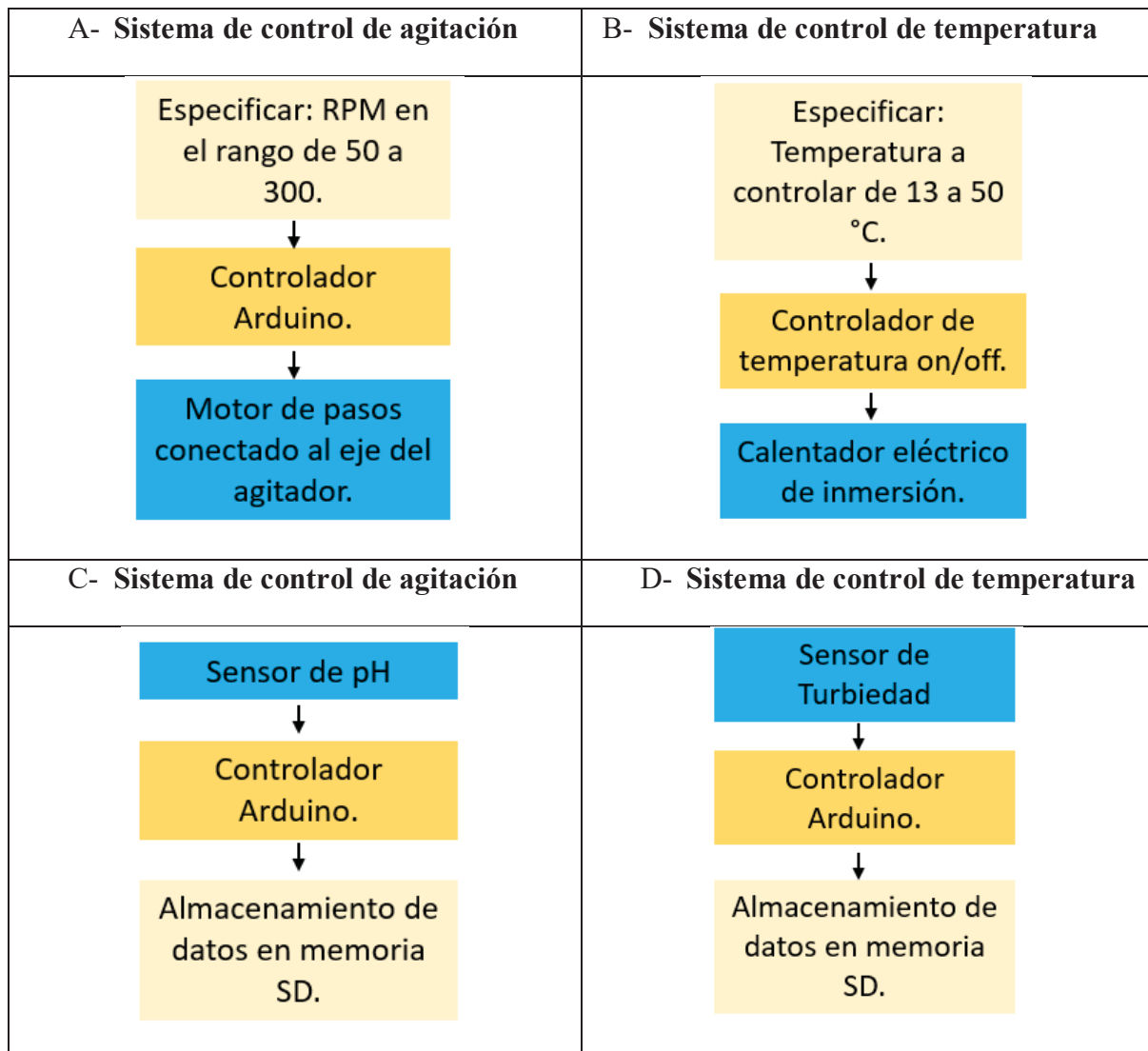
57. Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 15 (3), 401e415. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>.
58. Miller, C. M., & Valentine, R. L. (1999). Mechanistic studies of surface catalyzed H₂O₂ decomposition and contaminant degradation in the presence of sand. *Water Research*, 33(12), 2805-2816.
59. Mingzhi, H., Jinqun, W., Yongwen, M., Yan, W., Weijiang, L., & Xiaofei, S. (2009). Control rules of aeration in a submerged biofilm wastewater treatment process using fuzzy neural networks. *Expert Systems with Applications*, 36(7), 10428-10437.
60. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Toma de muestras de aguas residuales, Colombia.
61. Muñoz, D. (2005). System of residual water treatment of slaughter house: For a smaller population 2000 inhabitants. 94-95.
62. Neyens, E., & Baeyens, J. (2003). A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials* 98 (1-3), 33-50.
63. Paz, L. S. (2014). Modelo de aprendizaje basado en proyectos en la enseñanza introductoria de la asignatura de electrónica y el lenguaje de programación del sistema embebido Arduino. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 1(2).
64. Pignatello, J.J., Oliveros, E., & MacKay, A. (2006). Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 36 (1), 1-84.
65. Piñeres, J., Barraza, J., Solarte, M., & Orozco, M. (2012). Kinetics of flotation of organic matter in Cerrejón coals (Guajira) using a flotation column. *Ingeniería y competitividad*, 14(2), 103-109.
66. Rege, M. A. (1991). Simultaneous aeration and advanced oxidation processes for process water treatment (Doctoral dissertation).
67. Rodríguez, S. M., Rubio, M. I. M., & Gálvez, J. B. (2001). Descontaminación de aguas de lavado de envases de plaguicidas mediante fotocatalisis solar. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnológicas.

68. Rodriguez, A., Leton, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2009). *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*. Madrid: vt mid. Informe de Vigilancia Tecnológica.
69. Rodriguez, T., Botelho, D., & Cleto, E. (2013). Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta. *Revista Facultad de Ingeniería*, (46), 24-38.
70. Rubio-clemente, A., Chica, E. L., & Peñuela, G. A. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico Application of Fenton process for treating petrochemical wastewater, 223(2), 211–223.
71. Salas, G., & Condorhuamán, C. (2008). Tratamiento de las aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 11(1), 29-35. Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Cartagena (Colombia).
72. Sharma, S., Ruparelia, J. P., & Patel, M. L. (2011, December). A general review on Advanced Oxidation Processes for waste water treatment. In Nirma University International Conference, Ahmedabad, Gujarat.
73. Terasaka, K., Hirabayashi, A., Nishino, T., Fujioka, S., & Kobayashi, D. (2011). Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge. *Chemical Engineering Science*, 66(14), 3172–3179. <http://doi.org/10.1016/j.ces.2011.02.043>
74. Tidjani, A., Kamga, R., & Mahamat, T. N. (2016). Physico-Chemical Evaluation of Wastewater from Abattoir, Brewery, Soap and Oil Factories, at Moundou City in Southern Chad. *Journal of Engineering Research and Applications*, 6(1), 19-30.
75. United Nations, 2012. A/RES/66/288. The Future We Want – Outcome Document of the Rio+20 Conference
76. US EPA, 2004. Effluent limitations guidelines and new source performance standards for the meat and poultry products point source category. U. S. Environ. Prot. Agency (US EPA) Fed. Regist. 69 (173).
77. Vallejo, M., Fresnedo San Roman, M., Ortiz, I., Irabien, A., 2015. Overview of the PCDD/Fs degradation potential and formation risk in the application of advanced oxidation processes (AOPs) wastewater treatment. *Chemosphere*, 118, 44-56.

78. Veliz, E., Llanes, J. G., Fernández, L. A., & Bataller, M. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(1), 17-34.
79. Ventura Cueva, S. P. (2017). Tratamiento de Sanguaza de pescado del mercado de Ancón utilizando micro-nanoburbujas de aire a escala laboratorio. Universidad Cesar Vallejo.
80. Wang, J., Zhou, X., Gatheru Waigi, M., Owino Gudda, F., Cheng, P., & Ling, W. (2019). Simultaneous Removal of Estrogens and Antibiotics from Livestock Manure Using Fenton Oxidation Technique. *Catalysts*, 9(8), 644.
81. Xu, X.R., Zhao, Z.Y., Li, X.Y., & Gu, J.D. (2004). Chemical oxidative degradation of methyl tertbutyl ether in aqueous solution by Fenton's reagent. *Chemosphere* 55, 73-79.

ANEXO A

DIAGRAMA DE FLUJO DE DATOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS-PARTE I



CODIGO MAESTRO DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA ARDUINO- PARTE II

```

//Panel de control, Maestro
//Incluir librerías
#include <UTFT.h>
#include <URTouch.h>
#include <Wire.h>
//Crear el objeto
UTFT myGLCD(CTE32_R2, 38, 39, 40, 41);
//Configurar URTouch
    
```

```

URTouch myTouch(6, 5, 4, 3, 2);
//Definir fuentes
extern uint8_t SmallFont[];
extern uint8_t BigFont[];
extern uint8_t SevenSegNumFont[];
extern uint8_t Dingbats1_XL[];
extern uint8_t arial_bold[];
extern uint8_t franklingothic_normal[];
extern uint8_t Grotesk24x48[];
//Coordenadas del touchscreen
int x, y;
//Definir coordenadas iniciales y finales del rectangulo
int x0 = 25; //170
int y0 = 75; //10
int xf = 170;
int yf = 85;
//Coordenadas de RPM
int xvel = 175;
int yvel = 41;
//Rectangulo ON OFF de agitador
int xONOFF0 = 285;
int yONOFF0 = 53;
int xwONOFF = 15;
int ywONOFF = 35;
bool ONOFF = 0;
char S1='F';
//Coordenada inicial del posicionador
int xR = x0 + 5;
//Botones de avance y retroceso agitacion
int xiniD = 65;
int xiniU = 120;
int yini = 40;
int xw = 40;
int yw = 20;
//RPMs
int minRPM = 50;
int maxRPM = 300;
//RPM actual
int xRPM=50;
//Caracter a pasar por I2C, para RPM
char cRPM[3];

```

```

//-----
//Coordenadas sensor pH
int xFr_pH0 = 5 ;
int yFr_pH0 = 105 ;
int xFr_pHw = 130;
int yFr_pHw = 70;
float pH; //valor de pH
//Coordenadas sensor turbiedad
int xFr_T0 = 145 ;
int yFr_T0 = 105 ;
int xFr_Tw = 165;
int yFr_Tw = 70;
float NTU; //valor de turbiedad
//Rectangulo ON OFF Bomba Sensor turbiedad
int xTONOFF0 = 250;
int yTONOFF0 = 145;
int xTwONOFF = 35;
int yTwONOFF = 15;
bool ONOFF_T = 0;
char S1_T='F';
int offsetS = 5;
int xSini =10;
int xSw = 95;
int ySw = 30;
int xS0[] = {xSini,xSini+offsetS+xSw ,xSini+2*offsetS+2*xSw };
int yS0 = 190;
bool ONOFF_S[]={0,0,0};
char S_S[] = {'F','F','F'};
//-----
-----
void setup() {
// Configuraci[on inicial
myGLCD.InitLCD();
myGLCD.clrScr();
myTouch.InitTouch();
myTouch.setPrecision(PREC_MEDIUM);
//i2c link
Wire.begin();
//-----
//Control de agitacion
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white

```

```

myGLCD.setFont(BigFont); // Sets font to big
myGLCD.print("PANEL DE CONTROL", CENTER, 10);
//Dibujar el marco para controles de agitacion
int xFr0=5;
int yFr0=30;
int xFrw=305;
int yFrw=70;
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRoundRect (xFr0, yFr0, xFr0 + xFrw, yFr0 + yFrw);
//Drawing the fonts
myGLCD.setColor(17, 255, 0); // Sets color to greeb
myGLCD.setFont(franklingothic_normal); // Sets font to big
myGLCD.print("RPM", 8, 41);
//Dibuja boton de bajada
myGLCD.setColor(16, 167, 103);
myGLCD.fillRoundRect (xiniD, yini, xiniD + xw, yini + yw);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRoundRect (xiniD, yini, xiniD + xw, yini + yw);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.setBackgroundColor(16, 167, 103);
myGLCD.print("<<", xiniD + 5, yini + 2);
//Dibuja boton de avance RPM
myGLCD.setColor(16, 167, 103);
myGLCD.fillRoundRect (xiniU, yini, xiniU + xw, yini + yw);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRoundRect (xiniU, yini, xiniU + xw, yini + yw);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.setBackgroundColor(16, 167, 103);
myGLCD.print(">>", xiniU + 5, yini + 2);
//Dibuja rectangulo ONOFF del agitador
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRect(xONOFF0, yONOFF0, xONOFF0 + xwONOFF, yONOFF0 + ywONOFF);
//Inicializar en OFF mode
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.fillRect(xONOFF0+1, yONOFF0+1, xONOFF0 + xwONOFF-1, yONOFF0 + ywONOFF-1);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.fillRect(xONOFF0, yONOFF0+ywONOFF/2, xONOFF0 + xwONOFF, yONOFF0 + ywONOFF);
//Escribir OFF
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);

```



```

myGLCD.print("OFF", xONOFF0-3, yONOFF0-15);
//-----
// Sensor de pH
//Dibujar el marco para sensor de pH
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRoundRect (xFr_pH0, yFr_pH0, xFr_pH0+xFr_pHw, yFr_pH0 + yFr_pHw);
//Escribir el nombre del sensor
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.print("Sensor pH", xFr_pH0+30, yFr_pH0+5);
// Sensor de turbiedad
//Dibujar el marco para sensor de turbiedad
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRoundRect (xFr_T0, yFr_T0, xFr_T0+xFr_Tw, yFr_T0 + yFr_Tw);
//Escribir el nombre del sensor
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.print("Turbiedad, NTU", xFr_T0+32, yFr_T0+5);
//Dibuja rectangulo ONOFF de bomba sensor turbiedad
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRect(xTONOFF0, yTONOFF0, xTONOFF0 + xTwONOFF, yTONOFF0 + yTwONOFF);

//Inicializar en OFF mode
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.fillRect(xTONOFF0+1, yTONOFF0+1, xTONOFF0 + xTwONOFF-1, yTONOFF0 + yTwONOFF-1);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.fillRect(xTONOFF0, yTONOFF0, xTONOFF0 + xTwONOFF/2, yTONOFF0 + yTwONOFF);
//Escribir OFF
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.print("Bomba OFF", xTONOFF0-15, yTONOFF0-15);
//Dibujar el marco para cada switch
for (int i=0 ; i<=2; i++) {
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    myGLCD.drawRect (xS0[i], yS0, xS0[i]+xSw, yS0 + ySw);
    myGLCD.setColor(255, 0, 0);
    myGLCD.fillRect(xS0[i]+1, yS0+1, xS0[i]+xSw-1, yS0 + ySw-1);
}

```

```

}
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(255, 0, 0);
myGLCD.print("DAQ", xS0[0]+35, yS0+12);
myGLCD.print("Compresor", xS0[1]+15, yS0+12);
myGLCD.print("Calentador", xS0[2]+10, yS0+12);
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  //Se pasan los datos de pH del esclavo nano
  Wire.requestFrom(1,16);//REALIZAMOS UNA PETICION AL CANAL 1 DE 19 CARACTERES (BITS)
  String string;
  char c;
  int i = 0;
  int j;
  String spH;
  String sNTU;
  while (Wire.available()) // slave may send less than requested
  {
    c = Wire.read(); // receive a byte as character
    string = string + c; //Keep saving whatever is coming
    if (c == 'P') {
      spH =string.substring(0,i);
      j=i;
    }
    if (c =='T') {
      sNTU = string.substring(j+1,i);
    }
    i=i+1; // Indice de cadena
  }
  pH = spH.toFloat();
  NTU = sNTU.toInt();
  Serial.print(pH);
  Serial.println("");
  Serial.print(NTU);
  Serial.println("");
  //Transmite al arduino uno
  Wire.beginTransmission(2); // transmit to device #8
  dtostrf(xRPM, 3, 0, cRPM);//The format (float, bytes, numbers of numbers after the decimal, char variable)
  Wire.write(cRPM); // appx 8 bytes
}

```

```

Wire.write(S1); // appx 8 bytes
Wire.write(S1_T); // appx 8 bytes
Wire.write(S_S[0]); Wire.write(S_S[1]);
Wire.write(S_S[2]);
Wire.endTransmission();

//Lee las coordenadas de toque
if (myTouch.dataAvailable()) {
  myTouch.read();
  x = myTouch.getX();
  y = myTouch.getY();
}
else {
  x = 0;
  y = 0;
}
//Dibuja la barra de agitacion
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRect(x0, y0, xf, yf);
//Fija el posicionador de la barra
if ((x >= x0) && (x <= xf) && (y >= y0-5) && (y <= yf+5)) {
  xR = x;
  if (xR <= x0 + 5) { // Confines the area of the slider to be above 38 pixels
    xR = x0 + 5;
  }
  if (xR >= xf - 5) { /// Confines the area of the slider to be under 310 pixels
    xR = xf - 5;
  }
}
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.fillRect(xR, y0 + 1, (xR + 4), yf - 1); // Positioner
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.fillRect(x0 + 1, y0 + 1, (xR - 1), yf - 1);
myGLCD.setColor(0, 0, 0);
myGLCD.fillRect((xR + 5), y0 + 1, xf - 1, yf - 1);
//Imprime RPMs en la pantalla
xRPM = map(xR, x0 + 5, xf - 5, minRPM, maxRPM); // Convierte las coordenadas del posicionador a RPMs
myGLCD.setFont(SevenSegNumFont);
myGLCD.setColor(0, 255, 0);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.printNumI(xRPM, xvel, yvel, 3, '0'); //"0" is the filler

```

```

//Funcionalidad de botones de avance y reversa agitacion
if((x >= xiniD) && (x <= xiniD + xw) && (y >= yini) && (y <= yini + yw)) {
    //Resalta el boton mientras este presionado
    myGLCD.setColor(255, 0, 0);
    myGLCD.drawRoundRect (xiniD, yini, xiniD + xw, yini + yw);
    while (myTouch.dataAvailable());
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    myGLCD.drawRoundRect (xiniD, yini, xiniD + xw, yini + yw);
    //Actualiza los RPMs
    float xRCTemp = xRPM;
    if(xRPM > minRPM) {
        xRPM = ceil(xRCTemp / 50) * 50;
        xRPM = xRPM - 50;
        xR = map(xRPM, minRPM, maxRPM, x0 + 5, xf - 5);
    }
}
if((x >= xiniU) && (x <= xiniU + xw) && (y >= yini) && (y <= yini + yw)) {
    //Resalta el boton mientras este presionado
    myGLCD.setColor(255, 0, 0);
    myGLCD.drawRoundRect (xiniU, yini, xiniU + xw, yini + yw);
    while (myTouch.dataAvailable());
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    myGLCD.drawRoundRect (xiniU, yini, xiniU + xw, yini + yw); //Actualiza los RPMs
    if(xRPM < maxRPM) {
        xRPM = floor(xRPM / 50) * 50;
        xRPM = xRPM + 50;
        xR = map(xRPM, minRPM, maxRPM, x0 + 5, xf - 5);
    }
}
//Funcionalidad de boton ON OFF agitacion
if ((x >= xONOFF0) && (x <= xONOFF0 + xwONOFF) && (y >= yONOFF0) && (y <= yONOFF0 +
ywONOFF)) {
    while (myTouch.dataAvailable());
    ONOFF=!ONOFF;
    if (ONOFF==1) {
        myGLCD.setColor(32, 221, 28);
        myGLCD.fillRect(xONOFF0+1, yONOFF0+1, xONOFF0 + xwONOFF-1, yONOFF0 + ywONOFF-
1);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        myGLCD.fillRect(xONOFF0, yONOFF0, xONOFF0 + xwONOFF, yONOFF0 + ywONOFF/2);
        //Escribir ON
        myGLCD.setColor(0, 0, 0);

```

```

myGLCD.fillRect(xONOFF0-5, yONOFF0-15,xONOFF0+20, yONOFF0-2); //borrar el anterior
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont); // Sets font to big
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.print("ON", xONOFF0+1, yONOFF0-15);
S1='T';
}
else if (ONOFF==0) {
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.fillRect(xONOFF0+1, yONOFF0+1, xONOFF0 + xwONOFF-1, yONOFF0 + ywONOFF-
1);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.fillRect(xONOFF0, yONOFF0+ywONOFF/2, xONOFF0 + xwONOFF, yONOFF0 +
ywONOFF);
//Escribir OFF
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.print("OFF", xONOFF0-3, yONOFF0-15);
S1='F';
}
} //Imprimir valores de pH en la pantalla
myGLCD.setFont(Grotesk24x48);
myGLCD.setColor(0, 255, 0);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.printNumF(pH, 1, xFr_pH0+15, yFr_pH0+20, ',',4,'0'); //"0" is the filler
//Funcionalidad de boton ON OFF Turbiedad
if ((x >= xTONOFF0) && (x <= xTONOFF0 + xTwONOFF) && (y >= yTONOFF0) && (y <= yTONOFF0 +
yTwONOFF)) {
while (myTouch.dataAvailable());
ONOFF_T=!ONOFF_T;
if (ONOFF_T==1) {
myGLCD.setColor(32, 221, 28);
myGLCD.fillRect(xTONOFF0+1, yTONOFF0+1, xTONOFF0 + xTwONOFF-1, yTONOFF0 +
yTwONOFF-1);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.fillRect(xTONOFF0+ xTwONOFF/2, yTONOFF0, xTONOFF0 + xTwONOFF,
yTONOFF0 + yTwONOFF);
//Escribir ON
myGLCD.setColor(0, 0, 0);
myGLCD.fillRect(xTONOFF0-15, yTONOFF0-20,xTONOFF0+55, yTONOFF0-2); //borrar el
anterior
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white

```

```

        myGLCD.setFont(SmallFont); // Sets font to big
        myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
        myGLCD.print("Bomba ON", xTONOFF0-10, yTONOFF0-15);
        S1_T='T';
    }
    else if (ONOFF_T==0) {
        myGLCD.setColor(255, 0, 0);
        myGLCD.fillRect(xTONOFF0+1, yTONOFF0+1, xTONOFF0 + xTwONOFF-1, yTONOFF0 +
yTwONOFF-1);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        myGLCD.fillRect(xTONOFF0, yTONOFF0, xTONOFF0 + xTwONOFF/2, yTONOFF0 +
yTwONOFF);
        //Escribir OFF
        myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
        myGLCD.setFont(SmallFont);
        myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
        myGLCD.print("Bomba OFF", xTONOFF0-15, yTONOFF0-15);
        S1_T='F';
    }
}

//Imprimir valores de turbiedad en la pantalla
myGLCD.setFont(Grotesk24x48);
myGLCD.setColor(0, 255, 0);
myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
myGLCD.printNumI(NTU, xFr_T0+10, yFr_T0+20, 3, '0');
//Funcionalidad de boton ON OFF Switches DAQ
if ((x >= xS0[0]) && (x <= xS0[0] + xSw) && (y >= yS0) && (y <= yS0 + ySw)) {
    while (myTouch.dataAvailable());
    ONOFF_S[0]=!ONOFF_S[0];
    if (ONOFF_S[0]==1) {
        //myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        //myGLCD.drawRect (xS0[0], yS0, xS0[0]+xSw, yS0 + ySw);
        myGLCD.setColor(32, 221, 28);
        myGLCD.fillRect(xS0[0]+1, yS0+1, xS0[0]+xSw-1, yS0 + ySw-1);
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
        myGLCD.setFont(SmallFont);
        myGLCD.setBackgroundColor(32, 221, 28);
        myGLCD.print("DAQ", xS0[0]+35, yS0+12);
        S_S[0]='T';
    }
    else if (ONOFF_S[0]==0) {
        //myGLCD.setColor(255, 255, 255);

```

```

        //myGLCD.drawRect (xS0[0], yS0, xS0[0]+xSw, yS0 + ySw);
        myGLCD.setColor(255, 0, 0);
        myGLCD.fillRect(xS0[0]+1, yS0+1, xS0[0]+xSw-1, yS0 + ySw-1);
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
        myGLCD.setFont(SmallFont);
        myGLCD.setBackgroundColor(255, 0, 0);
        myGLCD.print("DAQ", xS0[0]+35, yS0+12);
        //myGLCD.print("Compresor", xS0[1]+15, yS0+12);
        //myGLCD.print("Calentador", xS0[2]+10, yS0+12);
        S_S[0]='F';
    }
}
//Funcionalidad de boton ON OFF Switches Compresor
if((x >= xS0[1]) && (x <= xS0[1] + xSw) && (y >= yS0) && (y <= yS0 + ySw)) {
    while (myTouch.dataAvailable());
    ONOFF_S[1]=!ONOFF_S[1];
    if (ONOFF_S[1]==1) {
        myGLCD.setColor(32, 221, 28);
        myGLCD.fillRect(xS0[1]+1, yS0+1, xS0[1]+xSw-1, yS0 + ySw-1);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
        myGLCD.setFont(SmallFont);
        myGLCD.setBackgroundColor(32, 221, 28);
        myGLCD.print("Compresor", xS0[1]+15, yS0+12);
        S_S[1]='T';
    }
    else if (ONOFF_S[1]==0) {
        myGLCD.setColor(255, 0, 0);
        myGLCD.fillRect(xS0[1]+1, yS0+1, xS0[1]+xSw-1, yS0 + ySw-1);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
        myGLCD.setFont(SmallFont);
        myGLCD.setBackgroundColor(255, 0, 0);
        myGLCD.print("Compresor", xS0[1]+15, yS0+12);
        //myGLCD.print("Calentador", xS0[2]+10, yS0+12);
        S_S[1]='F';
    }
}
//Funcionalidad de boton ON OFF Switches Calentador
if((x >= xS0[2]) && (x <= xS0[2] + xSw) && (y >= yS0) && (y <= yS0 + ySw)) {
    while (myTouch.dataAvailable());
    ONOFF_S[2]=!ONOFF_S[2];
    if (ONOFF_S[2]==1) {

```

```

myGLCD.setColor(32, 221, 28);
myGLCD.fillRect(xS0[2]+1, yS0+1, xS0[2]+xSw-1, yS0 + ySw-1);
myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(32, 221, 28);
myGLCD.print("Calentador", xS0[2]+10, yS0+12);
S_S[2]='T';
}
else if (ONOFF_S[2]==0) {
myGLCD.setColor(255, 0, 0);
myGLCD.fillRect(xS0[2]+1, yS0+1, xS0[2]+xSw-1, yS0 + ySw-1);

myGLCD.setColor(255, 255, 255); // Sets color to white
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(255, 0, 0);
//myGLCD.print("Compresor", xS0[2]+15, yS0+12);
myGLCD.print("Calentador", xS0[2]+10, yS0+12);
S_S[2]='F';
}
}
Serial.print(ONOFF_S[2]);
Serial.println("");
}

```


ANEXO B

DATASHEET SENSORES COMPATIBLES PARA ARDUINO

pH meter (SKU: SEN0161)

Applications:

- Water quality testing
- Aquaculture

Specification:

- Module Power : 5.00V
- Module Size : 43mm×32mm
- Measuring Range:0-14PH
- Measuring Temperature :0-60 °C
- Accuracy : $\pm 0.1\text{pH}$ (25 °C)
- Response Time : $\leq 1\text{min}$
- pH Sensor with BNC Connector
- PH2.0 Interface (3 foot patch)
- Gain Adjustment Potentiometer
- Power Indicator LED
- Cable Length from sensor to BNC connector:660mm

pH Electrode Size

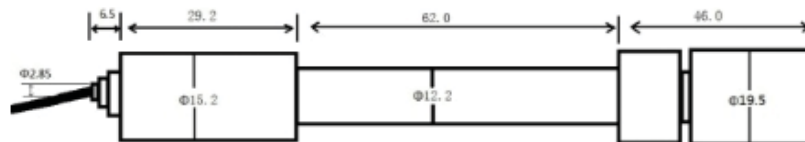
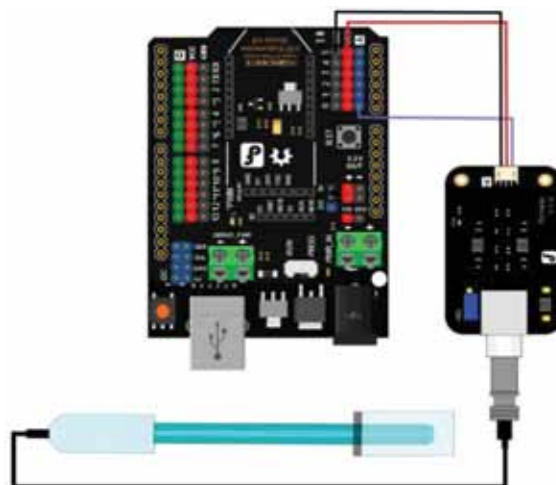


Diagrama de conexión arduino



Turbidity (SKU: SEN0189)

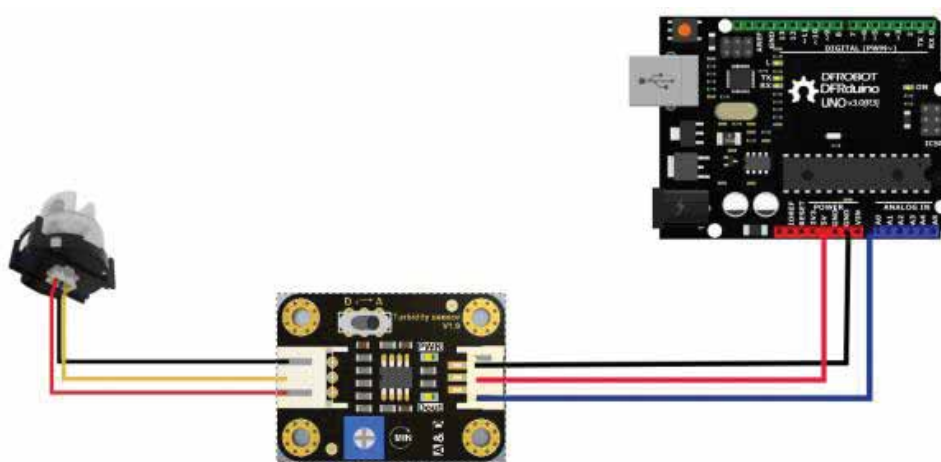
Applications:

- Water quality testing
- Aquaculture

Specification:

- Operating Voltage: 5V DC
- Operating Current: 40mA (MAX)
- Response Time : <500ms
- Insulation Resistance: 100M (Min)
- Output Method:
- Analog output: 0-4.5V
- Digital Output: High/Low level signal (you can adjust the threshold value by adjusting the potentiometer)
- Operating Temperature: 5°C~90°C
- Storage Temperature: -10°C~90°C
- Weight: 30g
- Adapter Dimensions: 38mm*28mm*10mm/1.5inches *1.1inches*0.4inches

Diagrama de conexión arduino



Controlador de Temperatura (XH-W3001)

Este delicado controlador digital de la temperatura de la exhibición puede fijar la temperatura de comienzo y de parada. La temperatura de visualización y control puede ajustarse a 0,1 °C con amplio rango de control de temperatura de -50 °C a 110 °C. Es conveniente instalar y el cableado es simple. Ampliamente utilizado en el área de la eclosión, el caso del equipo, el sistema de aire acondicionado, la protección del control de la temperatura y otros campos.

Especificaciones:

- Material principal: ABS
- Color de la carcasa: blanco
- Voltaje: 220V, 24V, 12V (opcional)
- Salida: 10A (máx.)
- Rango de medición de temperatura: -50 ~ 110 °C
- Rango de control de temperatura: -50 ~ 110 °C
- Precisión de control de temperatura: 0.1 °C
- Energía de la carga: 1500W (220V) / 240W (24V) / 120W (12V)
- Medición de entrada: NTC10K 1m prueba impermeable
- Distancia del agujero de instalación: 7.3cm / 2.87 in
- Diámetro del agujero: 4mm / 0.15 in
- Tamaño del artículo: 6 * 4.5 * 3.1cm / 2.36 * 1.77 * 1.22 in
- Peso: 56g / 1.98 oz
- Peso: 85g / 3.00 oz
- Tamaño: 9 * 8 * 7cm / 3.54 * 3.15 * 2.76in

Instrucciones de uso:

Presione el botón "ARRIBA" para mostrar la temperatura de inicio; Mantenga presionado el botón "UP" hasta que la pantalla de temperatura parpadee, presione el botón "UP" o "Down" para ajustar el valor de temperatura de inicio; Presione el botón "Abajo" para mostrar la temperatura de parada; Presione el botón "Down" hasta que la temperatura parpadee, presione el botón "UP" o "DOWN" para ajustar el valor de la temperatura de parada.

ANEXO C

CERTIFICADO DE ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO PARA DE LA MUESTRA DE AGUA CON SANGRE – ANTES DEL TRATAMIENTO



MC QUIMICALAB

Dr: Ing. Mario Cumpa Cayuri

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES:
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10238409077 - TELÉF. 271966 COVIDUC A4 - CEL 984687752

INFORME N° LQ 0190-18

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA

Br. De La Escuela Profesional de Ingeniería
Química
– Yessica Pacco Illa
– Laura Pamela Reyes Rojas

MUESTRA : Agua Residual de Matadero Avícola.

DISTRITO : Cusco.

PROVINCIA : Cusco.

DEPARTAMENTO : Cusco.

FECHA DE INFORME : 05/09/18

RESULTADOS:

DETERMINACIONES		UNIDAD	MUESTRA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/L	1036
Nitrogeno Total	N	mg/L	120
Fosforo Total	P	mg/L	11
Conductividad Electrica		µS/cm	5110
Sólidos Solubles Totales		mg/L	3400


MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUÍMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188


MC QUIMICA LAB CUSCO
Lic. María L. Guzmán Holgado
ADMINISTRADORA

CERTIFICADO DE ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO PARA DE LA MUESTRA DE
AGUA CON SANGRE – DESPUÉS DEL TRATAMIENTO



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N° LQ 0200-19
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA RESIDUAL

SOLICITA : Bch. Yessica Pacco Illa
Bch. Laura Pamela Reyes Rojas

MUESTRA : Agua residual tratada de matadero avicola

FECHA DE INFORME : 04/09/19

DETERMINACIONES	UNIDAD	M1
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1050
Sólidos solubles Totales	mg/L	750
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	280
Nitrógeno total N	mg/L	14
Fosforo total P	mg/L	1.1

METODO DE ANALISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18198

MC QUIMICA LAB CUSCO
Lic. María L. Guillerez Holgado
ADMINISTRADORA

ANEXO D
DATOS EXPERIMENTALES

Datos experimentales para F = 100 ml/min, C=0 mg/l, v = 0 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	306.2093	307.5946	7.2	7.1	155	298.4615	304.51	6.7	6.9
5	303.6436	311.1997	7.2	7.1	160	292.7567	294.0892	6.7	7
10	301.4771	301.6835	7.1	7.1	165	296.7416	301.8017	6.7	7
15	302.8454	306.6153	7.1	7.1	170	292.6605	293.2048	6.7	7
20	305.4997	311.7859	7.1	7.1	175	293.161	293.8748	6.7	7
25	300.9658	303.8015	7.1	7.1	180	287.626	288.9844	6.7	7
30	298.8648	304.2377	7.1	7.1	185	283.2138	287.0833	6.7	7
35	301.1857	305.2423	7.2	7.1	190	282.8621	288.3234	6.7	7
40	300.5228	307.6243	7.2	7.1	195	282.323	286.2385	6.8	7
45	303.1574	303.2472	7.2	7.1	200	286.1942	289.8151	6.8	7
50	299.6361	301.8784	7.2	7.1	205	284.0078	285.0165	6.8	6.8
55	302.6322	310.2632	7.2	7.1	210	288.9275	292.5402	6.8	6.8
60	297.6211	299.3494	7.2	7.1	215	284.5911	291.1464	6.8	6.8
65	300.3853	307.7081	7.2	7.1	220	284.7174	288.7358	6.8	6.8
70	300.7379	305.3503	7	7.1	225	282.1702	286.1837	6.8	6.8
75	297.4422	298.565	6.9	7.1	230	286.7782	290.3878	6.8	6.8
80	295.3862	300.8355	6.9	7.1	235	285.0952	289.1609	6.8	6.6
85	301.5376	307.7835	7	7.1	240	286.3537	292.9535	6.5	6.6
90	298.3766	302.5152	7.1	7.1	245	282.6705	288.7786	6.5	6.6
95	298.6808	302.7993	6.8	6.9	250	283.2089	285.7712	6.5	6.6
100	299.7666	302.6414	6.8	6.9	255	286.2872	287.8072	6.5	6.8
105	298.3972	305.8119	6.8	6.9	260	283.5368	285.1648	6.5	6.8
110	299.132	305.036	6.8	6.9	265	287.3823	291.5595	6.5	6.5
115	294.5334	295.3683	6.8	6.9	270	282.4537	284.4403	6.4	6.5
120	292.9366	294.512	6.8	6.9	275	284.2769	286.6047	6.4	6.6
125	297.2648	299.4948	6.8	6.9	280	288.227	294.8336	6.4	6.6
130	292.5463	297.4979	6.8	6.9	285	287.8788	292.4242	6.4	6.5
135	294.697	301.8853	6.8	6.9	290	287.1446	291.2356	6.4	6.5
140	295.6637	296.3709	6.8	6.9	295	285.445	285.6589	6.4	6.6
145	293.6376	298.6648	6.8	6.9	300	288.1224	290.0774	6.4	6.6
150	293.8292	300.3021	6.8	6.9					

Datos experimentales para F = 100 ml/min, C=0 mg/l, v = 300 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	307.1552	311.5181	7.1	7.2	155	288.6987	294.0787	6.7	7
5	304.1258	310.0595	7.1	7.2	160	287.1369	287.5408	6.7	7
10	304.0659	309.1319	7.1	7.2	165	288.7715	296.6957	6.3	7
15	303.1066	309.4559	7.1	7.2	170	285.3884	285.4639	6.3	7
20	300.458	303.6951	7.1	7.2	175	290.7823	294.3465	6.3	7
25	299.2147	299.4646	7.1	7.2	180	288.878	293.8652	6.3	7
30	301.3822	308.3672	7.1	7.2	185	287.1061	293.1651	6.3	7
35	299.6279	307.2553	7.1	7.2	190	284.6497	289.8264	6.5	7
40	299.3622	302.1256	7.1	7.2	195	287.3044	290.669	6.5	7
45	298.6745	306.3939	7.1	7.2	200	290.1282	294.7163	6.5	6.9
50	299.9401	305.2604	7.1	7.1	205	284.2068	289.2138	6.4	6.9
55	292.053	299.0744	7.1	7.1	210	286.4451	290.1433	6.4	6.9
60	297.5141	301.4306	6.9	7.1	215	288.1242	289.4553	6.4	6.9
65	296.8624	302.4501	6.9	7.1	220	284.8375	288.3587	6.4	6.9
70	291.3907	294.5222	6.9	7.1	225	288.9668	291.1259	6.4	6.5
75	295.7354	299.484	6.9	7.1	230	290.1424	290.446	6.4	6.5
80	295.0567	295.5492	6.9	7.1	235	284.6242	286.7614	6.4	6.5
85	289.0056	292.7445	6.9	7.1	240	286.7133	287.1712	6.2	6.5
90	292.5142	295.5815	6.9	7.1	245	283.1723	285.5431	6.2	6.5
95	290.2859	292.6722	7	6.8	250	286.5355	291.3502	6.2	6.4
100	289.4855	295.8402	7	6.8	255	290.6936	291.0799	6.2	6.4
105	291.3904	299.3677	7	6.8	260	283.8456	289.3375	6.2	6.4
110	292.193	293.2617	7	6.8	265	285.501	287.6466	6.2	6.4
115	290.3945	294.7272	7	6.8	270	288.1885	294.9728	6.2	6.4
120	290.8702	295.1301	6.9	6.8	275	286.5183	286.7069	6.2	6.1
125	291.0866	292.8833	6.9	6.8	280	288.8553	294.9474	6.2	6.1
130	291.1099	291.735	6.9	6.8	285	286.8279	293.4773	6.2	6.1
135	284.9144	285.6865	6.9	6.8	290	290.3611	297.4446	6.2	6.1
140	288.0147	292.6	6.7	6.8	295	287.6231	294.124	6.2	6.1
145	290.6434	298.1027	6.7	6.8	300	290.2385	294.8808	6.2	6.1
150	287.5039	288.2026	6.7	7					

Datos experimentales para F = 200 ml/min, C=0 mg/l, v = 0 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	304.3129	308.3451	7	7.2	155	276.5001	283.0068	6.5	6.6
5	306.3923	315.556	7	7.2	160	273.7769	275.987	6.7	6.6
10	301.5852	304.8136	7	7.2	165	275.8488	279.6816	6.7	6.6
15	301.1551	310.9546	7	7.2	170	267.0794	275.9726	6.7	6.7
20	298.9469	300.9658	7	7.2	175	265.1578	270.892	6.7	6.7
25	295.1411	301.627	7.1	7.2	180	268.218	270.1124	6.7	6.7
30	300.7306	303.4874	7.1	7.2	185	270.7823	272.153	6.7	6.7
35	299.7366	303.6775	7.1	7.2	190	270.3931	277.3011	6.7	6.7
40	297.6315	299.7065	7.1	7.2	195	267.377	268.1463	6.5	6.5
45	297.8981	305.2748	7.1	7.1	200	268.7669	273.7313	6.5	6.5
50	295.0475	302.9195	6.9	7.1	205	265.7357	274.9821	6.5	6.5
55	298.1729	303.7385	6.9	7.1	210	268.1165	269.9128	6.5	6.4
60	294.4649	303.3597	6.9	7.1	215	260.7244	269.6968	6.5	6.4
65	293.4881	299.5099	6.9	7.1	220	262.8241	269.1871	6.5	6.4
70	293.6045	301.2719	6.9	7.1	225	268.6662	277.828	6.4	6.3
75	287.6262	295.8276	6.9	6.8	230	263.2587	270.7106	6.4	6.3
80	286.6421	288.8889	6.9	6.8	235	263.7731	269.1511	6.4	6.3
85	290.2174	295.1133	6.9	6.8	240	268.4101	275.5468	6.4	6.3
90	288.1267	296.6276	6.8	6.8	245	265.0736	267.0138	6.4	6.3
95	283.1147	291.4006	6.8	6.8	250	269.3612	277.8575	6.4	6.4
100	288.834	298.7114	6.8	6.8	255	261.3815	261.8287	6.4	6.4
105	286.7136	293.257	6.8	6.8	260	260.435	260.6561	6.4	6.4
110	279.697	289.2492	6.8	6.8	265	262.3641	268.5655	6.3	6.1
115	282.2444	290.2441	6.8	6.8	270	263.6174	271.0049	6.3	6.1
120	276.2487	285.2796	6.8	6.8	275	260.229	260.7526	6.3	6.1
125	284.1323	284.5711	6.5	6.8	280	267.9127	273.4843	6.3	6.1
130	278.95	284.1023	6.5	6.6	285	267.7655	274.4678	6.3	6.1
135	280.3967	280.6104	6.5	6.6	290	262.9038	271.8574	6.3	6.1
140	276.3779	282.6047	6.5	6.6	295	261.5765	268.0731	6.3	6.1
145	275.3493	280.2517	6.5	6.6	300	267.4866	273.3544	6.3	6.1
150	276.4262	284.5554	6.5	6.6					

Datos experimentales para $F = 200$ ml/min, $C=0$ mg/l, $v = 300$ rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	301.5652	302.156	7.1	7	155	267.2171	269.0752	7	6.5
5	301.1265	302.2303	7.1	7	160	268.5073	265.8738	7	6.5
10	302.5849	299.733	7.1	7	165	264.9867	266.9479	7	6.5
15	301.0751	305.5386	7.1	7	170	264.8023	271.0963	6.8	6.5
20	296.7929	301.8942	7.1	7	175	271.1383	271.7218	6.8	6.4
25	297.3799	297.5174	7.1	7	180	267.478	266.6411	6.8	6.4
30	295.0543	301.8921	7.1	7	185	265.4453	271.8406	6.8	6.4
35	300.719	297.4891	7.1	7	190	264.9637	271.9965	6.8	6.4
40	297.2905	292.5295	7.1	7	195	269.7479	269.5214	6.8	6.4
45	292.5318	298.8121	7	7	200	272.9479	266.1023	6.5	6.4
50	292.1408	290.0384	7	6.8	205	265.5638	265.491	6.5	6.1
55	285.1635	286.7878	7	6.8	210	269.5269	270.8069	6.5	6.1
60	280.9494	280.0929	7	6.8	215	270.2964	268.7365	6.5	6.1
65	285.2393	282.2362	7	6.8	220	267.802	272.0438	6.5	6.1
70	288.3754	280.7849	7	6.8	225	272.0361	266.3397	6.5	6.1
75	282.5134	278.0513	7	6.8	230	265.0823	265.956	6.3	6.2
80	288.2444	281.2509	7	6.8	235	267.4097	271.1819	6.3	6.2
85	283.9713	283.2426	7	6.8	240	264.7831	265.7465	6.3	6.2
90	287.7373	276.2441	6.8	6.8	245	271.6453	267.5546	6.3	6.2
95	285.8683	277.0382	6.8	6.8	250	269.5161	264.444	6.3	6.2
100	286.5584	276.7062	6.8	7.1	255	271.0889	272.4751	6.3	6.1
105	286.3307	280.1001	6.8	7.1	260	271.239	268.5956	6.3	6.1
110	286.8814	282.8229	6.8	7.1	265	267.7445	265.6364	6.1	6.1
115	283.3774	283.5935	6.8	7.1	270	267.7515	266.4599	6.1	6.1
120	284.8814	275.5673	7	7.1	275	268.377	271.9242	6.1	5.8
125	286.3625	283.7181	7	6.9	280	272.771	265.1964	6.1	5.8
130	282.3124	276.0459	7	6.9	285	271.8611	265.9416	6	5.8
135	283.0417	278.4568	7	6.9	290	264.2349	271.5653	6	5.8
140	288.8435	282.0103	7	6.9	295	264.0095	264.0112	6	5.8
145	277.325	276.7337	7	6.9	300	267.4095	270.9112	6	5.8
150	265.3068	264.4596	7	6.5					

Datos experimentales para F = 100 ml/min, C=90 mg/l, v = 0 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	328.5852	314.1458	7.1	7.2	155	222.2988	205.9572	6.4	6.5
5	297.0256	303.5522	7.1	7.2	160	213.1047	203.381	6.4	6.5
10	315.6808	302.1382	7.1	7.2	165	207.641	202.1712	6.1	6.5
15	305.3225	297.586	7.1	7.1	170	193.975	196.1822	6.1	6.6
20	291.135	290.3774	7.1	7.1	175	192.9398	197.5461	6.1	6.6
25	288.4636	291.9143	7.1	7.1	180	189.7734	189.2886	6.4	6.6
30	283.048	289.8506	7.1	7.1	185	193.0416	192.3758	6.4	6.6
35	299.9653	277.5948	7	7.1	190	190.2708	194.2687	6.4	6.4
40	277.9128	284.9419	7	6.9	195	210.3071	183.708	6.1	6.4
45	287.4982	274.3153	7	6.9	200	205.6213	198.1977	6.1	6.4
50	262.0081	265.5872	7	6.9	205	181.1682	183.5878	6.1	6.4
55	256.4378	265.8001	7	6.9	210	200.2367	182.3294	6.1	6.4
60	271.1494	263.0456	7	6.9	215	178.7915	182.8104	5.8	6.4
65	258.6471	264.3773	7	6.9	220	182.7321	179.2306	5.8	6.4
70	246.3071	254.0937	7	6.9	225	183.3202	183.9921	5.8	6.4
75	268.261	250.5454	6.9	7	230	184.6564	179.2318	5.6	6
80	257.8452	247.0445	6.9	7	235	173.5174	174.0141	5.6	6
85	258.6095	250.8963	6.9	7	240	188.3598	173.7907	5.6	6
90	245.2328	245.4249	6.9	7	245	181.0732	174.0206	5.6	6
95	241.926	238.9043	7	7	250	171.3935	173.7622	5.6	6
100	233.0479	237.3373	7	6.9	255	168.678	179.5265	5.6	5.8
105	235.0948	236.7379	7	6.9	260	162.8819	181.3116	5.6	5.8
110	243.1896	224.5877	7	6.9	265	172.6588	167.6048	5.6	5.8
115	238.8392	229.645	6.7	6.9	270	178.2016	172.9261	5.6	5.8
120	240.7228	218.3286	6.7	6.9	275	174.1461	167.4984	5.6	5.8
125	226.9911	225.2227	6.7	6.9	280	166.6326	171.3038	5.6	5.6
130	224.1643	227.4215	6.7	6.9	285	174.6053	172.1244	5.6	5.6
135	206.9398	221.1403	6.7	6.5	290	162.3929	172.0134	5.5	5.7
140	205.7365	214.7611	6.4	6.5	295	158.8449	168.4345	5.5	5.7
145	231.4151	209.5773	6.4	6.5	300	168.2936	172.078	5.5	5.7
150	226.7236	216.7824	6.4	6.5					

Datos experimentales para F = 100 ml/min, C=90 mg/l, v = 300 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	309.0261	312.2528	7	7.1	155	189.1073	178.3196	6.3	5.9
5	310.6233	307.5591	7	7.1	160	177.0552	174.8061	6.3	5.9
10	306.8679	289.7078	7	7.1	165	179.4021	171.0673	6.3	5.9
15	302.3766	288.2905	7	6.9	170	186.4851	166.6387	6	5.8
20	298.8847	285.7679	6.8	6.9	175	187.2299	165.1375	6	5.8
25	271.7512	279.5843	6.8	6.9	180	165.708	166.1529	6	5.8
30	267.2634	271.7401	6.8	6.8	185	182.6559	171.7138	6	5.8
35	269.23	267.3001	6.8	6.8	190	185.1096	174.089	5.8	5.8
40	256.6476	249.3048	6.8	6.8	195	169.3056	166.7216	5.8	5.8
45	246.6581	253.3164	6.8	6.8	200	164.8919	174.9841	5.8	5.7
50	259.8195	237.1441	6.7	6.5	205	182.3552	167.317	5.8	5.7
55	259.3034	240.2005	6.7	6.5	210	167.5886	163.6756	5.5	5.7
60	225.5118	229.3689	6.7	6.5	215	185.2371	161.7	5.5	5.4
65	245.8291	223.0117	6.7	6.5	220	163.8102	173.1931	5.5	5.4
70	240.0272	220.4266	6.7	6.5	225	166.3576	169.1643	5.5	5.4
75	218.7792	216.1006	6.7	6.5	230	175.8837	174.2359	5.3	5.4
80	213.3894	216.2093	6.8	6.5	235	185.4364	162.8395	5.3	5.3
85	221.7167	217.4591	6.8	6.4	240	181.8679	161.2218	5.3	5.3
90	220.2363	215.2594	6.8	6.4	245	182.7453	173.6234	5.3	5.3
95	202.5004	202.0033	6.8	6.4	250	163.0327	167.6542	5.3	5.3
100	207.2512	196.9924	6.7	6.4	255	186.8969	167.7179	5.2	5.3
105	200.546	201.2362	6.7	6.4	260	189.4892	168.8523	5.2	5.3
110	193.0796	200.8248	6.7	6.5	265	171.102	170.9085	5.2	5
115	186.4736	193.0865	6.7	6.5	270	163.6841	167.364	5.2	5
120	204.4799	183.6549	6.5	6.5	275	166.0057	168.4481	5.2	5
125	201.3429	184.3155	6.5	6.5	280	179.8757	178.4486	5.2	5
130	187.7417	181.1187	6.5	6.3	285	192.2218	166.5478	5.2	5
135	183.4537	189.5216	6.5	6.3	290	180.0143	179.304	5.2	5
140	198.257	173.4659	6.5	6.3	295	183.5403	177.2626	5.2	5
145	186.0193	186.0414	6.3	6.3	300	176.0505	174.4721	5.2	5
150	193.9404	180.2945	6.3	5.9					

Datos experimentales para F = 200 ml/min, C=90 mg/l, v = 0 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	301.8903	328.6234	7	7.2	155	192.7974	217.2217	6.5	6.6
5	303.4259	323.8278	7	7.2	160	204.8049	219.5434	6.5	6.4
10	287.2875	322.0419	7	7.2	165	207.1336	232.5898	6.5	6.4
15	285.9252	296.489	7	7	170	176.0761	197.6258	6.5	6.4
20	282.7858	283.6406	7	7	175	193.2518	224.186	6.5	6.4
25	259.9203	261.4216	7	7	180	201.0877	230.1411	6.5	6.4
30	274.9719	289.2572	6.9	7	185	191.5998	210.8998	6.7	6.4
35	252.3528	271.4941	6.9	7	190	206.7209	235.0985	6.7	6.1
40	253.9102	262.8573	6.9	7	195	198.18	216.5825	6.7	6.1
45	267.2279	275.1962	6.9	6.8	200	202.3063	219.7387	6.7	6.1
50	234.8592	237.3995	6.9	6.8	205	179.7477	198.045	6.3	6.1
55	252.0261	264.3004	6.9	6.8	210	206.4561	232.8607	6.3	6.1
60	244.8134	252.7332	7	6.8	215	208.5347	217.0477	6.3	6.1
65	223.4875	233.5847	7	6.8	220	176.4778	207.4644	6.3	6.2
70	211.5279	227.7181	7	6.8	225	200.826	200.8909	6.3	6.2
75	216.9439	236.396	7	6.5	230	207.1974	220.7275	6.1	6.2
80	227.9319	237.0366	7	6.5	235	173.8207	201.3035	6.1	6.2
85	199.4719	227.2811	6.8	6.5	240	200.0051	209.0588	6.1	6.2
90	226.8888	227.5689	6.8	6.5	245	205.8553	227.5834	6.1	6.2
95	210.857	211.4547	6.8	6.5	250	185.2254	217.4389	6.1	6.2
100	208.6086	226.1318	6.8	6.5	255	183.4732	203.8964	6.1	6.2
105	200.1275	208.5635	6.7	6.5	260	185.073	197.8331	6.1	5.8
110	194.6144	226.3803	6.7	6.5	265	189.1277	206.5039	6	5.8
115	187.9865	210.4068	6.7	6.6	270	202.4766	230.7097	6	5.8
120	204.0744	231.0764	6.7	6.6	275	202.1909	219.5254	6	5.8
125	185.7514	206.8361	6.7	6.6	280	180.8798	190.2005	6	5.8
130	203.8509	232.3964	6.7	6.6	285	203.4189	238.2677	5.7	6
135	179.053	183.0716	6.7	6.6	290	183.8889	216.8747	5.7	6
140	196.5056	209.3598	6.7	6.6	295	197.8979	211.7137	5.7	6
145	179.2594	201.9397	6.7	6.6	300	194.2297	208.4139	5.7	6
150	201.3443	206.4945	6.5	6.6					

Datos experimentales para F = 200 ml/min, C=90 mg/l, v = 300 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	328.8497	304.6781	7.1	7	155	158.6043	163.2913	5.8	5.5
5	302.1078	323.0024	7.1	7	160	174.0004	165.4542	5.8	5.5
10	302.4651	322.2608	7.1	7	165	168.1297	167.0465	5.8	5.5
15	286.8627	317.9195	7.1	7	170	176.2406	163.8727	5.8	5.5
20	299.7451	307.269	7.1	6.9	175	158.3833	154.6244	5.8	5.8
25	312.0705	283.7325	7.1	6.9	180	159.6914	177.8327	5.8	5.8
30	286.7047	254.277	7.1	6.9	185	160.8796	156.0446	5.4	5.8
35	246.0912	248.9386	7	6.9	190	163.5246	168.6196	5.4	5.8
40	256.1373	255.5323	7	6.9	195	181.0251	177.1956	5.4	5.3
45	246.1331	273.8873	7	6.9	200	161.5182	177.1852	5.4	5.3
50	238.3861	227.7295	7	6.8	205	190.5085	174.6082	5.4	5.3
55	230.8004	218.3454	7	6.8	210	175.1793	153.251	5.4	5.3
60	263.773	212.0194	6.7	6.8	215	170.5904	152.3693	5.1	5.3
65	226.2322	230.701	6.7	6.8	220	184.5032	157.0749	5.1	5.3
70	198.9732	235.1396	6.7	6.8	225	178.1082	170.0933	5.1	5.3
75	219.6139	200.7883	6.7	6.5	230	205.6989	182.4456	5.1	5.3
80	222.2347	210.2483	6.7	6.5	235	169.0479	189.4769	5.1	5.5
85	221.3044	214.1135	6.7	6.5	240	186.8535	192.9321	5.1	5.5
90	227.8094	198.082	6.7	6.5	245	174.4021	192.837	5.1	5.5
95	225.1571	212.9454	6.8	6.5	250	161.6653	177.2499	5	5.5
100	171.8215	190.7693	6.8	6.5	255	166.9573	195.986	5	5.1
105	208.8825	197.7646	6.8	6.5	260	173.4406	165.2858	5	5.1
110	196.6079	175.9346	6.8	6.1	265	189.6232	172.7487	5	5.1
115	197.5846	169.4027	6.8	6.1	270	181.2086	157.5077	5	4.9
120	189.2423	194.9656	6.8	6.1	275	164.1357	190.6395	4.7	4.9
125	163.7674	172.1932	6.3	6.1	280	177.6628	165.1036	4.7	4.9
130	169.9881	187.7127	6.3	6.1	285	186.7039	180.1005	4.7	4.9
135	157.9305	173.002	6.3	6.1	290	203.6774	181.2478	4.7	4.9
140	167.4453	178.7424	6.3	6.1	295	175.6313	190.8861	4.7	4.9
145	154.7703	190.0589	6.3	5.5	300	162.2141	157.5263	4.7	4.9
150	183.1194	156.011	6.3	5.5					

Datos experimentales para F = 150 ml/min, C=45 mg/l, v = 150 rpm

Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)	Tiempo (min)	NTU (1)	NTU(2)	pH(1)	pH(2)
0	304.6157	327.5387	7.1	7	155	199.946	203.6984	6.3	6.4
5	299.9723	295.6715	7.1	7	160	171.4771	188.5629	6.3	6.4
10	299.0944	296.5532	7.1	7	165	200.1938	171.5348	6.3	6.4
15	298	309.3711	7.1	7	170	197.5381	180.9445	6.3	6.1
20	311.0589	288.0066	7.1	7	175	177.3818	187.3112	6.3	6.1
25	270.5733	294.6865	7.1	7	180	169.6678	184.4398	6.3	6.1
30	275.1367	283.883	6.8	6.9	185	184.4087	165.5721	6.3	6.1
35	281.1872	276.5744	6.8	6.9	190	173.975	179.3707	5.9	6.1
40	278.0377	275.2216	6.8	6.9	195	178.4285	161.1681	5.9	6.1
45	260.2913	257.5354	6.8	6.9	200	179.1575	168.5221	5.9	6.2
50	270.2577	272.2359	6.8	6.7	205	156.9547	161.1624	5.9	6.2
55	242.0158	263.8597	6.8	6.7	210	188.0078	154.4912	5.9	6.2
60	236.5558	237.6076	7	6.7	215	185.1365	168.9508	6	6.2
65	245.448	258.1607	7	6.7	220	173.0887	157.5338	6	6
70	232.6694	256.5963	7	6.7	225	176.7628	156.7157	6	6
75	244.7808	226.7918	7	6.7	230	158.7347	182.2752	6	6
80	224.727	223.0141	6.8	6.7	235	156.3087	167.9623	5.9	6
85	247.0635	220.2965	6.8	6.7	240	170.1849	151.3246	5.9	6
90	213.8283	237.374	6.8	6.5	245	155.8193	155.7701	5.9	6
95	206.0717	232.0787	6.8	6.5	250	155.7555	170.557	5.9	6
100	234.6307	217.9129	6.8	6.5	255	169.9873	180.612	5.9	5.9
105	209.9911	231.7138	6.5	6.5	260	157.8741	166.3405	5.8	5.9
110	220.8217	227.7604	6.5	6.5	265	184.4217	156.2161	5.8	5.9
115	221.9146	223.1742	6.5	6.6	270	155.5354	159.2084	5.8	5.9
120	197.1686	210.0669	6.5	6.6	275	157.548	179.87	5.8	5.9
125	198.353	205.388	6.5	6.6	280	181.934	182.3362	5.8	6
130	205.4461	212.369	6.5	6.6	285	173.9811	158.6902	5.8	6
135	181.3211	210.4175	6.5	6.6	290	164.4946	177.1675	5.8	6
140	206.1017	189.1619	6.5	6.4	295	165.218	168.7774	5.8	6
145	207.6045	182.0849	6.3	6.4	300	185.2884	191.4227	5.8	6
150	194.4241	200.1199	6.3	6.4					

ANEXO E

FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO SIMULTÁNEO DE OXIDACIÓN AVANZADA



Fotografía 1: Reactor batch de burbujeo en funcionamiento – prueba
Flujo: 200 ml/min, Concentración: 0 H₂O₂ mg/L y Velocidad: 0 rpm.



Fotografía 2: Reactor batch de burbujeo en funcionamiento – prueba
Flujo: 200 ml/min, Concentración: 90 H₂O₂ mg/L y Velocidad: 0 rpm.



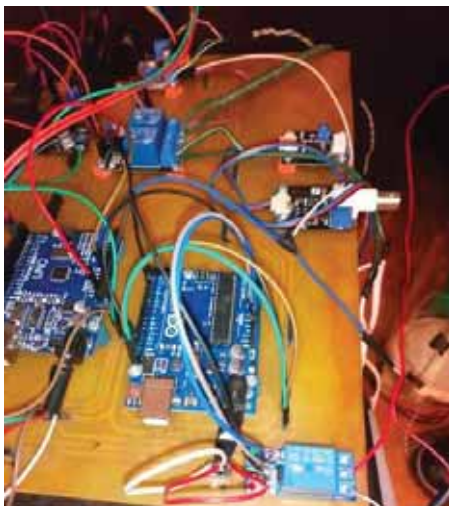
Fotografía 3: Reactor batch de burbujeo en funcionamiento – prueba
Flujo: 200 ml/min, Concentración: 90 H₂O₂ mg/L y Velocidad: 300 rpm.



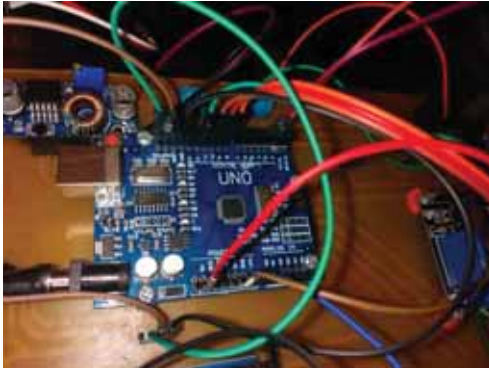
Fotografía 4: Reactor batch de burbujeo en funcionamiento – prueba
Flujo: 200 ml/min, Concentración: 90 H₂O₂ mg/L y Velocidad: 0 rpm.



Fotografía 5: Armado del protocolo I2C, Arduino Uno (01), Arduino Uno (02).



Fotografía 6: Instalación de los sensores de turbiedad y pH, respectivamente, con sus respectivas conexiones.



Fotografía 7: Vista del Arduino Uno maestro y sus conexiones a los sensores, pantalla LCD, motor de pasos para la agitación.

ANEXO F
CÁLCULOS PARA EL FLUJO VOLUMÉTRICO DE AIRE QUE SE INYECTARÁ
AL REACTOR

Galicia et al .,2005 5.5% Vol muestra = Aire necesario

5 Lt /min ----- 90 L

X Aires ----- 3L

Aire necesario = 166.6 ml/ min

Para obtener valor máximo y mínimo de aire serán 100 y 200 ml/min, el punto intermedio será 150 ml/min.

ANEXO G

DECRETO SUPREMO 021-2009-VIVIENDA



Decreto Supremo Nº 021-2009-VIVIENDA

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 2º de la Ley Nº 27792, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que es competencia del Ministerio, formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, correspondiéndole por tanto dictar normas de alcance nacional y supervisar su cumplimiento;

Que, asimismo el literal a) del Artículo 8º del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo Nº 002-2002-VIVIENDA, establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento diseña, norma y ejecuta la política nacional y acciones del sector en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento;

Que, la Ley Nº 26338, Ley General de Servicios de Saneamientos, en adelante la Ley General, ha declarado que dichos servicios son de necesidad y utilidad pública y de preferente interés nacional, cuya finalidad es proteger la salud de la población y el ambiente;

Que, el Artículo 15º de la Ley General, establece que los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer uso adecuado de dichos servicios, no dañar la infraestructura correspondiente y cumplir con las normas que los Reglamentos de las entidades prestadoras establezcan; asimismo dispone que el daño o la depredación de los equipos e instalaciones de los servicios de saneamiento; así como el uso indebido de los mismos serán sancionados en la forma que establezca el Reglamento de la Ley General y las disposiciones que para el efecto dicte la Superintendencia, sin perjuicio de la responsabilidad penal que tuviese el infractor.

Que, mediante Decreto Supremo Nº 023-2005-VIVIENDA se aprobó el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, en adelante el TUO del Reglamento;

Que, el literal g) del Artículo 56º del TUO del Reglamento establece como derecho de las EPS suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes industriales que se vierten en él, no cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente, quedando la EPS facultada para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio; por otro lado el literal h) del mismo artículo dispone que en casos especiales las EPS pueden cobrar el costo adicional por las cargas en el sistema de alcantarillado que superen los límites establecidos por cada EPS en su Reglamento de Prestación



de Servicios, indicando que dicho costo adicional será considerado como un servicio colateral;

Que, el tercer párrafo del Artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece que corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado;

Que, las descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que deben ser reguladas, controladas y fiscalizadas, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, disminuyendo los costos de su operación y mantenimiento, y evitando el deterioro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales;

Que, por otro lado la presencia de sustancias nocivas en concentraciones elevadas en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado pone en peligro la salud de los seres humanos;

Que, es necesario regular las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, garantizando la sostenibilidad del tratamiento de las aguas residuales, estableciendo y aprobando para este caso Valores Máximos Admisibles (VMA) en lugar de Límites Máximos Permisibles, pues estos últimos son parámetros de orden ambiental que se aplican a las descargas de efluentes en cuerpos receptores y tiene influencia en el ecosistema y el ambiente;

Que, en ese sentido resulta necesario modificar e incorporar las disposiciones pertinentes establecidas en el Tuo del Reglamento de la Ley General a fin de concordar la nomenclatura y definición de los VMA;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del Artículo 118° de la Constitución Política del Perú, Leyes N° 26338, N° 27792, N° 29338, Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, y demás normas pertinentes.

DECRETA:

Artículo 1°.- Finalidad, Ámbito de aplicación y obligatoriedad de la norma

La presente norma regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.



Decreto Supremo

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 2º.- Aprobación de Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector saneamiento

Apruébese los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 que forman parte integrante de la presente norma.

Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en el Anexo N° 1, deberán pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Los parámetros contenidos en el Anexo N° 2 no pueden ser sobrepasados. En caso se sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio.

Artículo 3º.- Definición de Valores Máximos Admisibles (VMA)

Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA) como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Artículo 4º.- Pago por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario

Las EPS o las que hagan sus veces, podrán cobrar a los usuarios no domésticos el pago adicional, de acuerdo a la normatividad vigente, correspondiente al exceso de concentración de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (AyG), medidos en la caja de registro de la red de alcantarillado o un dispositivo adecuado para este proceso, conforme al procedimiento que se establecerá en el Reglamento de la presente norma.

La metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los valores máximos admisibles, será elaborada y aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, en un



plazo no mayor de la fecha de entrada en vigencia del Reglamento de la presente norma. Dicha metodología deberá ser incorporada en el Reglamento de Prestación de Servicios correspondiente a cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 5°.- Suspensión del Servicio de Alcantarillado

Las EPS o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas en virtud de la presente norma a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado en los casos que se regulen en el reglamento y que deriven de la vulneración de los anexos N°1 y N°2.

Artículo 6°.- Caso fortuito o fuerza mayor

Cuando por caso fortuito o fuerza mayor el usuario no doméstico efectúe descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario superando los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecido en el Anexo N° 2 de la presente norma, las EPS o las entidades que hagan sus veces, evaluarán si procede exonerar temporalmente al usuario no doméstico de los alcances del artículo 5°, de acuerdo a lo establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 7°.- Control de las aguas residuales no domésticas

El monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS o las entidades que hagan sus veces, contando para ello con la participación de laboratorios debidamente acreditados ante INDECOPI. Los pagos deberán ser asumidos por el usuario no doméstico de acuerdo al procedimiento que el ente competente establecerá concordante con la presente norma. La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 8°.- Actualización de los VMA

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se encuentra autorizado a modificar los Valores Máximos Admisibles a través de una Resolución Ministerial. Para tal efecto, la Dirección Nacional de Saneamiento, evaluará y, de ser el caso, sustentará la modificación y actualización de los parámetros de los Valores Máximos Admisibles, señalados en los Anexos N° 1 y N° 2, previo análisis y estudio efectuado por las EPS o las entidades que hagan sus veces, de acuerdo a la caracterización del tipo de descarga no doméstica vertida a los sistemas de alcantarillado.

Artículo 9°.- Prohibiciones

Queda totalmente prohibido descargar directa o indirectamente a los sistemas de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que en razón de su naturaleza, propiedades y cantidad causen por sí solos o por interacción con otras descargas algún tipo de daño, peligro e inconveniente en las instalaciones de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo indicado en el Reglamento de la presente norma.





Decreto Supremo

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

PRIMERA.- La presente norma entrará en vigencia conjuntamente con la aprobación de su Reglamento, el cual será elaborado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en un plazo máximo de trescientos sesenta y cinco (365) días calendario, contados a partir de la publicación de la presente en el Diario Oficial El Peruano.



SEGUNDA.- Los usuarios que a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, se encuentren efectuando descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, deberán adecuar sus descargas a las disposiciones establecidas en la presente norma, en un plazo no mayor de cinco (05) años.

En el caso de nuevos usuarios del sistema de alcantarillado sanitario las disposiciones de la presente norma serán de aplicación inmediata.



TERCERA.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, mediante Resolución Ministerial, aprobará las normas complementarias que sean necesarias, para la aplicación e implementación del presente Decreto Supremo.

CUARTA.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS

ÚNICA.- Modifíquense los literales g) y h) del Artículo 56° del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, con el texto siguiente:

Artículo 56°.- Son derechos de la EPS:
(...)



g) Suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes no domésticos que se vierten en él, no cumplan con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos en la normatividad vigente. Las EPS o las entidades que hagan sus veces, quedan facultadas para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio.

h) Cobrar el costo adicional por las cargas contaminantes descargados en el sistema de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por



la normatividad vigente. Dicho pago adicional será incorporado en el Reglamento de Prestación de Servicios de cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS DEROGATORIAS



ÚNICA.- Deróguese todas las normas que se opongan al presente Decreto Supremo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil nueve.

Regístrese, comuníquese y publíquese.




ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República


JUAN SARMENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO Nº 01

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

ANEXO Nº 02

Valores Máximos Admisibles (1)

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	500
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁺⁴	80
pH ⁽²⁾	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables ⁽²⁾	MI/L/h	S.S.	8.5
Temperatura ⁽²⁾	°C	T	<35

⁽¹⁾ La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo.

⁽²⁾ Estos parámetros, serán tomadas de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.

DECRETO SUPREMO 031-2010-VIVIENDA

MINISTERIO DE SALUD

No. 031-2010-SA



Decreto Supremo

Lima, de..... del.....

APRUEBAN REGLAMENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2º concordante con el artículo 7º de la Constitución Política del Perú, establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida, teniendo derecho a la protección de su salud, la del medio familiar y la de la comunidad, así como el deber de contribuir a su promoción y defensa;

Que, el artículo 107º de la Ley N° 26842, Ley General de Salud, establece que el abastecimiento del agua para consumo humano queda sujeto a las disposiciones que dicte la Autoridad de Salud competente, la que vigilará su cumplimiento;

Que, la Décima Primera Disposición Complementaria, Transitoria y Final de la Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamiento, dispone que el Ministerio de Salud, continuará teniendo competencia en los aspectos de saneamiento ambiental, debiendo formular las políticas y dictar las normas de calidad sanitaria del agua y de protección del ambiente;

Que, mediante Resolución Suprema del 17 de diciembre de 1946, se aprobó el "Reglamento de los requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables", el cual se encuentra desactualizado y obsoleto en el contexto actual;

Que, resulta necesario establecer un nuevo marco normativo para la gestión de la calidad del agua para consumo humano, sustentado en un enfoque de análisis de riesgo, que proporcione a la Autoridad de Salud instrumentos de gestión modernos y eficaces para conducir la política y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano;



Olivera A.



D. L. G.

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, la Ley N° 26842 – Ley General de Salud, y la Ley N° 29158 – Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1°- Aprobación

Apruébese el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, que consta de diez (10) títulos, ochenta y un (81) artículos, doce (12) disposiciones complementarias, transitorias y finales, y cinco (05) anexos, cuyos textos forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

El presente Decreto Supremo con el texto del Reglamento y sus anexos deberán ser publicados en el Portal Institucional del Ministerio de Salud (<http://www.minsa.gob.pe>) el mismo día de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.



M. Alce R.

Artículo 2°- Derogación

A la entrada en vigencia del presente dispositivo legal, quedará derogada la Resolución Suprema del 17 de diciembre de 1946 que aprobó el "Reglamento de los requisitos oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables", así como toda aquella disposición que se le oponga.



E. CRUZ S.

Artículo 3°- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Salud y de Vivienda, Construcción y Saneamiento.



W. Olivera A.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinticuatro días del mes de septiembre del año dos mil diez.



D. León Cn.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

OSCAR UGARTE UBILLUZ
Ministro de Salud

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento



ANEXO I
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. <i>E. Coli</i>	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml



ANEXO II
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE
CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ²⁻ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad



ANEXO III

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L ⁻¹	0,010
3. Bario	mg Ba L ⁻¹	0,700
4. Boro	mg B L ⁻¹	1,500
5. Cadmio	mg Cd L ⁻¹	0,003
6. Cianuro	mg CN L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg Cr L ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Níquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	mg U L ⁻¹	0,015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL ⁻¹	0,01
3. Aceites y grasas	mgL ⁻¹	0,5
4. Alacloro	mgL ⁻¹	0,020
5. Aldicarb	mgL ⁻¹	0,010
6. Aldrín y dieldrín	mgL ⁻¹	0,00003
7. Benceno	mgL ⁻¹	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL ⁻¹	0,001
10. Endrin	mgL ⁻¹	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL ⁻¹	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL ⁻¹	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL ⁻¹	0,00003
14. Metoxicloro	mgL ⁻¹	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL ⁻¹	0,009
16. 2,4-D	mgL ⁻¹	0,030
17. Acrilamida	mgL ⁻¹	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL ⁻¹	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL ⁻¹	0,0003
20. Benzopireno	mgL ⁻¹	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
22. Tetracloroetano	mgL ⁻¹	0,04



Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
23. Monocloramina	mgL ⁻¹	3
24. Tricloroetano	mgL ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroetano	mgL ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mgL ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL ⁻¹	0,0006
35. Ácido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mgL ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mgL ⁻¹	0,7
38. Xileno	mgL ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mgL ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mgL ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mgL ⁻¹	0,0006
43. 2,4- DB	mgL ⁻¹	0,09
44. 1,2- Dibromo-3- Cloropropano	mgL ⁻¹	0,001
45. 1,2- Dibromoetano	mgL ⁻¹	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL ⁻¹	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL ⁻¹	0,02
48. DicloroPROP	mgL ⁻¹	0,1
49. Dimetato	mgL ⁻¹	0,006
50. Fenoprop	mgL ⁻¹	0,009
51. Isoproturon	mgL ⁻¹	0,009
52. MCPA	mgL ⁻¹	0,002
53. Mecoprop	mgL ⁻¹	0,01
54. Metolacoloro	mgL ⁻¹	0,01
55. Molinato	mgL ⁻¹	0,006
56. Pendimetalina	mgL ⁻¹	0,02
57. Simazina	mgL ⁻¹	0,002
58. 2,4,5- T	mgL ⁻¹	0,009
59. Terbutilazina	mgL ⁻¹	0,007
60. Trifluralina	mgL ⁻¹	0,02
61. Clorpirifos	mgL ⁻¹	0,03
62. Piriproxifeno	mgL ⁻¹	0,3
63. Microcistin-LR	mgL ⁻¹	0,001



Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
64. Bromato	mgL ⁻¹	0,01
65. Bromodiclorometano	mgL ⁻¹	0,06
66. Bromoformo	mgL ⁻¹	0,1
67. Hidrato de cloral (tricloroacetaldehído)	mgL ⁻¹	0,01
68. Cloroformo	mgL ⁻¹	0,2
69. Cloruro de cianógeno (como CN)	mgL ⁻¹	0,07
70. Dibromoacetoniitrilo	mgL ⁻¹	0,07
71. Dibromoclorometano	mgL ⁻¹	0,1
72. Dicloroacetato	mgL ⁻¹	0,05
73. Dicloroacetoniitrilo	mgL ⁻¹	0,02
74. Formaldehído	mgL ⁻¹	0,9
75. Monocloroacetato	mgL ⁻¹	0,02
76. Tricloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol	mgL ⁻¹	0,2

Nota 1: En caso de los sistemas existentes se establecerá en los Planes de Adecuación Sanitaria el plazo para lograr el límite máximo permisible para el arsénico de 0,010 mgL⁻¹.

Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL⁻¹.

Nota 3: La suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Cloroformo, Dibromoclorometano, Bromodiclorometano y Bromoformo) con respecto a sus límites máximos permisibles no deberá exceder el valor de 1,00 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{LMP_{\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{LMP_{\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodiclorometano}}}{LMP_{\text{Bromodiclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{LMP_{\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

donde, C: concentración en mg/L, y LMP: límite máximo permisible en mg/L



ANEXO IV

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS RADIATIVOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Dosis de referencia total (nota 1)	mSv/año	0,1
2. Actividad global α	Bq/L	0,5
3. Actividad global β	Bq/L	1,0

Nota 1: Si la actividad global α de una muestra es mayor a 0,5 Bq/L o la actividad global β es mayor a 1 Bq/L, se deberán determinar las concentraciones de los distintos radionúclidos y calcular la dosis de referencia total; si ésta es mayor a 0,1 mSv/año se deberán examinar medidas correctivas; si es menor a 0,1 mSv/año el agua se puede seguir utilizando para el consumo.

