

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tesis previa a la obtención del Título de:
Ingeniero Ambiental**

TEMA:

“Análisis in vitro de la capacidad de remoción de materia orgánica de aguas residuales procedentes de la matanza y faenamiento de ganado, mediante la utilización de quitosano”

AUTOR:

Priscila Marcela Carpio Cordero

DIRECTOR:

Doctora Myriam Mancheno Ms.C.

Cuenca, junio de 2014

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Priscila Marcela Carpio Cordero con cédula de ciudadanía 0104117817, bajo mi supervisión.

Cuenca, Junio de 2014

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Myriam Mancheno', written in a cursive style.

Dra. Myriam Mancheno

DIRECTORA DEL PROYECTO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

La responsabilidad del contenido de este trabajo de grado corresponde a la autora exclusivamente.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Cuenca, Junio de 2014

Priscila Carpio

Priscila Carpio C.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar este arduo trabajo me llegan a la mente algunas personas que fueron indispensables en este proceso y con las cuales estoy inmensamente agradecida.

Por esto quiero empezar dándoles las gracias a mis amados padres, por el apoyo infinito y desinteresado ya que me apoyaron a cada segundo y me dieron ánimos cuando estaba cansada. A mi hijo Sebastián, que ha tenido toda la paciencia y amor conmigo en este largo proceso.

A Fernando Cárdenas, mi más sincero sentido de gratitud, ya que fue un maestro para mí en este proceso.

Y para concluir, a la Doctora Miriam Mancheno, por dirigir con paciencia y cariño este trabajo.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a mi familia: A mi madre, porque sin su apoyo y ayuda nunca hubiera logrado culminar esta etapa tan importante en mi vida. A mi Hijo, por ser mi alegría y razón de vida. Y a mi Padre, que siempre confió en mí y fue mi guía y maestro. Sé que estas acompañándome en cada paso.

Les Amo con mi vida.

RESUMEN

En el presente trabajo se utilizó el biopolímero quitosano en conjunto con el método de la prueba de jarras (coagulación y floculación) para determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica de una matriz de agua contaminada con harina de sangre.

Para el diseño de experimentos se utilizó el modelo de Box – Behnken con cuatro factores (Dosis de quitosano, pH quitosano, Tiempo de Coagulación - floculación y revoluciones por minuto), dando como resultado un total de 25 experimentos.

Se realizó el análisis en laboratorio de la demanda química de oxígeno (DQO) y turbidez del agua contaminada antes de la experimentación dándonos valores de 860 mgO₂/lt y 1186 ppm respectivamente. Después de la ejecución de los experimentos se efectuaron los mismos análisis con los cuales se procedió a la inferencia estadística.

Mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR) se realizó el análisis de los resultados obtenidos en búsqueda de las condiciones óptimas para la obtención de los mejores resultados.

Se logró una optimización en la remoción de materia orgánica realizando por separado el análisis de la DQO y la turbidez. De acuerdo a la superficie de respuesta, para la disminución de la DQO se determina un punto estacionario tipo silla, indicando la presencia de dos regiones distintas que contienen máximas remociones. Para la turbiedad el punto estacionario es un mínimo, que corresponde a valores de 8,9 ml para dosis de quitosano y un pH de 4,14 valores que no necesariamente nos dan una mejor remoción, pero que aseguran una estabilidad en los resultados.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. JUSTIFICACION.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. HIPÓTESIS	4
1.3.1. Hipótesis Nula.....	4
1.3.2. Hipótesis Alternativa.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. EL AGUA.....	5
2.1.1. El Ciclo del Agua.....	6
2.1.2. Contaminación del ciclo del agua	9
2.1.2.1. Clasificación del agua residual de acuerdo a su origen.	10
2.1.3. Calidad del Agua.....	14
2.1.3.1. Parámetros físicos y químicos del agua.	14
2.1.3.2. Contaminación del agua por materia orgánica	17
2.1.3.3. El río como receptor de aguas residuales	22
2.1.4. Tratamiento de aguas	24
2.1.4.1. Tratamiento primario del agua	26
2.1.4.2. Sedimentación con Floculación.....	28
2.1.4.3. Coagulación y Floculación	29
2.1.4.3.1. Prueba de Jarras	30
2.1.4.3.1.1. Procedimiento y Equipos para la prueba de jarras	31
2.1.4.3.1.2. Métodos para el análisis de parámetros físico-químicos.....	33

2.2.	PLANTAS DE SACRIFICIO	35
2.2.1.	El Camal Municipal de la Ciudad de Cuenca.	36
2.2.2.	Funcionamiento de un Camal.....	39
2.2.2.1.	Procesos y Operaciones.....	40
2.2.2.2.	Descripción de los procesos	42
2.2.3.	Impactos ambientales	44
2.2.3.1.	Recursos implicados.....	46
2.2.3.1.1.	Energía.....	47
2.2.3.1.2.	Aire	48
2.2.3.1.3.	Suelo	48
2.2.3.1.4.	Agua.....	49
2.2.4.	Medidas y opciones de mejora.....	53
2.3.	QUITOSANO.....	55
2.3.1.	Historia.....	55
2.3.2.	Quitina y sus derivados	56
2.3.3.	Qitosano	59
2.3.3.1.	Obtención del qitosano	60
2.3.3.2.	Características Físico/Químicas del Qitosano	62
2.3.3.3.	Usos del Qitosano y tratamiento de aguas.....	63
2.3.4.	Tratamiento de aguas con Qitosano	65
2.4.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS.....	67
2.4.1.	Diseño de Box-Behnken	69
2.4.2.	Metodología de Superficie de respuesta	69
2.4.3.	Función de aproximación en la superficie de respuesta.....	71

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO	76
3.1. MATERIALES Y MÉTODOS	76
3.2. VARIABLES.....	76
3.2.1. Variables independientes	77
3.2.2. Variables dependientes.....	77
3.2.3. Indicadores	78
3.3. Diseño de experimentos	78
3.4. Matriz de Agua.....	79
3.5. Solución de Quitosano.....	80
3.6. pH	82
3.7. Prueba de Jarras	82
3.8. Experimentación.....	83
3.9. Análisis del agua	86
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES	87
4.1. Resultados:	87
4.2. Conclusiones:	94
4.3. Recomendaciones	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
ANEXOS	102

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1: Ciclo del agua	8
Ilustración 2: Diagrama de flujo de un tratamiento de aguas.....	26
Ilustración 3: Proceso de coagulación-floculación a escala laboratorio.	28
Ilustración 4: Conformación de flocs	29
Ilustración 5: Diagrama del equipo para la prueba de jarras a escala de laboratorio.....	32
Ilustración 6: Ganado en el Ecuador	36
Ilustración 7: Ubicación del camal municipal de Cuenca.....	37
Ilustración 8: Vista panorámica del camal municipal.	37
Ilustración 9: Esquema típico de los procesos en un matadero.....	41
Ilustración 10: Sistema de recolección de las aguas industriales	46
Ilustración 11: Similitud entre cadenas de celulosa, quitina y quitosano	57
Ilustración 12: Unidades repetidas de monosacáridos.	59
Ilustración 13. Diagrama de flujo del proceso de obtención de quitosano.	61
Ilustración 14: Descomposición de los diseños experimentales.	68
Ilustración 15: Ejemplo de regiones en una MSR.....	70
Ilustración 16: Pesado de la harina de sangre para la realización de la matriz de agua...79	
Ilustración 17: Preparación de la solución base de quitosano.....	81
Ilustración 18: Equipo para prueba de jarras.....	83
Ilustración 19: Solución de quitosano y jeringuillas para dosificación.....	85
Ilustración 20: Muestra de agua contaminada después de la dosificación de quitosano. 85	
Ilustración 21: Muestras de agua en el laboratorio después de los análisis.	86
Ilustración 22: Experimentos y sus resultados de los analisis de la DQO.....	88
Ilustración 23: Experimentos y sus resultados de los analisis de la Turbidez	90
Ilustración 24: Muestras con mejores resultados en disminución de turbidez.....	91
Ilustración 25: Superficie de respuesta para la DQO.....	92
Ilustración 26: Superficie de respuesta para la Turbidez	93

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Distribución del agua en el mundo.	6
Tabla 2. Contaminantes importante en aguas residuales	13
Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos del agua.	15
Tabla 4: Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	19
Tabla 5: Resultados de laboratorio del agua contaminada del camal.	21
Tabla 6: Procesos de tratamiento de aguas residuales para descarga al sistema de alcantarillado	25
Tabla 7: Descripción de los procesos de un tratamiento primario del agua.....	27
Tabla 8: Consumo de diésel Emurplag.	47
Tabla 9. Indicadores de concentraciones en los efluentes de un matadero industrial.....	52
Tabla 10: Composición química de fuentes de obtención de quitina/quitosano.	58
Tabla 11: Diseño Factorial de Box-Behnken para cuatro factores con tres niveles.....	69
Tabla 12: Niveles de los factores utilizados.....	78
Tabla 13: Análisis de DBO ₅ para la determinación de la cantidad de harina en el agua.	80
Tabla 14: Características del quitosano utilizado para el trabajo de investigación.....	81
Tabla 15: Prueba de jarras - Experimentos realizados.	84
Tabla 16: Resultados de DQO obtenidos del análisis de laboratorio.....	87
Tabla 17: Resultados de turbidez obtenidos del análisis de laboratorio.	89

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. JUSTIFICACION

Cuenca, ciudad Patrimonio Cultural de la Humanidad, se encuentra ubicada al Sur del Ecuador. Según el INEC en su censo del 2010, cuenta con una población de alrededor de 505.000 habitantes siendo así la tercera ciudad de mayor importancia en el país.¹ Está atravesada por cuatro ríos: Tarqui, Yanuncay, Tomebamba y Machángara, los cuales posteriormente se unen para formar el río Cuenca.

A lo largo del río Machángara, se realizan actividades de matanza y faenamiento de ganado (reses y porcinos). Las cuales generan en las diferentes etapas de su proceso un importante volumen de aguas residuales (Centro de producción más limpia de Nicaragua. [CPmL-N], 2004) con alto contenido de materia orgánica y purines. Cuyos efluentes² están siendo descargados a los cursos de agua afectando así la biodiversidad de los mismos.

La problemática radica en que muchos de estos efluentes se disponen a los cauces naturales sin un tratamiento que reduzca la carga contaminante y asegure un medioambiente saludable. Trayendo consecuencias ambientales y disminuyendo la calidad de agua de los ríos.

¹ En la página del Municipio de Cuenca (www.cuenca.gov.ec) consta como la tercera más grande e importante ciudad del Ecuador, y también la más atractiva y tranquila.

² Efluente: Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad. (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiental. TULSMA)

Al ser las actividades humanas las que desencadenan este tipo de impactos, se hace necesario buscar alternativas que nos ayuden a controlar la contaminación, preservar los recursos existentes y mejorar las condiciones ambientales del entorno que nos rodea. Esto se puede lograr mediante un control adecuado por parte de las autoridades municipales y ambientales, pero también con la búsqueda de nuevas alternativas en el tratamiento de aguas.

Ante lo expuesto anteriormente y gracias a los conocimientos adquiridos en mis estudios en la carrera de Ingeniería Ambiental, realizo este trabajo de investigación en búsqueda de alternativas para la disminución de contaminación de origen orgánico en aguas residuales, considerando necesaria la aplicación de los mismos para el cuidado y mejora de la calidad del agua.

Se realiza la investigación mediante la utilización de Quitosano en aguas contaminadas con materia orgánica, para determinar la capacidad de floculación de contaminantes presentes en la misma.

Este compuesto genera un beneficio directo al medio ambiente por tratarse de un elemento biodegradable y bio-absorbible³, que no se hace presente como residuo en el agua recuperada, no se acumula en la cadena trófica y cuya materia prima (el exoesqueleto de los crustáceos) es generada como desecho de actividades de la industria camaronera por lo que resulta de fácil acceso y se contribuye con su reciclaje.

³ Bio-absorbible: Es un compuesto químico, que con el tiempo se disuelve y es absorbido por el cuerpo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Analizar la capacidad de remoción de Materia Orgánica de aguas residuales procedentes de la matanza y faenamiento de ganado, mediante la utilización de quitosano.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales parámetros y características del agua contaminada, así como también del Quitosano.
- Establecer la capacidad del quitosano para la remoción de materia orgánica en el agua mediante métodos físico-químicos.
- Realizar la Inferencia estadística de los datos obtenidos

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis Nula

H₀: El Quitosano no reduce la concentración de Materia Orgánica presente en el agua.

1.3.2. Hipótesis Alternativa

H₁: El Quitosano reduce la concentración de Materia Orgánica presente en el agua.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. EL AGUA

Su fórmula química es H_2O , siendo uno de los mejores solventes que se dispone. El agua desempeña un papel importante en la disolución de los minerales, encargándose del transporte y la redistribución de estos por la superficie terrestre, la mejor prueba de ello es la salinidad de los océanos donde se vuelven a encontrar disueltos todos esos elementos (Marsily, 2003).

El agua es parte esencial de los seres vivos, tanto para el ser humano (72% de agua), los animales y la vegetación. Es un elemento fundamental en la producción de alimentos, crecimiento y vida de las plantas, el buen vivir de la humanidad, la cría de animales, en la industria, en el control de heladas, para el aseo en general (Prieto, 2004). Además de un sinnúmero de actividades más que se presentan como parte de nuestra vida diaria. El agua, gracias a sus propiedades físico-químicas tiene un papel muy importante como estabilizador de la temperatura del planeta. Su rol es uno de los más importantes, ya que su presencia o ausencia determina la existencia o no de vida.

Está presente en la atmósfera en forma de nubes o niebla y forma los océanos, ríos, lagos y glaciares, cubriendo las siete décimas partes de la superficie terrestre (Prieto, 2004).

Océanos y Mares.	97%
Casquetes Polares.	2,20%
Agua Dulce.	0,52%
Agua en el Ciclo Hidrológico.	0,06%

Tabla 1. Distribución del agua en el mundo.

Fuente: Línea de Profundización Ambiental. Londoño. s/f

Solo el 0.52 % del agua de todo el planeta es dulce es decir, que podría ser consumida. Su importancia para la vida hace del agua un objeto permanente de estudio, que seguramente no terminará mientras la humanidad continúe su uso indiscriminado en la industria, en la agricultura y como fuente de energía.

2.1.1. El Ciclo del Agua

El ciclo del agua o ciclo hidrológico es diferente de los demás ciclos en los que intervienen los nutrientes, porque la mayor parte de agua permanece como simple agua a lo largo del ciclo. El océano constituye su principal depósito, cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre y contiene más del 97% del agua disponible a nivel mundial.

El agua es evaporada por el sol y forma nubes que al enfriarse lo suficiente se precipitan en forma de lluvia o nieve. Parte de esta agua precipitada, se infiltra en el suelo, otra

parte recorre la superficie formando arroyos, quebradas, ríos, entre otras. Y posteriormente después de un largo viaje vuelve al mar.

Por otra parte, el agua del suelo vuelve a la superficie al nivel de las fuentes; también vuelve a la superficie por medio de la transpiración de las plantas e inevitablemente termina volviendo al mar. En el camino hacia el mar puede incorporarse en diferentes organismos o elementos. Marsily (2003) dice que la energía requerida para la consecución de este ciclo proviene del sol, que es su principal componente o motor de arranque.

Por último es importante recordar que los seres humanos interfieren en todos los ciclos naturales, generando ciertos desequilibrios debido a sus acciones. Así por ejemplo, existen procesos industriales que producen más nutrientes de los que se pueden procesar liberando gran cantidad de desechos. Mediante el consumo masivo de combustibles fósiles se ha aumentado el flujo de energía y se han alterado los ciclos naturales del carbono, azufre, nitrógeno, etc. provocando lluvia ácida y el efecto invernadero. (Monge, Gómez, & Rivas, 2002)

Al ciclo del agua se lo puede considerar en episodios en los que intervienen procesos como la evaporación, condensación y precipitación. Formando tres circuitos principales en el ciclo.

1. Circuito del escurrimiento superficial, en el que el agua de lluvia se desplaza por el suelo y se convierte en parte del sistema de aguas superficiales.
2. Circuito de evapotranspiración, en el que el agua se infiltra, se retiene como agua capilar y regresa a la atmosfera por evaporación y transpiración vegetal.

3. Circuito de aguas freáticas en el que el agua se infiltra, circula por conductos acuíferos y sale por manantiales, fuentes o pozos, donde se une al agua superficial.

La tierra es bañada por un continuo flujo de agua dulce que viene de las lluvias y se extiende poco a poco por el planeta. Las masas de agua (como estanques, lagos, etc.) que tienen desagües se alimentan de manera constante de agua dulce y se mantienen potables en tanto prosiga el intercambio sin el aumento de sustancias que causen un desequilibrio (Nebel & Wright, 2000).

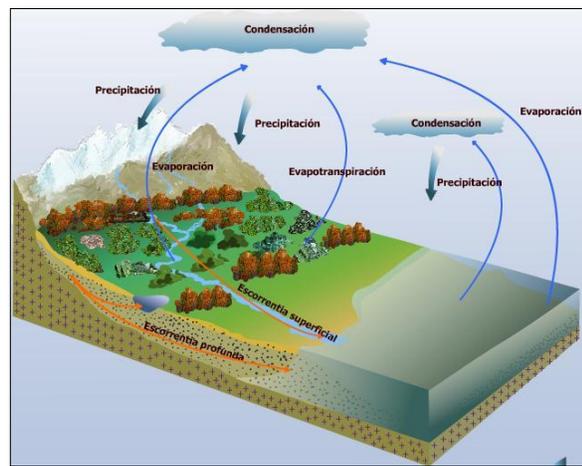


Ilustración 1: Ciclo del agua

Fuente: http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/el_ciclo_del_agua.html

El ciclo hidrológico representa el cambio permanente del agua en varias etapas del ciclo, entre sus diferentes estados. Estos procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años según la dinámica terrestre y el lugar en que nos encontremos. Aunque el equilibrio del agua en la Tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido y su participación en los procesos de vida de la tierra son considerados indispensables.

Su importancia radica en que es el responsable de la continua redistribución del agua terrestre a escala global, aunque esta sea muy irregular y desigual en las distintas zonas del globo terrestre e incluso a lo largo del tiempo. Además proporciona suministros de agua dulce a las zonas continentales que son imprescindibles para los seres que las habitan y por último cubre las necesidades de agua de los asentamientos humanos a lo largo del tiempo.

2.1.2. Contaminación del ciclo del agua

Se aprecia que el ciclo del agua abarca a toda la biosfera, por ende los desechos se introducen en él; emisiones, humos y vapores descargados en el aire volverán a caer como lluvia, pero con la particularidad de que está contaminada. La lluvia ácida, es un claro ejemplo de lo que ocurre al emanar cualquier tipo de contaminante con repercusiones directas en el ambiente.

Los agentes químicos que se aplican al suelo, como fertilizantes, pesticidas, fungicidas y demás sales con características nocivas, tienen el poder de lixiviación, llegando a aguas freáticas o escurriéndose a las corrientes fluviales; lo mismo ocurre con aceites, grasas y otros materiales que se depositan en el suelo. Además, toda el agua que se emplea para lavar o expulsar desperdicios añade contaminantes a las aguas superficiales, a menos que pasen por un tratamiento (Nebel & Wright, 2000).

Es necesario ser consciente de las actividades que se realizan y las posibles repercusiones que estas conlleven no solo para el ambiente sino también para nosotros mismos.

2.1.2.1. Clasificación del agua residual de acuerdo a su origen. (Félez, 2005)

El agua natural es una solución de diversos compuestos que se van adhiriendo de acuerdo a los procesos del ciclo hidrológico, siendo diferentes de acuerdo a la composición de los suelos, a su ubicación y a los procesos físicos y químicos que se realizan durante su paso. El agua posee características muy variables que la hacen diferente de acuerdo al sitio y al proceso de donde provenga, teniendo en cuenta esto, se la puede clasificar de acuerdo a su origen.

- Aguas Residuales Urbanas (ARU)

Son las aguas generadas en las poblaciones como consecuencia de las actividades de las mismas. Normalmente homogéneas en cuanto a composición y carga contaminante, es decir, su composición varía muy poco de unas poblaciones a otras, tanto cuantitativa como cualitativamente ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. De todos modos, sus características van a depender del núcleo de población donde se genere (número de habitantes, la existencia de industrias, tipo de industria, etc.) y pueden ser:

- Aguas negras, fecales o aguas sanitarias Es una combinación de las aguas procedentes de los retretes de las viviendas, de los centros comerciales, etc. que después de haber sido utilizada queda contaminada.

- Aguas grises, que son las procedentes del uso doméstico antes de mezclarse con las aguas negras (proceden del lavado de ropa, limpieza de la casa, desperdicios de comida, etc.). Pueden contener materia en suspensión como tierra, arena, materia orgánica, grasas, detergentes y sales diversas.

- Aguas de drenaje de calles. Estas aguas presentan, en general, un volumen muy pequeño, y su contaminación depende de las condiciones locales.

- El agua de lluvia y lixiviados que nunca es pura, puede contener gases disueltos, iones que se encuentran en la atmósfera en forma de polvo. Esto es más notable en las zonas industriales y en grandes zonas urbanas en donde la atmósfera está muy polucionada.

- Aguas Residuales Industriales

Es el agua resultante de procesos productivos en donde se utiliza agua. Presentan características diferentes a las ARU.

Pueden ser diferentes en cuanto a caudal y composición no solo dependiendo de la industria que la esté generando, si no también dentro de un mismo tipo de industria ya que los procesos no siempre son constantes o continuos, de manera

que puede existir mayor vertido en determinadas horas del día o en determinadas épocas del año dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial.

Son aguas más contaminadas que las aguas residuales urbanas además de ser difíciles de tratar por su composición tan diversa y su alta carga contaminante, haciéndose necesario un estudio específico para cada efluente. Es muy complicado hacer una clasificación de las mismas porque existen prácticamente tantas aguas residuales industriales como industrias. Se ha intentado agruparlas de acuerdo a su composición cualitativa más probable, de acuerdo a la industria que originó las aguas residuales.

Tomando en cuenta la posibilidad de biodegradación de la materia orgánica presente se pueden distinguir 3 clases de aguas:

- Aguas residuales industriales que contienen materia orgánica o con aporte de nitrógeno y fósforo o Sin aporte de nitrógeno y fósforo

- Aguas residuales industriales que sólo contienen sustancias minerales o con sustancias tóxicas o sin sustancias tóxicas

- Aguas residuales mixtas generadas por una población a las que periódica o accidentalmente ingresan vertidos industriales.

En la siguiente tabla se puede observar diferentes tipos de contaminación y su implicación en el agua.

CONTAMINANTE.	FUENTE.	IMPORTANCIA AMBIENTAL.
Sólidos suspendidos.	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red.	Causa depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes.	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutrofización.
Compuestos orgánicos refractarios.	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor; pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados.	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reúso del efluente.

Tabla 2. Contaminantes importantes en aguas residuales

Fuente: http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO2.pdf. 2003

2.1.3. Calidad del Agua

Cuando se habla de calidad de agua se hace referencia a las características de la misma, dependiendo del uso al cual está destinada. La calidad del agua se define por su uso final. Así por ejemplo, como se lee en el punto anterior, se puede tener agua para consumo humano, de riego, para uso industrial, etc.

La calidad del agua, se determina a través de pruebas de laboratorio, analizando parámetros determinados, dependiendo la aplicación del agua a analizar. Así, los indicadores de la calidad de agua para riego van a ser diferentes a los indicadores para agua de consumo humano y estas a su vez diferentes a los del agua para uso industrial.

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre la calidad del agua:

Se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares. En el caso del agua potable, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

2.1.3.1. Parámetros físicos y químicos del agua.

Se puede hacer un estudio de los diferentes parámetros indicadores de la calidad del agua, mediante una clasificación según la naturaleza de sus propiedades, como se puede ver en la tabla 3:

Parámetros Físicos	Características organolépticas	Color Olor Sabor
	Turbidez y sólidos en suspensión	Materia en suspensión Sustancias filtrables
	Temperatura	
	Conductividad	
Parámetros Químicos	Salinidad y dureza	
	pH	Alcalinidad Acidez
	Oxígeno disuelto	OD
	Medidores de Materia Orgánica	DBO DQO
	Medidores de Materia Inorgánica	Cationes Aniones Metales, etc.
Parámetros Microbiológicos	Bacterias	
	Virus	
	Hongos	
	Algas	

Tabla 3: Parámetros fisicoquímicos del agua.

Fuente: Autora

A continuación se describen brevemente los indicadores más comunes a tener en cuenta:

- **pH:** Es el término que se utiliza para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad. Expresa la concentración de iones de hidrógeno y es muy importante cuando se habla de tratamientos de agua. Se expresa mediante una escala entre 1 y 14, de forma que el valor 1 indica condiciones de máxima acidez, y 14 de alcalinidad extrema.
- **Turbiedad:** Hace referencia a la pérdida de transparencia del agua, debido a la presencia de material particulado o en suspensión. La turbiedad en el agua es muy importante por varias razones, como por ejemplo la afección que puede causar en los ríos, al desarrollo de la fauna debido a que reduce la intensidad y penetración de la luz en los cuerpos de agua limitando el crecimiento de las plantas. Actualmente se utiliza para calibración y establecimiento de patrones y modelos de turbidímetros. Se relaciona en unidades nefelométricas de turbiedad o NTU.
- **Oxígeno Disuelto (OD):** Como su nombre lo indica es la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua. Este factor determina si los cambios biológicos pueden ser producidos por organismos anaeróbicos o aeróbicos.

En condiciones propicias favorece al crecimiento de poblaciones de peces y otros organismos según los requerimientos de cada especie. El oxígeno disuelto se establece como la concentración actual (mg/L) o como la cantidad de oxígeno que puede tener el agua a una temperatura determinada.

- **Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO):** Se define como la cantidad de oxígeno requerido por microorganismos para descomponer la materia orgánica

en condiciones aerobias y puede considerarse como un procedimiento en el cual los organismos vivos sirven como medio para la oxidación de la materia orgánica hasta dióxido de carbono y agua. Se utiliza para determinar el poder contaminante de los residuos domésticos o industriales, en términos de cantidad de oxígeno requerido si son descargados a una corriente de agua.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Permite medir la cantidad total de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica a dióxido de carbono y agua. El resultado se expresa tanto en (mg O₂/L) como en (ppm O₂) Este parámetro es usado para medir la concentración de materia orgánica presente en aguas residuales; una de las limitaciones del DQO es la incapacidad para diferenciar entre materia biológicamente oxidable y materia orgánica biológicamente inerte. La principal ventaja es el poco tiempo que se necesita para su evaluación.

2.1.3.2. Contaminación del agua por materia orgánica

Para Glynn y Heinke (1999) a la contaminación ambiental se la conoce como, “un cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, agua o suelo que puede afectar de manera adversa la salud, supervivencia o actividades de humanos u otros organismos vivos”. Mientras que por contaminación del agua, se entiende, a un cambio en sus propiedades debido a la introducción de sustancias ajenas a esta, causando el deterioro de su calidad y quedando menos apta para uno o todos los usos a los que va a ser destinada.

Las aguas residuales pueden tener diversos orígenes, estas pueden provenir de desechos domésticos (humanos y animales), agrícolas (fungicidas, insecticidas, herbicidas y vegetales) e industriales (químicos, metales pesados, desechos de mataderos, residuos de procesamiento de alimentos, aceites, grasas, tinturas, etc.) (Atiaga & Proaño, 2007). Por lo tanto al tener características diferentes en cuanto a la composición de los efluentes, se hace necesario identificar el origen de la misma, determinar los tipos de contaminantes presentes para posteriormente aplicar un tratamiento adecuado al agua residual.

Como se mencionó anteriormente, la calidad del agua va a depender del uso que se quiera dar a la misma, por lo que conocer las alteraciones que causan cada uno de los contaminantes y sus consecuencias en los ecosistemas nos permite definir los principales parámetros a controlar y el diseño para un sistema de tratamiento.

Con las consideraciones realizadas se puede explicar lo que sucede con el agua al ser contaminada por altas concentraciones de materia orgánica.

Al insertar en un cauce, una alta concentración de materia orgánica se debe tener en cuenta los procesos de descomposición de esta carga contaminante, la cual necesitará de oxígeno disuelto para iniciar las reacciones químicas de descomposición de la materia. Entonces se habla de contaminación del agua por materia orgánica cuando la cantidad depositada supera la capacidad de autodepuración del cauce en el que fue depositada y en la cual los microorganismos no pueden efectuar sus funciones de descomposición por la ausencia de oxígeno. Es ahí cuando se habla de que un cuerpo de agua se encuentra contaminado (Atiaga & Proaño, 2007)

En la tabla 4 se presenta un resumen de los contaminantes más relevantes a revisar en el agua y la importancia de los mismos.

CONTAMINANTES.	RAZÓN DE LA IMPORTANCIA.
Sólidos en suspensión	Pueden conducir al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
M. O. Biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales. La materia orgánica se mide, la mayoría de las veces, en términos de DBO y DQO. Si se descargan al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento del oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Los presentes en el agua residual pueden transmitir enfermedades infecto contagiosas
Nutrientes	El nitrógeno y el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten en el entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada (eutrofización).
M.O. Refractaria	Tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ej.: agentes termo activos, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales Pesados	Son añadidos frecuentemente al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede que deban ser eliminados si se va a reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y puede que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual.

Tabla 4: Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

Fuente: Tratamiento de aguas residuales. Serrano. 2008. <http://www.unad.edu.co/>.

Los parámetros indicadores más utilizados para la determinación de contaminación por materia orgánica en una fuente de agua, se basan en la cantidad de oxígeno necesario para descomponer los residuos orgánicos. Como se mencionó anteriormente estos son DQO y DBO₅.

Por otra parte, las aguas residuales provenientes de un matadero, son efluentes con gran cantidad de sólidos en suspensión, materia orgánica, nutrientes, etc. Los cuales por sus características no deben ser descargados a fuentes de agua sin un tratamiento previo, ya que esto generaría altas concentraciones de materia orgánica en el agua, afectando a su proceso natural de autodepuración⁴ y por consiguiente a la vida del río.

En la tabla 5 se pueden apreciar los valores obtenidos del análisis del agua residual del camal municipal, en donde también constan los límites de descarga a cuerpos de agua y alcantarillado del libro VI anexo 1 (Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: recurso agua) del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA), en el cual podemos apreciar una dramática diferencia entre la normativa ambiental y la carga contaminante⁵ de los efluentes del matadero descargado al cauce principal del río “Machángara”. Convirtiéndose en una preocupación muy importante, ya que se ha identificado un foco de contaminación, al cual hay que buscarle una solución que disminuya la concentración del contaminante, evite un mayor daño ambiental y reduzca al máximo la alteración de la calidad de agua que posee el río.

⁴ Según la OMS, en los cursos de agua, los microorganismos descomponedores mantienen siempre igual el nivel de concentración de las diferentes sustancias que puedan estar disueltas en el medio. Este proceso se denomina *autodepuración del agua*. Cuando la cantidad de contaminantes es excesiva, la autodepuración resulta imposible.

⁵ Carga contaminante: Cantidad de un contaminante aportada en una descarga de aguas residuales, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo. TULSMA

Parámetro	Unidad	Fecha de Monitoreo		NORMAS TULSMA	
		12-may-10	13-may-10	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce
Q. máximo	l/s	7.29	8.33	1,5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado	
Q. medio	l/s	3.5	5.77		
Q.max/Q.med		2.09	1.45		
T.máxima	oC	22.3	20.7	< 40	
pH máxima		8.03	7.92	9	
pH mínimo		7.27	7.32	5	
DBO5	mg/l	2,8	3425	250	100
DQO	mg/l	5,105	5698	500	250
Fósforo Total	mg/l	38.81	48.72	15	
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	201.29	230.05		
Nitrógeno Orgánico	mg/l	388.21	488.85		
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	589.50	718.90	40	
pH		6.92	6.81	5 – 9	5 – 9
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	5	20	
Sólidos Suspendidos	mg/l	920	1150	220	
Sólidos Totales	mg/l	3,423	4042	1600	
Sustancias Solubles al hexano	mg/l	74.5	166	100	

Tabla 5: Resultados de laboratorio del agua contaminada del camal.

Fuente: Diagnóstico Ambiental a la EMURPLAG. 2010.

2.1.3.3. **El río como receptor de aguas residuales**

En el río, si el agua permanece lo suficientemente aireada no habrá problemas en volver a las condiciones ambientales previas al vertido, pero si el aporte de oxígeno no es suficiente, las degradaciones pasan a ser anaerobias, provocando eutrofización y todo tipo de putrefacciones con todos sus daños y patogenias (Félez, 2005).

El oxígeno disuelto presente en el agua tiene como origen varias causas, siendo las más importantes:

- El intercambio con la atmósfera. La solubilidad del oxígeno aumenta a medida que la temperatura se acerca a 0 °C, que es el punto de saturación del oxígeno.
- El movimiento natural del agua al pasar por cascadas o chocar con piedras y demás obstáculos.
- El aporte de efluentes con elevada concentración de oxígeno, no contaminados.
- El aporte de agua lluvia, que al recorrer su camino desde la nube a la Tierra van cargándose de aire y añaden oxígeno al curso de agua.
- Como consecuencia de la función clorofílica de las plantas presentes en la flora acuática.

La evolución de los ríos ante la presencia de vertidos contaminantes se realiza con acciones físicas, químicas y biológicas. Convirtiéndose en la típica reacción de los componentes de la naturaleza ante situaciones ambientales extrañas; los iones presentes, complejos o no, sufren cierta evolución a lo largo del río. El oxígeno sufre una disminución inmediata, hasta que va recuperándose por las causas citadas anteriormente.

- La DBO será máxima al principio, hasta que disminuya lentamente hasta valores normales.
- Las sales y las materias en suspensión están también en concentraciones máximas al inicio, disminuyendo después rápidamente.
- El amonio y fosfato iniciales van aumentando hasta que su concentración se hace máxima poco antes de ser mínima la concentración de oxígeno disuelto.
- Los nitratos disminuyen inicialmente hasta casi desaparecer; va aumentando su concentración hasta que se hace máxima la concentración de oxígeno, y por último, disminuye lentamente hasta alcanzar valores normales.

Los vertidos industriales pueden contener compuestos metálicos u otros de naturaleza no totalmente orgánica y que afectan gravemente a la autodepuración. Producen interferencias e inhibiciones que impiden o dificultan el proceso de autodepuración.

La velocidad de autodepuración depende de:

- Movimiento del agua, ya que a una mayor velocidad se produce más autodepuración, por el oxígeno que toma.
- Profundidad. A más profundidad, menos autodepuración debido a la escasez de oxígeno.
- Superficie. Cuanto mayor sea la superficie, mayor será el contacto con el oxígeno del aire.
- Presencia o ausencia de venenos para los microorganismos.

2.1.4. Tratamiento de aguas

Los tratamientos de aguas residuales tienen como fin eliminar o disminuir la contaminación en el agua para mejorar su calidad. Esto se puede lograr a través de una serie de operaciones que incluyen procedimientos mecánicos, químicos, biológicos y físico - químicos.

El grado de tratamiento y operaciones que se deba utilizar para un agua residual va a depender de los límites permisibles de descarga de estos efluentes. (Ramalho, 1996)

Según el TULSMA para poder descargar un efluente a un cuerpo receptor o al sistema de alcantarillado se debe realizar un tratamiento convencional del agua. Este tratamiento es aquel que está conformado por un Tratamiento Primario y uno Secundario.

En la siguiente tabla se puede observar un resumen de los procesos y fases en un tratamiento de aguas.

<i>Tipo de proceso de tratamiento</i>	<i>Etapas o Fases</i>	<i>Objetivos</i>
Pre-tratamiento. (Procesos físicos) (Eliminación de sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.)	Cribado y tamizado. Dilaceración. Desarenado. Desengrasado. Homogeneizado.	Retener materiales gruesos flotantes. Reducir el tamaño de los sólidos. Separar arena en suspensión. Separar las grasas y aceites. Homogeneizar la concentración y el caudal del agua residual.
Tratamiento primario. (Procesos físicos y químicos) (Remoción principalmente de compuestos orgánicos biodegradables y sólidos suspendidos)	Sedimentación. Flotación. Floculación. Neutralización.	Reducir la DBO ₅ en al menos un 20% y los sólidos en suspensión en un 50-85%.
Tratamiento secundario. (Procesos biológicos)	Procesos aerobios. Procesos anaerobios. Procesado de los residuos sólidos.	Reducir su DBO inicial en un 70-90% y los sólidos totales en un 90%.

Tabla 6: Procesos de tratamiento de aguas residuales para descarga al sistema de alcantarillado

Fuente: Autora

2.1.4.1. Tratamiento primario del agua

El pre tratamiento o tratamiento primario del agua es el proceso encargado de la reducción o eliminación de sólidos suspendidos y materiales flotantes del agua, para su descarga a cuerpos receptores o para pasar al tratamiento secundario.

Contempla el uso de operaciones físicas tales como: Desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste (principalmente rejillas, mallas, o cribas) para la eliminación de sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.

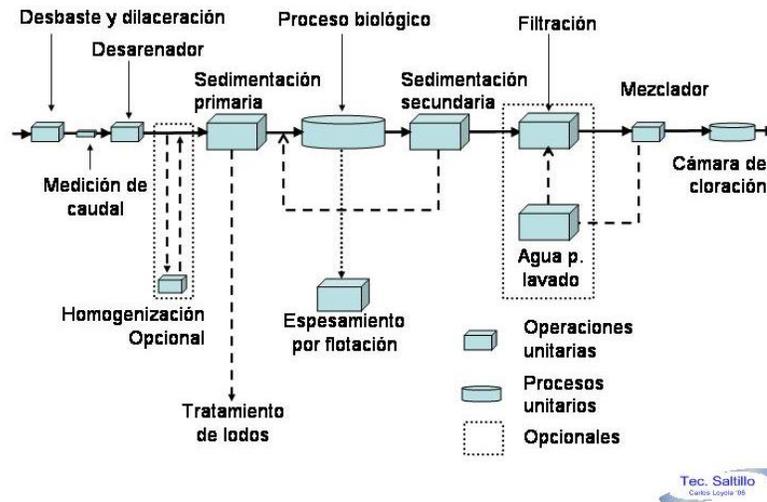


Ilustración 2: Diagrama de flujo de un tratamiento de aguas

Fuente: Loyola, Instituto Tecnológico de Saltillo. 2006.

En la tabla 7 se observa una descripción básica de los procesos convencionales del tratamiento primario.

Proceso	Descripción
Cribado desbrozo	Reducción de sólidos en suspensión mediante rejillas de distintos tamaños, dependiendo del tamaño de sólidos a remover. La materia sólida se clasifica en fina (5mm) y gruesa (4 a 9 cm).
Sedimentación	Se utiliza para separar sólidos en suspensión, y se basa en la diferencia de peso específico entre partículas sólidas y el líquido que las contiene.
Flotación	Forma de separación por gravedad en la cual las partículas con menor peso específico que el agua y pueden ser removidas por barrido de la superficie.
Separación de aceites	Se realiza mediante trampas de grasa.
Homogenización	Consiste en mezclar las corrientes, algunas ácidas y otras alcalinas. Se utiliza para disminuir las variaciones de DQO, DBO, o las variaciones entre caudales
Neutralización	Se utiliza: Antes de la descarga de aguas a un medio receptor, en donde la vida acuática pueda ser sensible a pH diferentes a 7, antes de la descarga al alcantarillado, antes de tratamiento químico o biológico

Tabla 7: Descripción de los procesos de un tratamiento primario del agua.

Fuente: Autora

En algunos casos la sedimentación⁶ puede ser el único tratamiento de un agua residual. También puede realizarse en una o varias etapas del proceso de tratamiento.

Se pueden considerar 3 tipos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en el agua. (Ramalho, 1996)

- Sedimentación discreta: Las partículas que sedimentan mantienen su naturaleza individual, no se cohesionan.

⁶ La sedimentación es el término aplicado a la separación de las partículas suspendidas con peso específico mayor al del agua por acción o fuerza de la gravedad. (Crites & Tchobanoglous, 2000)

- Sedimentación con floculación: Las partículas se aglomeran y existen cambios de densidad de las partículas y en la velocidad de sedimentación y precipitación.
- Sedimentación por zonas: las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total.

2.1.4.2. Sedimentación con Floculación

La *sedimentación con floculación* se da cuando la velocidad de sedimentación de las partículas aumenta por causa de la formación de *Flocs*, que son partículas que se aglutinan y forman masas, las cuales tienen un peso específico mayor al del agua por lo que precipitan con mayor facilidad. Este proceso es físico – químico ya que para acelerar la formación y la decantación de los Flocs se utilizan productos químicos (coagulantes y floculantes) optimizando el proceso. Esto se da por medio de dos mecanismos, la coagulación y la floculación.



Ilustración 3: Proceso de coagulación-floculación a escala laboratorio.

Fuente: La Autora

2.1.4.3. Coagulación y Floculación

La acción de aglomerarse las partículas en suspensión, coloidales o no, se conoce como coagulación, mientras que la floculación es la formación de los flóculos como consecuencia de la coagulación (Félez, 2005).

- **Coagulación:** Puede entenderse como la neutralización de las cargas eléctricas y desestabilización de los coloides, seguido de una adsorción superficial de las partículas desestabilizadas sobre el hidróxido formado.
- **Floculación:** Es un proceso a través del cual los microflóculos o coágulos primarios formados se agregan entre sí a través de enlaces o puentes de unión, constituyendo los flóculos secundarios con entidad suficiente para decantar por gravedad.

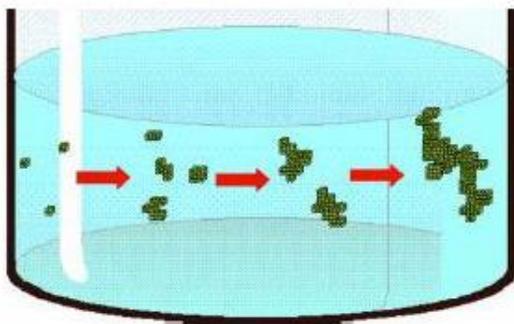


Ilustración 4: Conformación de floccs

Fuente: <http://apuntescientificos.org/gravimetria.html>

Las partículas contaminantes en el agua pueden variar su tamaño desde 1 μ hasta los 1000 μ , por lo que su velocidad de sedimentación puede ser tan variada como su tamaño tardando hasta 755 días en sedimentar (Marín Bustos, 2009), es por esto que es importante utilizar métodos como la coagulación y floculación para que estos procesos se aceleren.

El tratamiento de coagulación-floculación puede ser utilizado como un tratamiento aislado o bien como parte de un tratamiento combinado (Gálvez Pérez, 2008)

En el libro del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) sobre criterios para tratamientos por filtración rápida para el mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano, dice que en el proceso de coagulación, existe una dosis óptima que varía en función del pH y de la concentración de coloides presentes en el agua cruda, así, con dosis menores a la óptima, no se desestabilizan los coloides, mientras que con dosis mayores se pueden llegar a re estabilizar, deteriorándose la calidad del efluente. También habla sobre el tipo de agua a tratar y sobre la cantidad de contaminante en la misma. Así según los criterios antes mencionados, existen procedimientos y metodologías para determinar estos parámetros en el laboratorio, para poder conseguir la mayor eficiencia posible en el tratamiento de aguas. El método más utilizado para esto es la prueba de jarras.

2.1.4.3.1. Prueba de Jarras

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. CEPIS, 1992. La *Prueba de Jarras o Jar Test* es el principal método de laboratorio para determinar las condiciones de operación óptimas en un proceso de coagulación y

floculación para una planta de tratamiento del agua. También sirve para determinar la eficiencia de un tratamiento y si puede ser o no rentable.

Esta prueba permite ajustar el pH óptimo, el tipo y la dosis del coagulante y floculante, velocidades de mezcla y el tiempo. Con la prueba de jarras se puede simular los procesos de coagulación y floculación para la determinación de la eficiencia de remoción de aguas contaminadas.

2.1.4.3.1.1. Procedimiento y Equipos para la prueba de jarras

Para realizar este procedimiento, es necesario un equipo específico (Ilustración 5). Normalmente estos equipos constan principalmente de: (CEPIS, 1992)

- Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas interconectadas, las cuales son capaces de trabajar a velocidades variables, medidas en revoluciones por minuto (de 0 a 100 RPM).

- Un iluminador de flóculos, el que se encuentra localizado como base de los vasos de precipitación que contienen el agua a tratar, estos pueden tener diferentes volúmenes, dependiendo de la cantidad de agua que sea necesaria para realizar los análisis.

- Las jarras o vasos a utilizar deben ser de 2 litros preferentemente, y en lo posible transparentes.

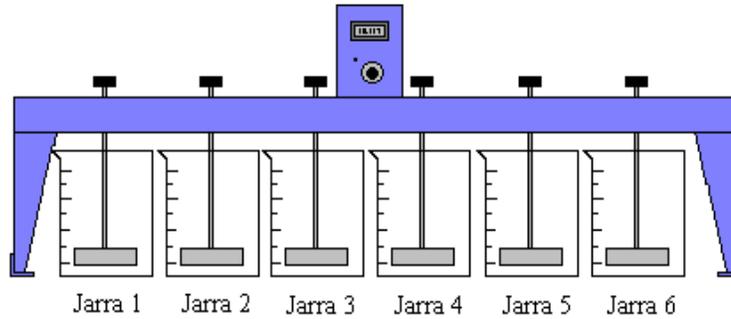


Ilustración 5: Diagrama del equipo para la realización de la prueba de jarras a escala de laboratorio

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/49400627/prueba-de-jarra2>

El procedimiento consiste en colocar en cada una de las jarras el agua a tratar en proporciones iguales, después agregar los coagulantes sometiendo a las jarras a un tiempo de mezcla rápido en el equipo para prueba de jarras, normalmente de 1 a 2 minutos a una velocidad de 200 revoluciones por minuto (RPM) con el fin de homogenizar el medio. Enseguida se ajusta el equipo para realizar una mezcla lenta para así ayudar a la formación de flóculos, finalmente un tiempo de reposo para que pueda darse la sedimentación de los Flocs.

Este método permite hacer combinaciones o ajustes de factores establecidos por el investigador. Así por ejemplo variar la concentración del coagulante o modificar el pH o los tiempos de mezcla lenta.

Como se puede ver, se realiza una simulación de las etapas de coagulación, floculación y sedimentación en un tratamiento primario del agua.

Después de la finalización del ensayo es importante realizar una medición de los parámetros físico-químicos establecidos anteriormente (punto 2.1.3).

2.1.4.3.1.2. Métodos para el análisis de parámetros físico-químicos.

En esta tesis se realizan análisis de Turbidez y Demanda Química de Oxígeno. Los métodos utilizados se describen brevemente a continuación:

- La espectrometría ultravioleta-visible o espectrofotometría UV-Vis⁷ como su nombre lo indica, utiliza la luz en los rangos visible y adyacentes (ultravioleta cercano y el infrarrojo cercano) para la espectroscopia de fotones en la región de radiación ultravioleta-visible. Se utiliza habitualmente en la determinación cuantitativa de soluciones de iones metálicos de transición y compuestos orgánicos muy conjugados.
 - Soluciones de iones metálicos de transición: absorben la luz visible debido a que los electrones en los átomos de metal se pueden excitar desde un estado electrónico a otro. El color de las soluciones de iones metálicos se ve muy afectado por la presencia de otras especies, como algunos aniones o ligandos. Por ejemplo, el color de una solución diluida de sulfato de cobre es muy azul; agregando amoníaco se intensifica el color y cambia la longitud de onda de absorción máxima.
 - Los compuestos orgánicos, también absorben luz en las regiones del espectro electromagnético visible o ultravioleta. Los disolventes para estas determinaciones son a menudo el agua para los compuestos solubles en agua.

⁷ Obtenido de http://www.espectrometria.com/espectrometra_ultravioleta-visible

La ley de Beer-Lambert establece que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración de la solución. Por lo tanto, la espectrometría UV/VIS se puede usar para determinar la concentración de una solución.

- Demanda química de oxígeno:

La determinación de la DQO⁸ debe ser realizada en lo posible inmediatamente después de la toma de las muestras de agua para evitar la oxidación natural.

El método para la determinación de la DQO es el de dicromato de potasio. El principio de este método, consiste en que en condiciones definidas, ciertos materiales presentes en el agua se oxidan con un exceso de dicromato de potasio, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y mercurio. Por lo que el exceso de dicromato puede ser valorado con sulfato de hierro y amonio. Así se puede valorar el DQO a partir del dicromato reducido.

⁸ Obtenido de http://www.ciencias-marinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/ y http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/dqo.pdf

2.2. PLANTAS DE SACRIFICIO

La Planta de sacrificio, Camal, Rastro, Matadero o Frigorífico-Matadero (Falla, 2007a), es el lugar en donde se realizan las operaciones de sacrificio y faenado del ganado que se destina para la provisión al público (demanda de carne).

Los camales, que generalmente son de competencia municipal, son responsables y tienen el deber de ofrecer un servicio a la comunidad que garantice un sin número de características, como por ejemplo, que el ganado se encuentre sano, que cumpla con las normativas sanitarias, que haya sido faenado de forma apropiada, entre otras.

No sólo en el Ecuador, sino en toda Latinoamérica existen deficiencias técnicas-sanitarias en el procesado de la carne, siendo esta una industria con altos índices de contaminación por los desechos generados como: sangre, contenido ruminal, estiércol y agua, los mismos que normalmente no son tratados de manera adecuada antes de ser descargados al medio ambiente.

Ecuador cuenta con una población aproximada de 5,3 millones de bovinos y 1,8 millones de porcinos (Ilustración 6) distribuidos en todo el territorio nacional, siendo en el Azuay de 430.156 y 84,167 (Instituto Nacional de Estadística Y Censos - INEC, 2011) respectivamente y con más de 200 mataderos localizados, que en su mayoría están siendo administrados por los municipios (Ministerio de Agricultura, 2000).

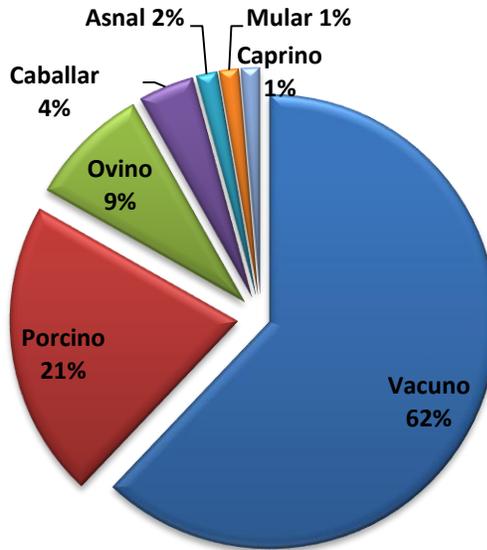


Ilustración 6: Ganado en el Ecuador

Fuente: Instituto Nacional de Estadística Y Censos (INEC) ESPAC - 2011

2.2.1. El Camal Municipal de la Ciudad de Cuenca.

El cantón de Cuenca, cuenta con un camal municipal que se encuentra ubicado dentro de la zona urbana de la ciudad, en el sector de Patamarca al margen derecho del río Machángara, aproximadamente a 3 km de la Avenida de las Américas en la vía Parque Industrial - Ochoa León - Checa. Es administrado por la Empresa Pública Municipal De Servicios De Rastro y Plazas De Ganado (EMURPLAG EP).

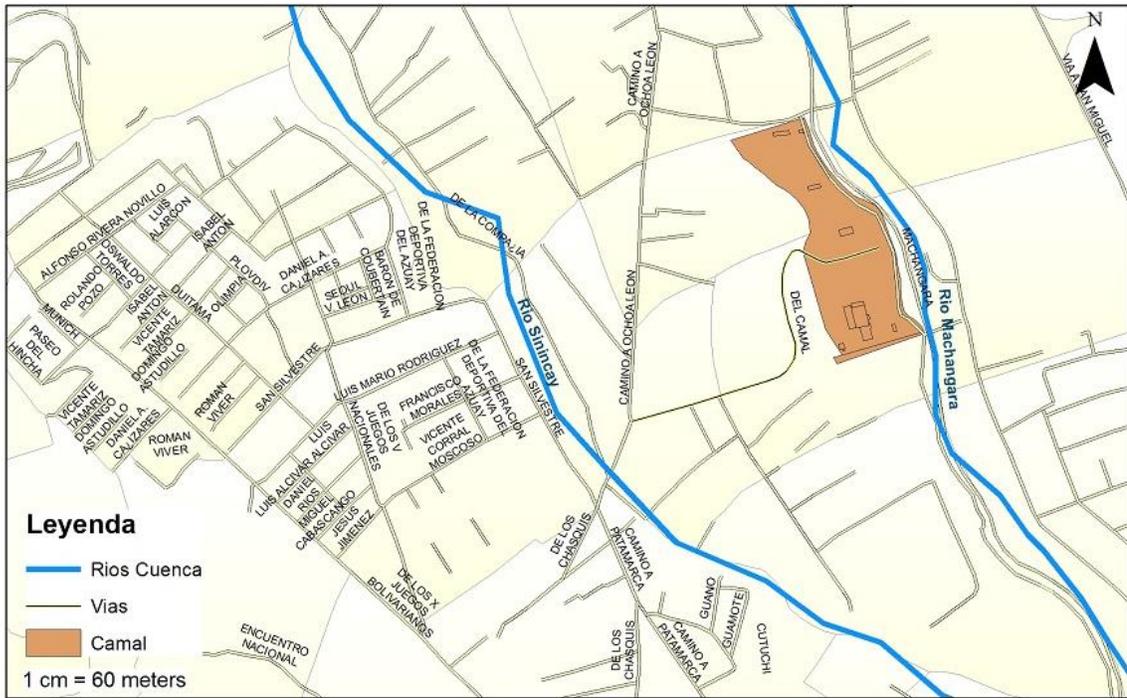


Ilustración 7: Ubicación del camal municipal de Cuenca

Fuente: Autora



Ilustración 8: Vista panorámica del Camal municipal.

Fuente: (Clavijo, 2010)

El camal que da servicio para el sacrificio principalmente de porcinos y ovinos, fue construido en el año de 1983, misma fecha en la que inició su funcionamiento. Inicialmente estuvo diseñado para satisfacer una demanda de 120 a 150 reses por día, pero en la actualidad hay mayores requerimientos, lo que ha conllevado a sobrepasar dicha capacidad, alcanzando niveles de sacrificio de hasta 400 reses y 150 porcinos al día. (Clavijo, 2010)

Este aumento en la demanda ha llevado a la generación en promedio de 45.5 Kg de desechos sólidos y 2500 litros de sangre al día, que por falta de capacidad en la planta de procesamiento, solo se trabaja con la mitad de los desechos para la producción de compost. (Clavijo, 2010)

“Los efluentes sólidos generados en los procesos productivos son tratados solamente en un 20% en la elaboración de bioles y abonos orgánicos. El 80% de los desechos restante son enviados al relleno sanitario de la EMAC EP. Los efluentes líquidos se descargan al colector marginal los mismos que son tratados en las lagunas de oxidación de Ucubamba de ETAPA EP.” (Acotecnic, 2011)

El camal de Cuenca no cuenta con una planta de tratamiento de agua. Las descargas se las realizaba directamente hacia el río, con una carga contaminante muy elevada pero desde diciembre del 2009 la empresa envía sus efluentes a un colector marginal para luego de un proceso de tratamiento de sedimentación, puedan ser enviados hacia las lagunas de oxigenación en Ucubamba y con los sedimentos realizar compost. Con esta medida se logra la disminución de contaminación del agua al río, pero como se puede ver en la tabla 5, reflejando todavía valores muy elevados.

Es por esto y por la creciente demanda que la EMURPLAG E.P se encuentra en estudios para la instalación de un nuevo centro de faenamiento de Bovinos, Porcinos, Ovinos, Equinos y Aves de Corral, además de una feria de Ganado con un horizonte de diseño de 30 años. Para tal propósito ha adquirido un terreno ubicado aproximadamente a 7km del área urbana de Cuenca, Sector Atueloma, Parroquia Tarqui, Provincia del Azuay, con una extensión total de 36,2 Ha, de las cuales el área aprovechable para construcción es de aproximadamente del 35 al 40 % del terreno, el restante será utilizado como zona de amortiguamiento.

2.2.2. Funcionamiento de un Camal

Las áreas necesarias para el buen y eficiente funcionamiento de un camal son: (Garzón Alvear, 2010)

- Unidad de producción: integrada por cajón de matanza para porcinos y bovinos, respectivamente.
- Áreas complementarias internas: incluye zona de faenamiento, evisceración⁹ y un área de inspección y sellado.
- Áreas complementarias exteriores: incluye la caseta de control, rampa de descarga de animales, corrales de ganado y baño ante-mortem.

⁹ Evisceración: Salida hacia el exterior de una parte de las vísceras abdominales causada, en la mayoría de los casos, por un traumatismo o una herida.

- Incinerador de carnes: horno usado para carne y vísceras decomisadas.
- Depósito de esquilmos¹⁰: para depositar partes de los animales que no son comestibles.
- Tanque elevado para el almacenamiento de agua: que se utiliza cuando el abastecimiento de agua es insuficiente.
- Frigoríficos: se utilizan para guardar la carne faenada y aquella que no pudo ser distribuida el día de la matanza.

Dentro de las instalaciones básicas de un rastro es necesario que exista una adecuada red de drenaje y tratamiento de desechos líquidos y sólidos. (Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios, 2005)

2.2.2.1. Procesos y Operaciones

Según (Taveras, Silva, Flores, & De León, 2011) los procesos dentro de un camal se pueden describir de manera general en 3 etapas o fases:

1. Recepción y estabulación del ganado.

¹⁰ Esquilmos: Accesorio de menor cuantía que se obtienen del cultivo o de la ganadería.

2. Sacrificio y operaciones preparatorias.
3. Manipulación y transformación de productos.

En cada fase se producen afecciones ambientales por lo que se requiere aplicar prácticas para la prevención o mitigación de estas. En la siguiente ilustración se muestra un esquema típico de los procesos en un matadero.

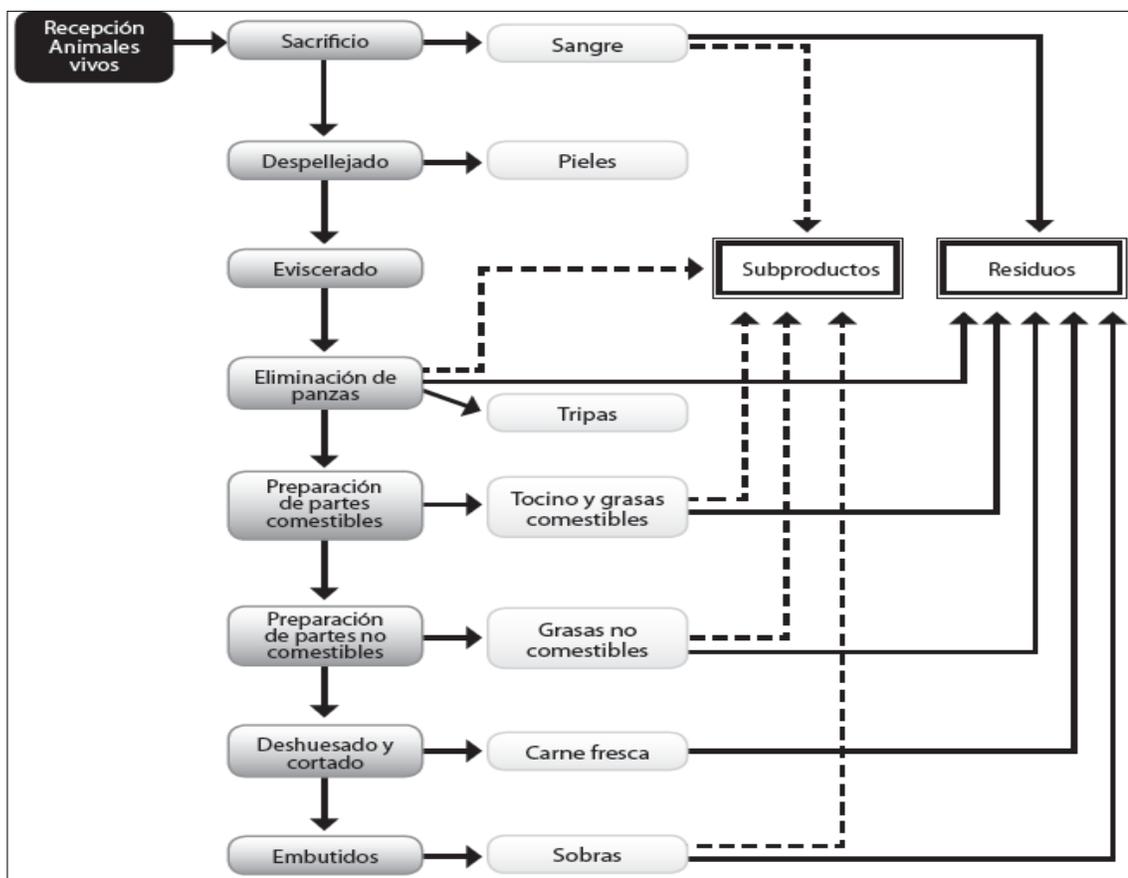


Ilustración 9: Esquema típico de los procesos en un matadero, 2011

Fuente: Guía para Buenas Prácticas Ambientales en Mercados y Mataderos. Taveras.

2.2.2.2. Descripción de los procesos

- **Recepción y estabulación del ganado:** En esta etapa se recibe al ganado en donde es inspeccionado en búsqueda de síntomas o evidencias de enfermedades. Esto se realiza mediante una inspección visual generalmente por un médico veterinario y en ciertas ocasiones (sobre todo en aquellos lugares donde se ha emitido una alerta sanitaria), se puede requerir realizar exámenes de laboratorio; en estos casos es importante que el lugar cuente con establos o cercos de aislamiento (Taveras, M., et. Al, 2011)

- **Sacrificio del ganado y operaciones preparatorias:** En esta fase se realizan las operaciones para sacrificar al animal y para la obtención de productos cárnicos. Estas operaciones son:
 - **Aturdimiento:** En donde se provoca la pérdida de conciencia del animal, con esto se busca que el animal no sufra durante el proceso de desangrado y además al no paralizarse el corazón, pueda realizarse de mejor manera el desangrado. En el caso del ganado porcino generalmente se lo realiza mediante un choque eléctrico, y para el ganado bovino se recomienda el uso de una pistola neumática o de perno cautivo. (Perez, 2010)

 - **Desangrado y Sacrificio:** El desangrado se provoca mediante un corte en el cuello con un cuchillo, o algún otro elemento corto punzante. Generalmente se deja al animal en ese mismo sitio para que se desangre. Esto se lo realiza con el animal colgado para un correcto desangrado y posteriormente se lo lava para el siguiente paso. (Perez, 2010).

Para una buena evacuación de la sangre se recomienda un tiempo de 6 a 9 minutos para un bovino, y de 3 a 4 minutos para un porcino. La cantidad media de sangre por bovino es de 10 a 12 litros y para los porcinos de 3 litros. No se debe permitir que la sangre penetre en el sistema de drenaje ya que es sumamente putrescente y difícil de eliminar en el tratamiento de las aguas residuales. (Veall , s/f)

- **Despellejado o desollado:** Consiste en retirar la piel del animal. Esta actividad se la realiza por etapas, iniciando por las partes de la piel de las extremidades, cuello, piel de brazos y piernas, y con la parte abdominal (Perez, 2010).
- **Eviscerado:** En donde se retiran los órganos internos de interés (hígado, corazón, riñones, creadilla, estómago) y partes secundarias comestibles (lengua, cabeza, patas) (Taveras, M., et. Al, 2011)
- **Corte de la canal:** En donde se procede a la división de la canal en dos mitades con ayuda de sierras de mano o automáticas. (Perez, 2010)
- **Lavado final:** Se realiza mediante chorros de agua potable a presión, para que pueda retirarse manchas de sangre o suciedades provenientes de los pasos anteriores. (Perez, 2010)
- **Manipulación y transformación de los productos cárnicos:** Generalmente los mataderos municipales ofrecen su servicio hasta la fase anterior, entregando los productos a las carnicerías o a los dueños del ganado.

En esta etapa las carnes son preparadas, limpiadas y congeladas. Algunas plantas empacadoras procesan aún más la carne, elaborando más piezas de la carne, cocinando, ahumando, sazonando, etc. (Taveras, M., et. Al, 2011)

2.2.3. Impactos ambientales

De acuerdo a Garzón Alvear (2010) el procesado de carne genera en cada una de sus etapas, diferentes problemas ambientales, debido a un alto consumo de agua y energía, genera residuos sólidos y descarga de efluentes líquidos con una carga contaminante bastante elevada entre la que encontramos sangre, heces, orina, etc. Además se genera ruido, impacto visual (pérdida de paisaje) y malos olores.

Por supuesto esto se producirá si no hay un buen control por parte de las autoridades tanto municipales y ambientales que son las encargadas del control, monitoreo y funcionamiento de los centros de faenamiento.

La contaminación ocasionada en una planta de procesamiento de carne se produce en todas las etapas del proceso productivo. En el camal de Cuenca pasa lo mismo, pero existen áreas en las que la contaminación es mayor y son las siguientes:

- **Área de Corrales:** Aquí permanece el ganado en espera de inspección por parte del veterinario y del turno para el faenamiento. En esta área se producen desechos como purines y estiércol. Los mismos que son recogidos y acumulados en la parte posterior del camal.

- **Área de Faenamiento o Matanza:** En esta área se realiza la inspección ante mortem¹¹ y posteriormente el sacrificio, desangrado, descuerado y eviscerado de los animales. En el caso de los cerdos además se realiza el proceso de escaldado y depilado.

Este es el proceso más crítico en cuanto a contaminación, ya que es aquí en donde se produce la mayor cantidad de residuos. Se genera sangre, contenido ruminal, efluentes líquidos, malos olores, ruido, desechos sólidos y vectores.

Los desechos sólidos como pedazos de vísceras, pelos, cachos y cabeza son recogidos y dispuestos en los contenedores de la EMURPLAG.

Los efluentes líquidos se descargan hasta la red de alcantarillado interno y de allí van hasta el sedimentador. Una vez retenidos los sólidos se descargan al interceptor de ETAPA.

El contenido ruminal y la sangre son bombeados y llevados hasta la planta de compost, en donde se procesa el 50% y el otro 50% se procede a desecarlo para que pierda humedad y luego entregarlo a la EMAC para su disposición final.

¹¹ La revisión visual por parte del veterinario tanto de bovinos como porcinos antes del faenamiento se conoce como inspección ante mortem.



Ilustración 10: Sistema de recolección de las aguas industriales, con rejillas y un colector final hacia el sedimentador,

Fuente: Diagnóstico Ambiental a la EMURPLAG. (2010).

Para la realización de compost se utiliza la sangre y el contenido ruminal de los animales faenados, los cuales son bombeados desde el área de faenamiento hasta la planta de compostaje en donde permanecen alrededor de 8 semanas para su descomposición. Estos desechos tienen en un inicio una humedad del 90% y al final del proceso baja a un 20%. Los lixiviados procedentes de la realización del compost son conducidos hacia un sedimentador.

2.2.3.1. Recursos implicados

A continuación se detallan los componentes ambientales afectados por los procesos productivos del camal. Como se puede ver el mayor impacto se da al agua, por lo que esta problemática será la que más se desarrolle.

2.2.3.1.1. Energía

Debido a las diferentes etapas del proceso productivo del camal y de la gran demanda de energía para su funcionamiento, se genera un impacto ambiental importante.

Según CPmL-N (s/f) La mayor parte de energía utilizada proviene de energía térmica (80 al 85 %) que es utilizada en la combustión de calderos para calentar el agua de limpieza, despellejado, etc. generando emisiones de gases de efecto invernadero directamente hacia la atmosfera. El otro 15 – 20% restante pertenece a la energía eléctrica utilizada principalmente para el funcionamiento de equipos y maquinarias del camal (refrigeración, ventilación, aire comprimido, etc.)

En la tabla 8 se puede ver el consumo de diésel que la EMURPLAG utiliza en sus calderos con fines de producción industrial de calor para la generación de vapor.

Actividad	Combustible/Diésel	Duración
Proceso de Faenamiento	1000 galones	Tres meses

Tabla 8: Consumo de Diésel Emurplag.

Fuente: Diagnóstico Ambiental a la EMURPLAG. (Clavijo, 2010)

2.2.3.1.2. Aire

En cuanto al componente aire Garzón Alvear (2010) y Taveras (2011) dicen que los impactos ambientales al aire y atmosfera son causados en el proceso productivo a causa del almacenamiento de desechos, descomposición de la materia orgánica, estiércol, sangre, intestinos, pelo, provocando no solo malos olores, sino también una disminución de la calidad del aire por las emisiones de amoniaco y metano que se generan.

La contaminación acústica se da por el ruido generado por los animales, maquinaria en funcionamiento y la movilidad de los usuarios (transporte, tráfico).

2.2.3.1.3. Suelo

Los residuos sólidos que se generan en las plantas de sacrificio son pellejos, desechos de recortes, estiércol y grasas.

“Del 20 al 50% del peso del animal en pie, no es apto para el consumo humano. La mayor parte de los desechos son putrescibles y deben manejarse cuidadosamente para prevenir los malos olores y enfermedades.” (Garzón Alvear, 2010)

En el camal municipal se puede observar la presencia de desechos sólidos generados por la recolección de materia orgánica.

Existen grandes impactos ambientales al ser un porcentaje elevado de materia orgánica la resultante del proceso productivo del camal. Entre los posibles impactos están (Taveras, M., et. Al, 2011):

- Pérdida temporal de la fertilidad del suelo debido a la gran acumulación de nitrógeno proveniente de la materia orgánica.
- Obstrucción de los poros del suelo, debido a la formación de complejos entre materia orgánica e inorgánica.
- Bioacumulación de materia orgánica.
- Intoxicación por acumulación de metales presentes en productos zoonos. El hierro, cobre y manganeso son los principales metales que pueden estar contenidos en los purines y que a altas concentraciones pueden resultar tóxicos.

2.2.3.1.4. Agua

El agua es utilizada antes, durante y después de la matanza del ganado, convirtiéndose en el principal problema ambiental de este proceso productivo. Esto se debe a los estándares de calidad e higiene que demanda la industria alimentaria teniendo que usar agua fresca para estos procesos. Los usos más comunes son: (CPmL-N, s/f)

- Lavado de ganado previo a la matanza.
- Lavado y limpieza de las instalaciones antes durante y después de la matanza.
- Lavados de utensilios y equipos antes y después de la matanza.
- Limpieza de tripas, panzas y vísceras.
- Lavado de desechos sólidos.
- Lavado de productos y subproductos.

El consumo va a ser variable de acuerdo a diferentes parámetros, como por ejemplo los equipos utilizados, mantenimiento de las instalaciones, especie de animal a sacrificar, practica de los operarios, etc. “En un matadero se necesitan de 1 000 a 1 200 litros de agua por res procesada.” (Veall , s/f)

Los efluentes generados en un camal comprenden entre el 85 y 95% del consumo de agua de la planta (CPmL-N, s/f). Están constituidos generalmente por sangre, orina, estiércol, grasa, pelo, huesos entre otros. La composición de los efluentes procedentes de las plantas de sacrificio dependerá del proceso de producción y de los pre-tratamientos que se realicen en cada uno de estos. (Garzón Alvear, 2010)

Normalmente estos efluentes tienen altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno, su relación promedio de DQO; DBO; N^{*12} (INTEC, 1998) es de 12:4:1.

¹² Corresponde a las siglas de Demanda Química de Oxígeno: Demanda Bioquímica de Oxígeno: Nitrógeno

Los valores típicos para la carga orgánica descargada en el efluente es de 12 -15 kg DQO por tonelada del peso vivo de la res, siendo la sangre el efluente que mayor concentración aporta por litro a la DBO con valores entre 150,000 - 200,000 mg/l, y en casos extremos hasta 405,000 mg/l (UNEP. Danish Environmental Protection Agency, s/f)

Estos residuos líquidos anteriormente nombrados son generados en (Programa Ambiental Nacional ANAM-PAN-BID, 2005):

- a) Los corrales de reposo, por aguas de lavado, materia fecal y orina del ganado.
- b) Área de desangrado.
- c) Operaciones de remoción de cueros, pelo y otras partes no comestibles.
- d) Procesamiento de la carne, vísceras e intestinos; éstas aguas pueden contener sangre, grasa, fango, contenido intestinal, pedazos de carne, pelo y desinfectantes.
- e) La operación de trozado de la carne genera sólidos que caen al piso, que se adhieren a cuchillos y equipos, los que luego son eliminados en la operación de limpieza.

La caracterización de los efluentes para el caso de la matanza de reses y la matanza de cerdos, respecto a sus concentraciones típicas por litro de agua, se muestran la siguiente tabla:

PARÁMETRO.	MATANZA DE CERDOS.	MATANZA DE RESES.
DBO5 (ml/L)	1250	2000
DQO (mmg/L)	2500	4000
Sólidos Suspendidos (mg/L)	700	1600
Nitrógeno total (mg/L)	150	180
Fósforo total (mg/L)	25	27
Grasas y aceites (mg/L)	150	270
pH	7,2	7,2

Tabla 9. Indicadores de concentraciones en los efluentes de un matadero industrial, 2014.

Fuente: Cleaner Production Assessment in Meat Processing” UNEP (s/f).

Impactos generados.

Los impactos generados por los efluentes líquidos se deben principalmente a la carga orgánica que contienen, dando como consecuencia (Taveras, M., et. al, 2011) :

- Disminución de la concentración de oxígeno de la masa de agua.
- Desaparición de ciertas especies acuáticas.
- Descomposición anaeróbica y producción de sustancias tóxicas, como el Sulfuro de Hidrógeno (SH₂), el amoníaco (NH₃) y el dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Eutrofización de las masas de agua.
- Aumento de la concentración de ciertas sustancias potencialmente dañinas para el hombre.
- Aumento de la turbidez y como consecuencia, reducción de la fotosíntesis.

- Contaminación del agua por Metales pesados y compuestos farmacológicos zoosanitarios.

2.2.4. Medidas y opciones de mejora

Como se puede ver, en cada proceso de obtención de carne se produce contaminación y descargas al agua. Por lo que la primera medida a tomar en cuenta, es una revisión de los procesos y la realización de un plan de buenas prácticas ambientales y operativas. Esto con el fin de mejorar en todo sentido las condiciones de las instalaciones, los procesos, y hacerlos más efectivos sin desperdiciar recursos y por ende evitar que se siga contaminando de una manera descontrolada el ambiente.

Acciones como la racionalización del uso del agua para la reducción del volumen, captación de ciertos tipos de efluentes para llevar al tratamiento o para la obtención de subproductos, etc. para lograr la disminución de la cantidad de líquido y contaminación. Además de facilitar tanto económicamente como en eficacia el tratamiento del efluente resultante.

La separación de la sangre de la corriente de los efluentes es primordial ya que disminuye la cantidad de agua a tratar, y además contiene una carga orgánica elevada que puede causar eutrofización, evitando problemas en el momento de realizar un tratamiento estándar del agua, ya que no están diseñados para remover altas cantidades de carga orgánica. Por lo que se hace preciso que la recolección de sangre sea el más adecuado, para así recuperar la mayor cantidad posible de este desecho y buscarle el mejor tratamiento para su disposición final.

La sangre recuperada puede ser procesada posteriormente para la preparación de compost, fertilizante, harina de sangre o para la producción de biogás producto de la digestión anaeróbica de la materia orgánica.

2.3. QUITOSANO

El quitosano es un polisacárido que se obtiene de la Quitina, la cual se encuentra en estado natural formando las paredes celulares de crustáceos, insectos, hongos, etc. Por su gran versatilidad se lo utiliza para múltiples propósitos y en muchas áreas como química, biomedicina, agricultura y ganadería, cosméticos, tratamiento de aguas, etc. (Lárez, 2003)

Para fines comerciales el quitosano se obtiene principalmente de la quitina presente en los crustáceos por la cantidad de residuos de los mismos y son más fáciles de obtener.

“La pesca comercial de crustáceos y su proceso subsiguiente, generan grandes cantidades de residuos sólidos que se convierten en un problema ambiental si no se tratan adecuadamente (Gildberg y Stenberg, 2001).” (Citado en L. Sastoque Cala et.al, 2007). Motivo por el cual el re-uso de los residuos sólidos para la fabricación de una amplia gama de productos, generan beneficios ambientales y económicos importantes.

2.3.1. Historia

Por su amplia distribución en la naturaleza, la quitina es el segundo polisacárido en abundancia después de la celulosa, caracterizado por ser insoluble en agua o en un medio ácido.

Fue descubierta por Braconnot en 1811 cuando estudiaba las sustancias derivadas del “*Agaricus volvaceus*” y otros hongos. Posteriormente E. Odier, en un artículo, reportó que había encontrado en algunos insectos (escarabajos) la misma sustancia que forma parte de la estructura de las plantas, llamándola “quitina” (del griego tunic, envoltura) (Peniche Covas, 2006). Debido a la época en la que se realizó este interesante descubrimiento y a causa de las limitaciones tecnológicas, no se logró analizar el potencial que tenía el mismo.

Con el paso del tiempo en el siglo XX, Emil Fischer, Paul Karrer y Walter Haworten obtuvieron avances en la obtención de la quitina y a finales de siglo en Europa y Japón se pudo ir vislumbrando con una mayor profundidad las cualidades tanto de la quitina como del quitosano.

La quitina es un compuesto insoluble en la mayoría de los disolventes comunes, la quitina fue más bien una curiosidad de laboratorio durante mucho tiempo. Sin embargo en la actualidad han pasado de ser simples polímeros experimentales, a tener una gran aplicabilidad en diversos campos de la actividad humana.

2.3.2. Quitina y sus derivados

La quitina es blanca, dura, inelástica y es considerada una de las mayores fuentes de contaminación superficial de las áreas cercanas al mar, su fórmula general es $C_8H_{13}O_5N$. Se caracteriza por tener un gran peso molecular que la hace insoluble en agua, lo que genera un inconveniente para su desarrollo y procesamiento. (Nieto & Orellana, 2011). Se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, tanto en el reino animal como en el vegetal.

Es uno de los componentes principales que se encuentran en las paredes de hongos y del resistente exoesqueleto de los artrópodos (arácnidos, crustáceos e insectos); siendo este exoesqueleto proveniente de los crustáceos la principal fuente de quitina, estando asociada con las proteínas, sales inorgánicas y lípidos.

Este polímero está compuesto por amino azúcares unidos entre sí por enlaces glicosídicos $\beta(1\rightarrow4)$ formando una cadena lineal de unidades de N-acetil-2-amino-2-desoxi-D-glucosa algunas de las cuales se encuentran desacetiladas.

En la Ilustración 11 se observa la gran similitud estructural que existente entre la quitina y la celulosa, la diferencia entre ambas se encuentra en que el carbono 2 contiene un grupo hidroxilo en la celulosa y un grupo acetamida en la quitina. Ambos biopolímeros desempeñan roles semejantes, ya que actúan como materiales de soporte y defensa en los organismos que los contienen.

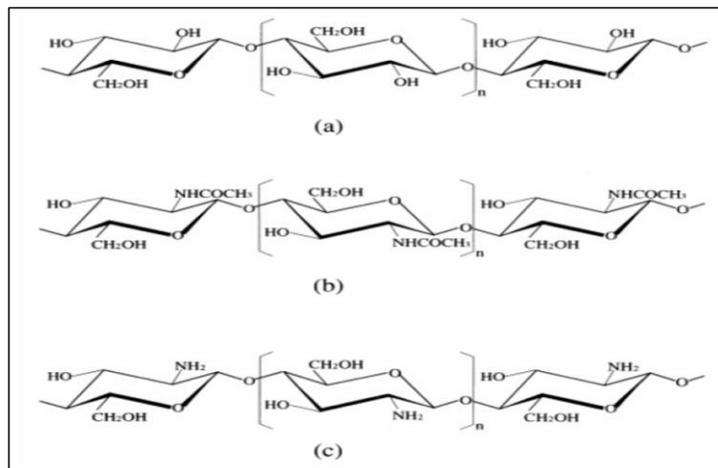


Ilustración 11: Similitud entre cadenas de: (a) celulosa, (b) quitina acetilada, y (c) quitosano desacetilada. 2006.

Fuente: Estudios sobre quitina y quitosano. Peniche Covas

Se estima que solamente la cantidad de quitina de crustáceos presente en el medio marino asciende a 1 560 millones de toneladas (Cauchie, H.M., 1998). En la tabla 10 se observan las principales fuentes de materia prima comúnmente más explotadas en el mundo.

Origen	Composición Química (%)				
	Humedad	Proteínas	Cenizas	Lípidos	Quitina
Caparazones de jaiba y cangrejo					
• <i>Callinectes sapidus</i>	46.8	7	38.5	0.4	7.3
• <i>Paralithodes camtschaticus</i>	50	11	23	0.5	15.5
• <i>Chionectes opilio</i>	---	10.3	57.9	1.35	26.65
Camarón (langostino)					
• <i>Penaeus spp.</i>					
Cabeza	77.04	12.9	5.2	2.06	2.8
Cáscara	65	22.1	9.2	0.5	6.2
Krill					
• <i>Euphasia superba</i>	---	41	23	11.6	24
Langosta					
• <i>Linuparus trigonus</i>	13.5	17.0	54.7	---	---
• <i>Panulirus argus*</i>	11.8	11.0-14.0	55.0	---	10.6
Pluma de calamar					
• <i>Dosidicus gigans</i> (calamar gigante)	60	24.16	0.4	0.26	18.9
• <i>Loligo spp.</i> (calamar común)	50	32.75	0.25	---	17

Tabla 10: Composición química de fuentes de obtención de quitina/quitosano.

Fuente: Estudios sobre quitina y quitosano, Habana – 2006

2.3.3. Quitosano

Para Peniche Covas (2006) el quitosano es un polisacárido lineal que se obtiene por desacetilación de la quitina. Está compuesto por dos diferentes unidades estructurales las cuales se encuentran unidas entre sí por enlaces glicosídicos.

En la ilustración 12 se muestra la estructura del quitosano totalmente desacetilado. Sin embargo, resulta complicado desacetilar totalmente la quitina, y lo que usualmente se conoce como quitosano es una familia de quitinas con diferente grado de desacetilación.

En la guía para el aprovechamiento de los subproductos de pescado (2012) dice que “El grado de desacetilación mínimo para que una quitina sea considerada quitosano es un 65%”.

La capacidad del quitosano de disolverse en soluciones acuosas diluidas de ácidos es el criterio comúnmente aceptado para diferenciarla de la quitina.

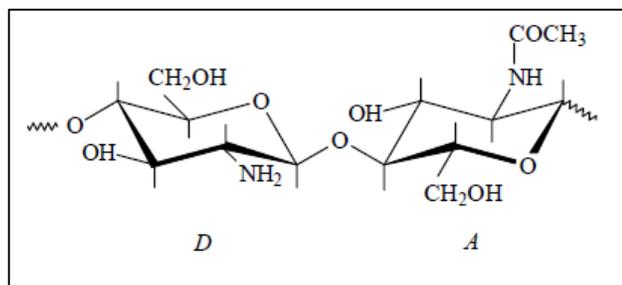


Ilustración 12: Unidades repetidas de monosacáridos $\beta(1\rightarrow4)$ enlazadas (a) quitina totalmente acetilada y (D) quitosano totalmente desacetilado.

Fuente: Estudios sobre quitina y quitosano, Habana – 2006

2.3.3.1. Obtención del quitosano

Existen diversos procesos para la obtención del quitosano, los mismos que incluyen descalcificación y desproteínización, tratamientos con ácidos y bases fuertes, modificación de sus propiedades con diferentes temperaturas, tiempos de reacción, concentración de ácidos y bases fuertes, modificación de sus propiedades con diferentes temperaturas, tiempos de reacción, concentración de ácidos y bases. En la ilustración 13 se observa un esquema elemental para la obtención del quitosano.

Para la obtención del quitosano, primero se debe purificar la quitina obtenida de los crustáceos mediante la separación de carbonato de calcio (descalcificación), de las proteínas (desproteínización) y de otras sales minerales (desmineralización). Luego el quitosano es obtenido por medio de procesos químicos o enzimáticos, el método más utilizado es la desacetilación.

Generalmente la quitina es obtenida a partir de los exoesqueletos de crustáceos, especialmente del camarón sin embargo la extracción del polímero se ve limitada, debido a la escasez del material residual en ciertas temporadas del año o tiempos de veda. Por esta razón, se utilizan fuentes de partida no convencionales como los hongos. El micelio de varias especies de hongos, ha sido empleado como fuente alternativa para la obtención del quitosano.

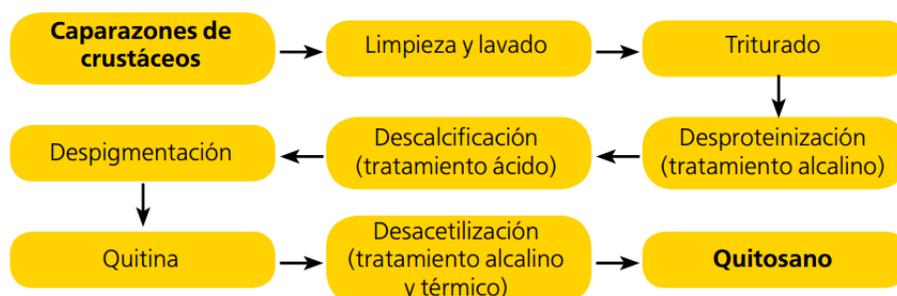


Ilustración 13. Diagrama de flujo del proceso de obtención de quitosano.

Fuente: Guía para el aprovechamiento de los subproductos de pescado para la obtención de productos funcionales y bioactivos. 2012

Las principales propiedades físico-químicas del quitosano que determinan sus propiedades funcionales son su grado de desacetilación y su peso molecular promedio.

- **Grado de acetilación:** El grado de acetilación (AD) se define como el contenido de residuos N-acetilglucosamina presentes en la cadena polimérica de quitosano, expresado en tanto por ciento. El porcentaje de grupos amino libres indica el grado de desacetilación (DD). En el caso del quitosano comercializado, este valor habitualmente se sitúa en el rango del 70 - 95%, siendo difícil alcanzar rendimientos de desacetilación superiores sin que se degrade la estructura polimérica. (Díez Municio, 2010)

Químicamente, la quitina y el quitosano son poliglucosaminas que son distinguidas solamente por el grado de la acetilación de los grupos amino. Las quitinas típicas tienen generalmente grado de acetilación (AD) entre 70-95% que corresponde a un contenido de acetilo de un 15-20.7% mientras que el quitosano tiene comúnmente un grado de acetilación entre 15-25% que corresponde 3.2 - 5.3 % del contenido de acetilo. El grado de acetilación es probablemente el parámetro más importante de estos polisacáridos y determina considerablemente sus características funcionales y fisiológicas.

- **Peso molecular y viscosidad:** Como el quitosano es obtenido de la quitina por desacetilación alcalina, el peso molecular tiene un promedio más bajo al extenderse generalmente entre 1×10^5 y 3×10^5 u. El quitosano exhibe una amplia gama de viscosidades en los medios ácidos diluidos que dependen principalmente de su peso molecular.

El quitosano es un producto altamente viscoso similar a las gomas naturales. La viscosidad puede variar de 10 a 5000 cP¹³. En solución, debido a su comportamiento polielectrolítico, en dependencia de la fuerza iónica del medio, se comporta de manera diferente, lo cual influye notablemente en la viscosidad de la disolución. Debido a la alta viscosidad del quitosano en sistemas de $\text{pH} < 5.5$ puede emplearse como espesante, estabilizante o agente de dispersión.

Como consecuencia de la hidrólisis del grupo N-acetilo, aumenta la capacidad hidrofílica del quitosano y pasa a ser soluble en soluciones ácidas diluidas (acético, fórmico, clorhídrico, entre otros). La protonación de los grupos amino del quitosano en medio ácido le confiere un carácter altamente reactivo (Harris R., 2010).

2.3.3.2. Características Físico/Químicas del Quitosano

Debido a la presencia de grupos amino en la cadena polimérica, el quitosano es un material muy versátil, tiene la capacidad de realizar varias modificaciones como reacción con enzimas y obtención de películas biodegradables, reacciones de injerto, etc.

¹³ Centipoise. El agua tiene una viscosidad de 1,0020 cP a 20 °C.

debido a la presencia de estos grupos amino libres tiene la propiedad de protonarse y por lo tanto ser solubles en medios ácidos aumentando su reactividad, siendo su característica principal la inocuidad en la salud humana.

El quitosano es un polisacárido catiónico y se une de forma electrostática a las moléculas con carga eléctrica negativa, formando largos polímeros que en el cuerpo humano no puede ser atacado por los jugos gástricos, y son eliminados directamente por las heces, ya que el quitosano no es digerible.

Quitosano tiene puede formar un gel con alta capacidad de adsorción. Es biodegradable y tiene propiedades anti fúngicas y antibacterianas, inhibiendo el crecimiento microbiano formando films o películas comestibles.

Las propiedades ácido-base del quitosano conducen a la protonación o adición de los grupos amino con pH ácidos. Estas propiedades catiónicas del quitosano hacen que el polímero sea muy eficiente en la adsorción de iones metálicos por interacciones electrostáticas. (Dias de Apodaca, Perez, & Ramirez, 2007)

2.3.3.3. Usos del Quitosano y tratamiento de aguas.

El quitosano se puede aplicar en muchas áreas de producción, por ser biodegradable, biocompatible, de baja toxicidad, entre otras características descritas anteriormente. Los principales usos se aplican en: Tratamiento de aguas residuales, Industria alimentaria, Medicina, Biotecnología, Agricultura, Cosmética, Industria papelera, Tecnologías de membrana, alimentos nutraceuticos, Industria textil.

Se ha demostrado que oligómeros de quitina y quitosano, tienen actividades antitumorales, inmunoregulatoras, antibacterianas entre otras, además en el área ambiental, como promotor para la remoción de compuestos tóxicos, como metales pesados y colorantes. (Lárez, 2003)

También el quitosano y otros derivados de este, originados en la producción de camarón, han demostrado efectividad en el tratamiento de agua con altos contenidos de ácidos húmicos (Vargas & Romero, 2006).

Tiene la capacidad para coagular sustancias coloidales gracias a la presencia de los grupos amino, además su uso permite aumentar la acción de coagulantes inorgánicos convencionales (Gacén y Gacén 1996).

A continuación se describen brevemente algunos usos de los productos derivados del quitosano en diferentes industrias:

En la *Agricultura* para el recubrimiento de semillas para su conservación durante el almacenamiento, como sistemas liberadores de fertilizantes y agente bactericida y fungicida para la protección de plántulas (inicio de las plantaciones).

En *Medicina* para la producción de suturas quirúrgicas a partir de quitina, producción de gasas y vendajes tratados con quitosano, cremas bactericidas para el tratamiento de quemaduras. Los productos derivados de la quitina y el quitosano han sido usados desde la antigüedad como acelerante en la cicatrización de heridas.

En el área *Cosmética* para la fabricación de cápsulas quita grasas, aditivo bactericida en jabones, champús, cremas de afeitar, cremas para la piel, pasta dental, etc. Agente hidratante para la piel.

Biosensores: son numerosísimas las aplicaciones del quitosano en este campo, especialmente como soporte para la inmovilización de enzimas sensibles a un sustrato específico. Un ejemplo de esto es un sensor para glucosa en sangre humana, basado en la inmovilización de la enzima glucosa oxidasa sobre quitosano, usando adicionalmente Azul de Prusia.

En el *área ambiental* como coagulante primario para el tratamiento de aguas residuales. Floculante para la remoción de partículas coloidales sólidas y aceites de pescado, tratamiento de captura de metales pesados en soluciones acuosas, etc.

2.3.4. Tratamiento de aguas con Quitosano

El proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales se basa en un tratamiento químico inicial a base de coagulantes y floculantes para remover la mayoría de contaminantes. En la actualidad el quitosano se ha utilizado ampliamente por ser un producto amigable ambientalmente, presentado resultados positivos como: coagulante primario para aguas residuales de alta turbidez y alcalinidad, floculante para la remoción de partículas coloidales sólidas y aceites., por capturar metales pesados y pesticidas en soluciones acuosas (Lárez, 2006). Además de Remoción de fenoles, PCBs y colorantes.

Se ha descrito como un polímero catiónico lineal, biodegradable, no tóxico, de alto peso molecular y de fácil aplicación (Lárez 2006, Niquette *et al.* 2004).

Se ha demostrado su efectividad como coagulante en una variedad de aguas residuales tales como avícolas, lácteas, industria alimentaria y de cárnicos (Meyers 2000). Así como también en aguas naturales con diferentes valores de turbidez (Divakaran y Pillai 2002)

Varios estudios demuestran que el quitosano es un coagulante y floculante eficaz en el tratamientos de aguas residuales industriales, con reducciones del 70 % al 98 % del material suspendido, y del 55 al 80% de la demanda química de oxígeno, según (Nieto & Orellana, 2011)

2.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esta manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

El diseño de experimentos se puede aplicar en el campo de la investigación ya que permite generar nuevas ideas y respuestas a las interrogantes que tiene el investigador sobre su estudio.

La idea de un diseño de experimentos, es dejar de lado el ensayo prueba-error, es decir, no esperar a que el proceso envíe señales, sino que se manipulan los procesos para que proporcione la información que se requiere para mejorar, y así responder las inquietudes o hipótesis en menores espacios de tiempo y con pocos recursos.

Así como existen diversos tipos de problemas o situaciones, existen varios diseños experimentales para poder solucionarlos. En la siguiente ilustración se muestra la clasificación general de los diseños de experimentos.

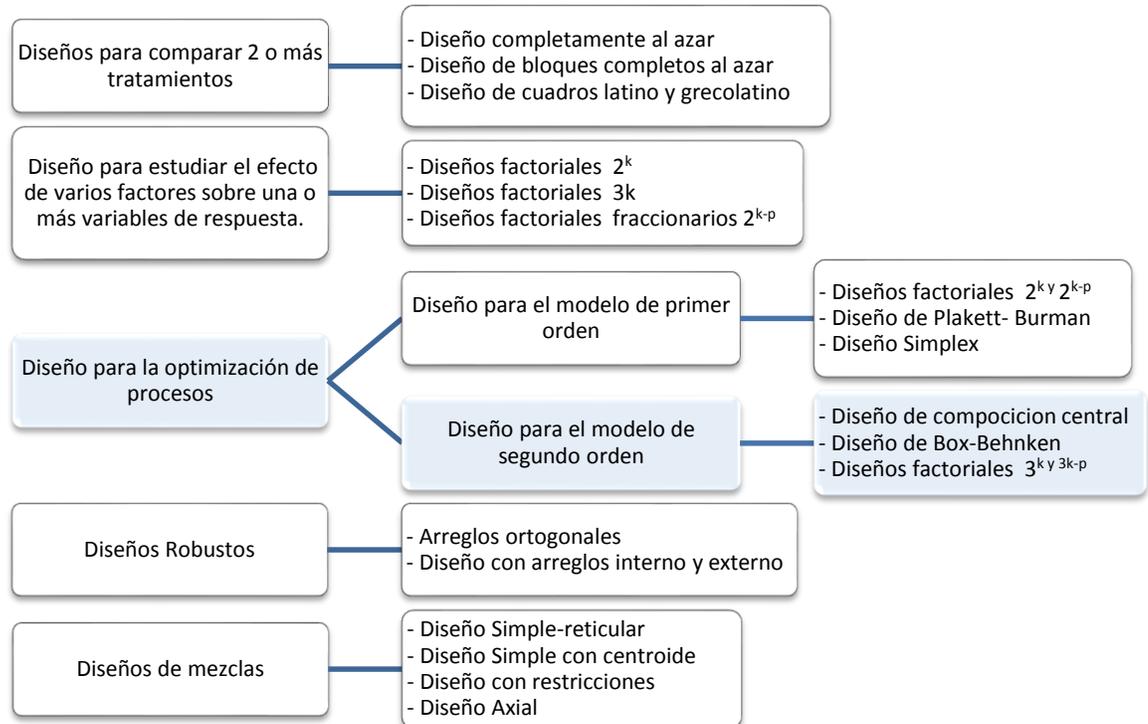


Ilustración 14: Descomposición de los diseños experimentales.

Fuente: (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

Dentro de los diseños para la optimización de procesos encontramos la metodología de superficie de respuesta - **Box-Behnken**- que nos ayuda a determinar un *punto óptimo* de operación en un proceso, y de la cual se amplía información a continuación.

2.4.1. Diseño de Box-Behnken

El diseño de Box-Behnken se aplica cuando se tiene tres o más factores¹⁴ y suelen ser eficientes en el número de corridas. En la siguiente tabla se muestran los tratamientos del diseño para cuatro factores y tres niveles¹⁵.

N°	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0
3	-1	1	0	0
4	1	1	0	0
5	0	0	-1	-1
6	0	0	1	-1
7	0	0	-1	1
8	0	0	1	1
9	0	0	0	0

N°	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
10	-1	0	0	-1
11	1	0	0	-1
12	-1	0	0	1
13	1	0	0	1
14	0	-1	-1	0
15	0	1	-1	0
16	0	-1	1	0
17	0	1	1	0
18	0	0	0	0

N°	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
19	0	-1	0	-1
20	0	1	0	-1
21	0	-1	0	1
22	0	1	0	1
23	-1	0	-1	0
24	1	0	-1	0
25	-1	0	1	0
26	1	0	1	0
27	0	0	0	0

Tabla 11: Diseño Factorial de Box-Behnken para cuatro factores con tres niveles

Fuente: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-40652007000200007&script=sci_arttext

2.4.2. Metodología de Superficie de respuesta

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es una estrategia experimental que permite mediante modelación encontrar las condiciones óptimas de operación de un proceso, y por lo tanto optimizarlo a un menor costo de experimentación. (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

¹⁴ Los factores hacen referencia a las variables a analizar en un experimento. Ej.: dosificación, temperatura, pH, tiempos, etc.

¹⁵ Los niveles hacen referencia a los valores de cada uno de los factores. Ej.: valores de pH a utilizar en la experimentación.

Esta metodología ha sido utilizada en industrias, en donde después de determinar las variables relevantes en el estudio se realiza una siguiente etapa experimental con el fin de optimizar dicho proceso (Reyes, 2006).

En la MSR la *Región experimental* es el espacio que se encuentra delimitado por los rangos de experimentación utilizados con cada factor y la *Región de operabilidad* está delimitada por el conjunto de condiciones donde el equipo o proceso puede ser operado, ya que considera todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores donde el proceso puede operarse y esta siempre es igual o mayor que la región experimental.

Como podemos ver en la ilustración 15. El cubo mayor representa las regiones de operabilidad, y el cubo menor la región experimental.

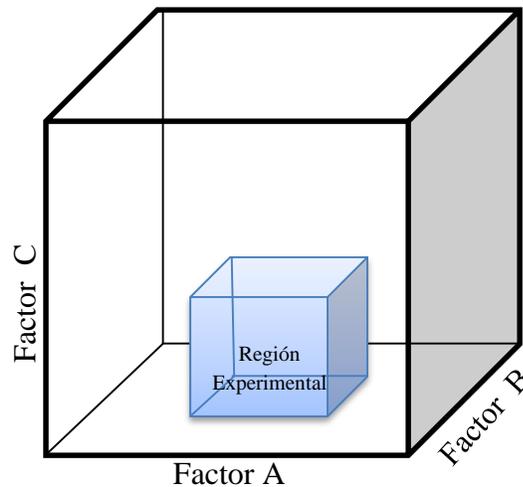


Ilustración 15: Ejemplo de regiones en una MSR

Fuente: (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

Es importante saber que el punto óptimo buscado puede encontrarse en cualquier lugar de la región experimental o de operabilidad, por lo que es importante conocer los procesos y así determinar de la mejor manera la región experimental, para que el punto óptimo se encuentre dentro del mismo.

El punto óptimo hace referencia a la mejor combinación de factores posible en toda la región de operabilidad, lo cual requiere de estrategias más complejas y de la realización de varios experimentos en forma secuencial, ya que en la práctica la realidad del proceso no se conoce y no sabe en dónde está el punto óptimo, y solo se dispone de información obtenida en la región experimental para inferir hacia donde se debe continuar explorando. (Gutiérrez & de la Vara, 2008)

La meta de una metodología de superficie de respuesta es encontrar una función con la cual se pueda predecir la respuesta futura y hallar los niveles de las variables de entrada para los cuales la respuesta es optimizada. (Reyes, 2006)

2.4.3. Función de aproximación en la superficie de respuesta de segundo orden.

En la superficie de respuesta de segundo orden se busca identificar la región que contenga la solución óptima. Esto se hace probando la curvatura del modelo de segundo grado.

En la MSR se asume que la relacional funcional:

$$Y = f(x, \theta) + \epsilon \quad 1$$

es desconocida. Las variables x_1, x_2, \dots, x_k , son centrada y convertidas en unidades de diseño y se aplica el siguiente modelo:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_i \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad 2$$

Este es el modelo de superficie de respuesta de segundo orden.

“La superficie de respuesta es una función escalar con una presentación matricial asociada, que se optimiza haciendo uso de la función de cálculo diferencial aplicado y el álgebra matricial” (Torres, Chacín, García, & Ascanio, 2003)

Permite determinar los factores que están incidiendo en la variable respuesta de interés y encontrar los niveles de los factores que producen la respuesta óptima.

El proceso de análisis canónico¹⁶ consiste en analizar la naturaleza del punto estacionario del modelo ajustado.

Trasladando el sistema de coordenadas con centro en el origen $(0,0,\dots,0)$ mediante la utilización de matrices, y llevándolo al nuevo centro del sistema constituido por el punto estacionario (x_0, y_0)

¹⁶ El objetivo del método de análisis multivariante desarrollado por Harold Hotelling es buscar las relaciones que pueda haber entre dos grupos de variables y la validez de las mismas.

El modelo reducido a su forma canónica es:

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 W_1^2 + \lambda_2 W_2^2 + \dots + \lambda_n W_n^2$$

donde las W_i , $i = 1, 2, \dots, n$, es el nuevo sistema de coordenadas. Así, analizar la naturaleza del punto estacionario es determinar los valores de las matices. Esta naturaleza puede ser de tres clases:

- Punto Máximo: Cuando los valores en (x_0, y_0) son negativos.
- Punto Mínimo: Cuando los valores en (x_0, y_0) son positivos.
- Punto Silla: Cuando existe un valor positivo y uno negativo.

Arturo de Zan expone en su trabajo doctoral que para el punto máximo y mínimo, el punto estacionario definirá las coordenadas optimas del sistema, pero que para un punto silla esto va a ser indicador de la presencia de dos regiones distintas que contienen máximos lo que indica que se está en presencia de dos mecanismos bien definidos y diferentes de comportamiento del sistema.

Para esta investigación tenemos como resultado del punto estacionario¹⁷:

¹⁷Los valores para las derivadas son el resultado de varias operaciones con matrices. Por no ser este el objetivo de la tesis si es de su interés se recomienda profundizar en el tema.

- **Analizando la disminución de la demanda química de oxígeno entre pH y DQO tenemos:**

$$\left[\frac{\delta y}{\delta Q} \right] pH = -0,9883 - 0,063953488Q$$

$$Qe = -1,5466$$

$$D2(Q) = -0,0639$$

$$\left[\frac{\delta y}{\delta pH} \right] Q = -0,039457 + 0,250pH$$

$$pH e = 0,1317$$

$$D2(pH) = 0,25$$

Al resultar un valor positivo y uno negativo tenemos como resultado un punto silla para la demanda química de oxígeno.

- **Analizando la disminución de turbidez entre pH y DQO tenemos:**

$$\left[\frac{\delta y}{\delta Q} \right] pH = -0,0527 + 2 * 0,1302Q$$

$$Qe = -0,20223$$

$$D2(Q) = 0,2604$$

$$\left[\frac{\delta y}{\delta pH} \right] Q = -0,0644 + 2 * 0,1328pH$$

$$pH e = -0,242469$$

$$D2(pH) = 0,2656$$

Al resultar los dos valores positivos tenemos como resultado un punto mínimo para el análisis de la turbiedad del agua.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica, en el laboratorio de Ciencias de la vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, se crea una matriz de agua con harina de sangre de ganado, a las cuales se les aplica el método NTC 3903 para prueba de jarras.

El método experimental utilizado para la realización de esta tesis consiste en la coagulación y floculación de contenido de materia orgánica de la muestra para posteriormente ser removida por procesos físicos como la sedimentación de la materia contaminante.

Los análisis de la DQO y turbiedad se desarrollan en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Del Azuay. Con los datos obtenidos se procede a la inferencia estadística, estos procedimientos se detallan a continuación.

3.2. VARIABLES

De los parámetros utilizados en el cambio de aspecto de la calidad y características del agua residual, después de un proceso de coagulación según la CEPIS se escoge: DQO y turbidez por ser los principales parámetros que se ven incrementados por las descargas del camal al río. En el caso de la turbidez ya que aparte de los importantes aspectos

estéticos, impide la fotosíntesis en los cuerpos de agua (Londoño, s.f.), y la DQO por ser un indicador de la materia orgánica total presente en el agua (Sawyer, McCarty, & Parkin, 2001).

Las variables independientes se eligen después de una revisión bibliográfica en donde varios autores como Ríos Donato (2006), Medina Maureira (2005) y Pacheco, et.al. (2009) utilizan estas variables para sus experimentos con quitosano obteniendo respuestas favorables.

3.2.1. Variables independientes

- Dosificación de Quitosano
- pH de la solución de Quitosano
- Tiempo de Mezcla
- Velocidad de mezcla

3.2.2. Variables dependientes

- Disminución de materia orgánica del agua contaminada

3.2.3. Indicadores

- Demanda Química de Oxígeno
- Turbiedad en el agua

3.3. Diseño de experimentos

Para la estadística y la programación de experimentos se aplica un diseño de superficie de respuesta, Box – Behnken. Se trabaja con cuatro factores (Dosis de quitosano, pH del quitosano, Tiempo de Coagulación - floculación y las revoluciones por minuto) y con tres niveles para cada factor dando como resultado un total de 25 experimentos que se muestran en la tabla 15.

En la tabla 12 se especifican los valores elegidos para los niveles de cada factor utilizados en la realización de los experimentos.

Factor \ Nivel	-1	0	1
Quitosano (ml)	5	10	15
pH	3	4,5	6
Tiempo (Min)	10	20	30
RPM	15	30	45

Tabla 12: Niveles de los factores utilizados.

Fuente: Autora

3.4. Matriz de Agua

Para la experimentación en laboratorio se trabaja con harina de sangre obtenida en el camal municipal de la ciudad de Riobamba, para obtener una matriz de agua contaminada con materia orgánica.

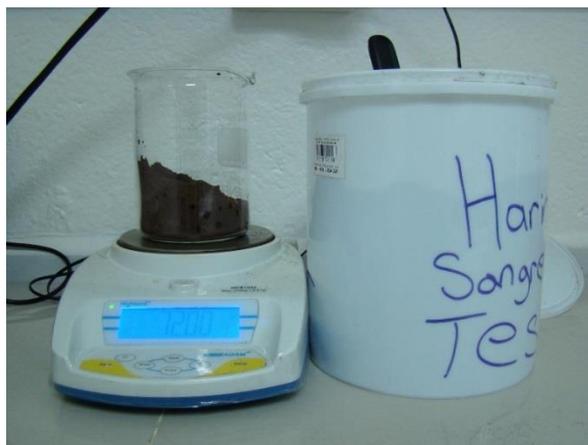


Ilustración 16: Pesado de la harina de sangre para la realización de la matriz de agua, 2013

Fuente: Autora.

Para la determinación de la cantidad de harina de sangre a utilizarse en la preparación de la matriz, se toma en cuenta los valores promedio de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) que genera el camal en el proceso productivo, estos valores fueron tomados del Diagnóstico Ambiental a la Empresa Municipal de Servicios de Rastro y Plazas de ganado, EMURPLAG (2010) y se presentan en el numeral 2.1.3.2 en la tabla 5.

Se preparan tres diferentes muestras de agua, con 2, 4 y 6 gramos de harina en 500 ml de agua destilada cada uno. Posteriormente se procede a analizar las muestras de agua mediante el equipo para determinación Manométrica de la D.B.O. con una dilución de 1:3 realizada con agua destilada. Dando como resultado los siguientes valores:

	g. Harina	DBO mg/lt	Promedio	Relación x 3
Sensor 1	2	632	646	1938
Sensor 2	2	660		
Sensor 3	4	924	907	2721
Sensor 4	4	890		
Sensor 5	6	1232	1267	3801
Sensor 6	6	1302		

Tabla 13: Análisis de DBO₅ para la determinación de la cantidad de harina en el agua.

Fuente: Autora.

Comparando los valores obtenidos en el laboratorio (tabla 13) con los valores del análisis de aguas del estudio de impacto ambiental del camal, se estima que al utilizar 6 gramos de harina de sangre por cada 500 ml de agua destilada se obtiene una relación adecuada para la experimentación ya que está acorde a los valores promedio de las descargas del camal.

3.5. Solución de Quitosano

Para el presente estudio se utilizó quitosano marca Quitoquímica Ltda. (tabla 14), de origen chileno, quienes fabrican productos derivados del quitosano biodegradables y biocompatibles con el ambiente a partir de caparzones de langostino colorado.

El producto posee las siguientes características:

Ceniza	0.2 - 0.9 %
Peso Molecular	100.000 – 300.000 g/mol
Grado de Desacetilación	90 – 98 %
Viscosidad	30 – 300 cP
Nitrógeno	8.0 – 8.6 %

Tabla 14: Características del quitosano utilizado para el trabajo de investigación.

Fuente: www.quitoquimica.cl

Para la realización de los experimentos se prepara una solución patrón al 1% utilizando 10 g del polímero en 1000 ml de ácido acético al 4%.



Ilustración 17: Preparación de la solución base de quitosano

Fuente: Autora.

Esta solución se toma como base para la realización de todos los experimentos.

3.6. pH

Se trabaja con quitosano a tres diferentes valores de pH: 3, 4.5 y 6; utilizando como base la solución antes descrita. Para obtener el pH 3 se utiliza ácido sulfúrico concentrado (98%) de origen comercial y para llevar el quitosano a valores de 4.5 o 6 se usa una solución de NaOH al 20%. Esto se realiza utilizando un pH-metro Mettler Toledo disponible en el laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca.

3.7. Prueba de Jarras

Se utiliza el equipo para prueba de jarras (Ilustracion18) del laboratorio de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana. Sede Cuenca, en el cual se trabaja durante 1 minuto con una velocidad de 200 RPM para la mezcla rápida, siendo este un valor constante para todas las experimentaciones. Se definen las velocidades para la mezcla lenta, basadas en investigaciones de Ríos Donato (2006) y Caldera (2009) que utilizan para sus trabajos 30 RPM. Este valor se escoge como valor central para esta investigación, quedando definidas las revoluciones por minuto en 15, 30 y 45.

De la misma manera se determinan los valores para los tiempos de floculación, quedando determinados en 10, 20 y 30 minutos.

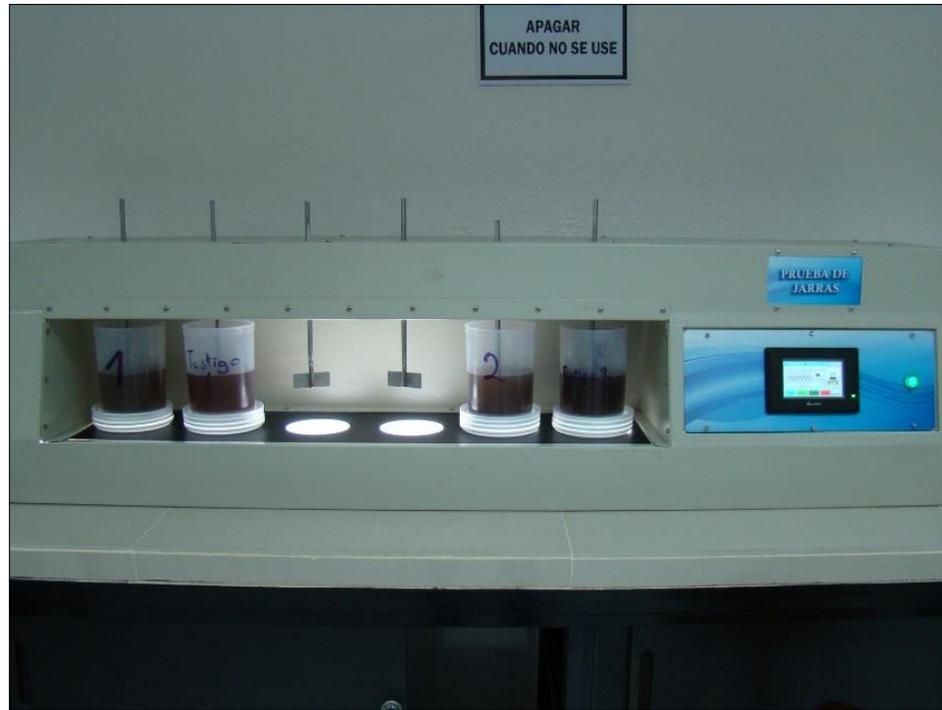


Ilustración 18: Equipo para prueba de jarras

Fuente: Autora.

3.8. Experimentación

Para la realización de los experimentos se utiliza la tabla 15; la cual contiene los valores definidos en la tabla 12.

EXPERIMENTOS

Exp No.	Quitosano	pH	t (min)	rpm
1	5	3	20	30
2	15	3	20	30
3	5	6	20	30
4	15	6	20	30
5	5	4,5	10	30
6	15	4,5	10	30
7	5	4,5	30	30
8	15	4,5	30	30
9	5	4,5	20	15
10	15	4,5	20	15
11	5	4,5	20	45
12	15	4,5	20	45
13	10	3	10	30
14	10	6	10	30
15	10	3	30	30
16	10	6	30	30
17	10	3	20	15
18	10	6	20	15
19	10	3	20	45
20	10	6	20	45
21	10	4,5	10	15
22	10	4,5	30	15
23	10	4,5	10	45
24	10	4,5	30	45
25	10	4,5	20	30

Tabla 15: Prueba de jarras - Experimentos realizados.

Fuente: Autora.

Para la realización de los experimentos se procede de la siguiente manera:

- Se utiliza la solución patrón de quitosano antes descrita (numeral 3.5)
- Se lleva la solución de quitosano al pH deseado dependiendo del número de experimento a realizarse. (Tabla 15)

- Se emplean jeringuillas graduadas para la dosificación del quitosano hacia la matriz de agua. Se utilizan dosis de 5, 10 o 15 ml.



Ilustración 19: Solución de quitosano y jeringuillas para dosificación.

Fuente: Autora.

- Se programa el equipo para prueba de jarras a los valores determinados de tiempo y revoluciones por minuto.
- Se ejecuta el experimento.



Ilustración 20: Muestra de agua contaminada en el equipo de prueba de jarras, después de la dosificación de quitosano.

Fuente: Autora.

3.9. Análisis del agua

Una vez terminada la prueba de jarras se procede a la medición de la turbiedad del agua tratada por espectrofotometría UV-VIS, utilizando curvas de calibración respectivas para cada análisis, que permite obtener los valores de las concentraciones buscadas.



Ilustración 21: Muestras de agua en el laboratorio después de los análisis.

Fuente: Autora

Para el análisis de la DQO se utiliza el método de reflujo abierto/método de titulación con Dicromato de potasio presente en la norma mexicana NMX-AA-030-SCFI, el cual se detalla en el anexo # 1

Para la obtención de los valores de turbidez se realiza espectrofotometría en el que se trabaja con una longitud de onda de 800 nm, para eliminar el posible error que pueda generarse por el color de la muestra. Esto se realiza gracias al espectrofotómetro *ThermoScientific – Evolution 60* del laboratorio ambiental de la universidad del Azuay.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. Resultados:

Los valores obtenidos del análisis se pueden ver en las tablas 16 y 17.

RESULTADOS

No. Exp	DQO	Fracción % Remoción
1	1140	0,558
2	480	0,814
3	1380	0,465
4	1140	0,558
5	990	0,616
6	1710	0,337
7	840	0,674
8	1680	0,349
9	570	0,779
10	1770	0,314
11	570	0,779
12	1770	0,314
13	900	0,651
14	990	0,616
15	870	0,663
16	840	0,674
17	780	0,698
18	960	0,628
19	720	0,721
20	600	0,767
21	1380	0,465
22	1410	0,453
23	1110	0,570
24	1140	0,558
25	1200	0,535
Testigo	2580	

Tabla 16: Resultados de DQO obtenidos del análisis de laboratorio.

Fuente: Autora

En la Ilustración 22 se puede observar la disminución de materia orgánica comparando los resultados con el testigo. Esto, mediante la reducción de los niveles de la demanda química de oxígeno. Para este análisis las muestras con una mayor reducción son la 2, 9, 11 y 20.

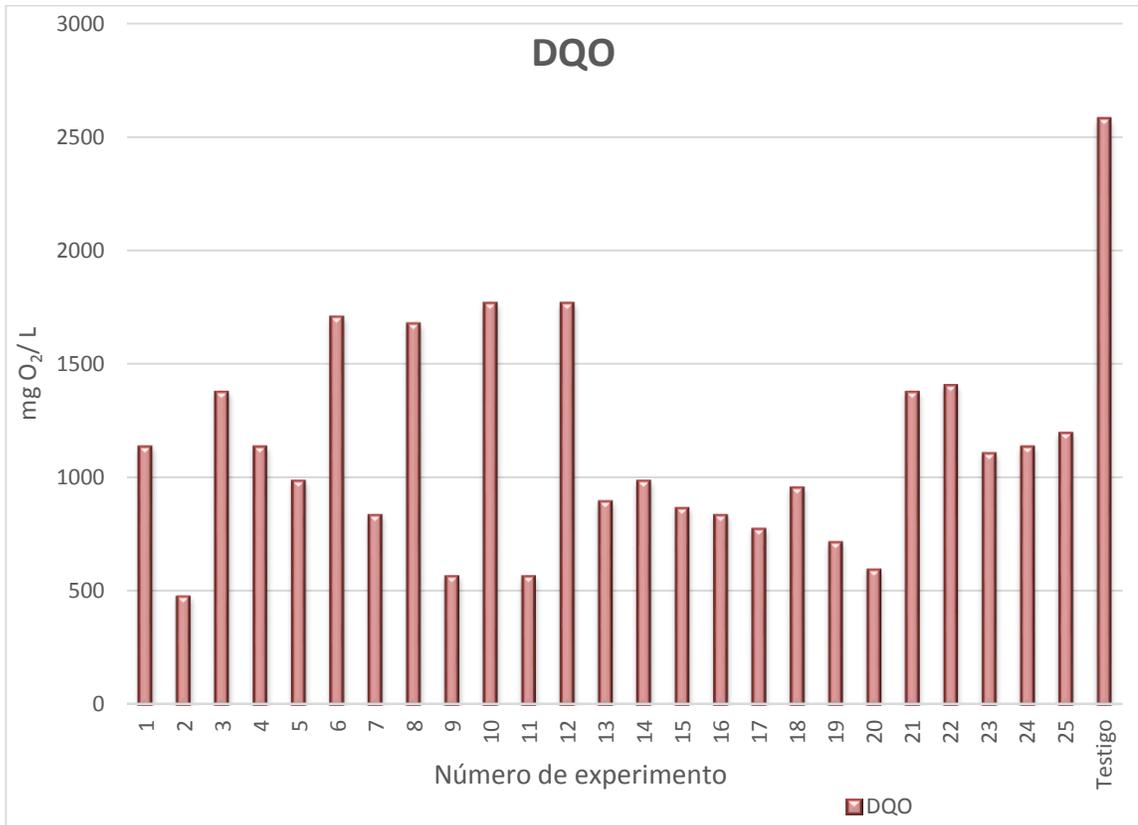


Ilustración 22: Experimentos y sus resultados de los análisis de la DQO

Fuente: Autora

RESULTADOS TURBIDEZ

No. Exp	Turbidez	Fracción % Remoción
1	202,2	0,830
2	15,3	0,987
3	95,3	0,920
4	48,0	0,960
5	30,4	0,974
6	183,3	0,845
7	27,9	0,977
8	321,7	0,729
9	39,2	0,967
10	221,0	0,814
11	10,2	0,991
12	365,7	0,692
13	265,1	0,777
14	50,5	0,957
15	252,5	0,787
16	32,9	0,972
17	290,2	0,755
18	66,8	0,944
19	202,2	0,830
20	16,5	0,986
21	460,0	0,612
22	409,7	0,655
23	315,4	0,734
24	233,6	0,803
25	353,1	0,702
M. Testigo	1186,0	

Tabla 17: Resultados de turbidez obtenidos del análisis de laboratorio.

Fuente: Autora

En la ilustración 23 se observa una fuerte disminución de materia orgánica medido de acuerdo a la disminución de los valores de turbidez del agua contaminada, comparada con el testigo. Para este análisis la disminución de la turbidez de todas las muestras está por arriba de la fracción del 0,61 % siendo la mayor remoción de la muestras 2, 11 y 20.

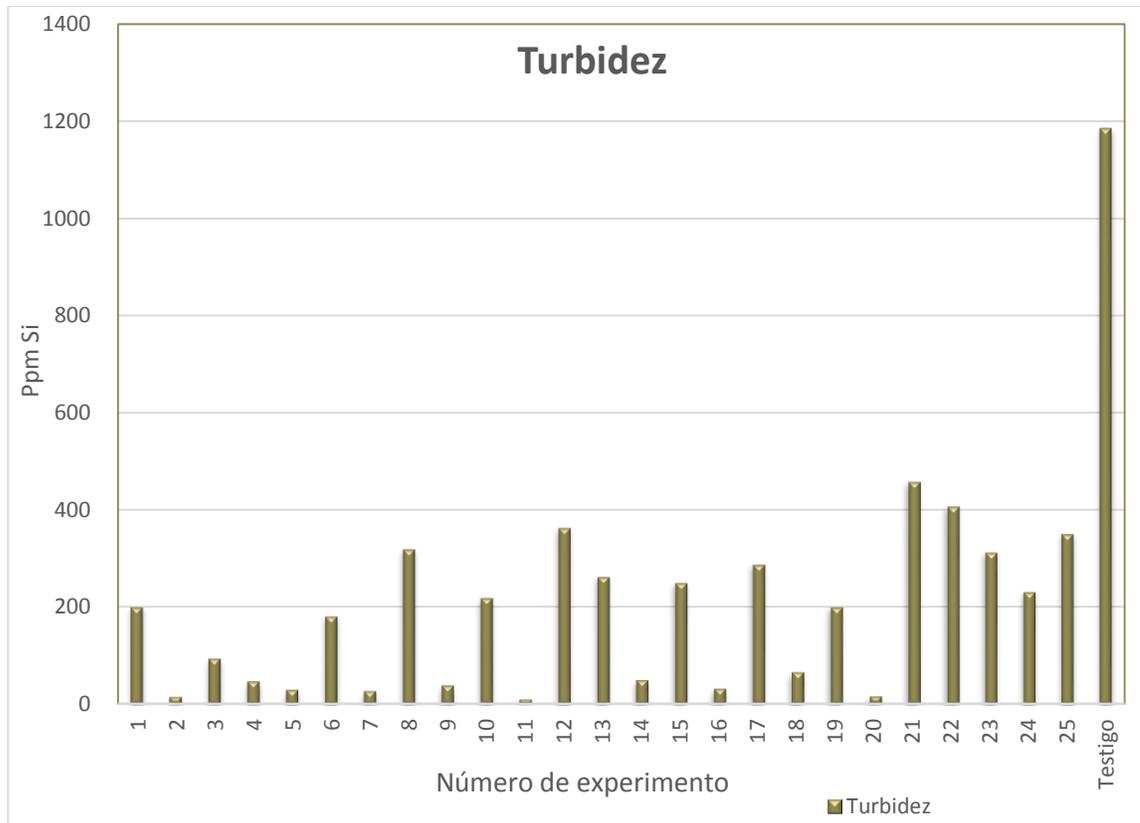


Ilustración 23: Experimentos y sus resultados de los análisis de la Turbidez

Fuente: Autora

En la ilustración 24 se pueden ver las muestras con mejores resultados en cuanto a su disminución de la DQO y Turbidez. La muestra 2 es la que visualmente se ve mejor, mientras que la muestra 20, a pesar de tener una disminución alta de la turbidez, no tiene la mejor remoción de color.



Ilustración 24: Muestras con mejores resultados de acuerdo a la disminución de turbidez del agua.

Fuente: Autora

Realizando el análisis estadístico, priorizando la disminución de la DQO se obtiene un punto silla como se puede ver en la ilustración 25, en donde la DQO tiene una mejor remoción con pH que se aleje del centro (4.5) es decir valores aproximados a 3 y 6. Lo que concuerda con el estudio de Medina Maureira (2005) en el que se utiliza el quitosano para remover proteínas hidrosolubles, teniendo mejores resultados con pH ácido de 3.1, también en el caso de remoción de caolinita de Ríos Donato (2006), donde los mejores resultados se obtienen con pH de 5 a 6.

También se puede observar que la dosis de quitosano no es relevante en los resultados obtenidos, dando así valores similares en la remoción a diferentes pH. (Cabe recalcar que la escala utilizada en las ilustraciones hace referencia no a valores reales de la experimentación, sino a los valores de los niveles).

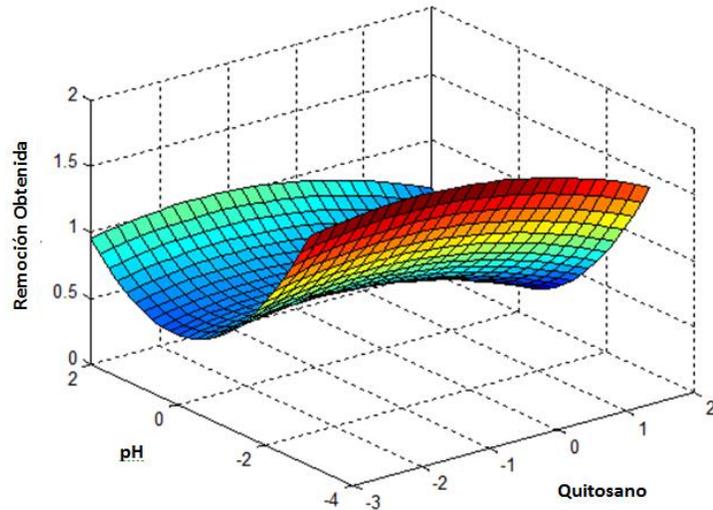


Ilustración 25: Superficie de respuesta para la DQO, en la que se compara la remoción obtenida de acuerdo al pH y la dosificación de quitosano. Se observa en color rojo los mejores resultados conseguidos con pH ácido.

Fuente: Autora

Priorizando la disminución de la Turbidez del agua (Ilustración 26), al igual que en el caso de la reducción de la DQO, se obtuvieron mejores remociones con valores de pH que estén alejados del centro. Igualmente con la dosificación de quitosano que para este caso los valores si fueron significativos, dando mejores resultados con dosis correspondientes a 5 y 15 ml, en donde difiere del estudio de N.Rios (2006), en el cual menciona que con diferentes dosis de quitosano la remoción de turbidez permanece estable, dando como resultado mayor o menor eficiencia dependiendo del pH utilizado.

Para la remoción de materia orgánica con quitosano se utiliza además de procesos de coagulación – floculación, métodos como ultrafiltración o centrifugación como procesos principales, como es el caso del estudio de Pacheco, Leyva, Carvallo, García, & Márquez, (2009) o de García Sifuentes, Pacheco Aguilar, Ramírez, & Carvallo Ruiz, en donde obtienen mejores resultados que utilizando solo uno de estos métodos.

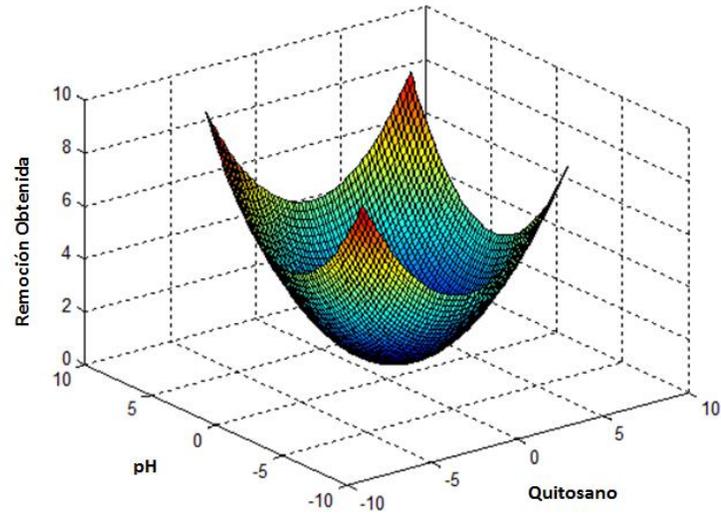


Ilustración 26: Superficie de respuesta para la Turbidez, en la que se compara la remoción obtenida de acuerdo al pH y la concentración de quitosano. Se observa en color rojo los mejores resultados con concentraciones específicas.

Fuente: Autora

4.2. Conclusiones:

- De acuerdo a las hipótesis planteadas se concluye que se acepta la hipótesis alternativa **H1**, ya que el quitosano sí reduce la concentración de materia orgánica presente en el agua contaminada.
- Se logró determinar que la velocidad (RPM) en la prueba de jarras y el tiempo de sedimentación no son relevantes en los resultados obtenidos. Los principales factores fueron el pH y la dosis de quitosano utilizado.
- Los resultados de la inferencia estadística muestran que se debe realizar tratamientos diferentes para la DQO y para la turbiedad, ya que exponen que el tratamiento que logró mayor remoción de turbidez obtuvo menor remoción de DQO, y viceversa, por lo que se recomienda priorizar que factor se quiere disminuir del agua; si la demanda química de oxígeno o la turbiedad.
- Tanto para la disminución de la Turbiedad como de la DQO se estableció que el mejor rendimiento se dio en valores de pH ácido (3), teniendo remociones de hasta 95% y 80% respectivamente. Se obtuvo una menor remoción, con el valor medio de pH (4.5)
- Analizando la disminución de la carga orgánica priorizando la disminución de la Demanda Química de Oxígeno se puede observar en la superficie de respuesta que la dosificación del quitosano no es relevante en los resultados, a diferencia de los valores referentes al pH, que tienen una gran influencia en los resultados de la disminución.

- La remoción obtenida para la DQO llega a sus valores máximos con pH extremos, es decir, valores ácidos de 1 y valores ligeramente básicos de 7,5. En la superficie de respuesta se los observa como -3 y 2 respectivamente.
- Analizando la disminución de la materia orgánica teniendo en cuenta la turbidez del agua, se determina que el pH y la dosificación de quitosano son igualmente importantes.
- Se obtienen mejores remociones con un pH de 3 o un pH básico de 10 aproximadamente.
- Para la dosificación del quitosano se presenta la misma situación, los valores para una mayor remoción de materia orgánica lanza valores que se encuentran fuera de la superficie de respuesta. Por lo que se considera importante revisar valores medios de dosificación.
- Los valores medios, tanto en pH como en dosificación de quitosano, dan una mayor superficie de respuesta, es decir mayor estabilidad, pero con una menor remoción. Esto corresponde a un valor estacionario de pH de 4,14 y dosificación de quitosano de 8,98 ml.

4.3. Recomendaciones

- El sistema es inestable, esto indica que las variaciones pequeñas en el pH pueden dar resultados diferentes a los esperados, por lo que se recomienda tener gran precisión al ajustar los valores.
- Al obtener esta primera experiencia se recomienda plantear otro diseño experimental, que incluya los niveles de los factores en donde la remoción fue mayor, así obtener valores más afinados de pH y dosis de quitosano para optimizar aún más el tratamiento del agua.
- Aunque existe una remoción de materia contaminante, los valores siguen estando por encima de la norma del TULSMA, por lo que se hace necesario la complementación del tratamiento del agua con algún otro método o técnica.
- Incluir el análisis de la DBO_5 en siguientes estudios para complementar la influencia del quitosano en la remoción de materia orgánica en aguas contaminadas.
- Investigar sobre métodos para la obtención de quitosano, ya que Ecuador al ser un país productor de camarón cuenta con gran cantidad de materia prima y la cual no se está aprovechando.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- L. Sastoque Cala et.al. (2007). Producción de quitinasas extracelulares con una cepa alcalófila halotolerante de *Streptomyces* sp. aislada de residuos de camarón. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.
- Acotecnic, C. L. (2011). *Estudio de impacto ambiental (EsIA), nueva planta de beneficio animal EMURPLAG E.P – Cuenca*. Cuenca.
- Atiaga, O., & Proaño, C. (2007). *Aplicación de un modelo de materia orgánica para la determinación de la contaminación por materia orgánica del río San Pedro en el tramo comprendido entre Tambillo y la Armenia*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2330>
- Caldera, Y., Clavel, N., Briceño, D., Nava, A., Gutiérrez, E., & Mármol, Z. (2009). *Quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de producción de petróleo*. Maracaibo: Universidad del Zulia.
- Cauchie, H.M. (1998). *An attempt to estimate crustacean chitin production in the hydrosphere, in Advances in Chitin Science*. A. Domard, G.A.F. Roberts, and K.M. Vårum.
- CECOPESCA. (2012). *Guía para el aprovechamiento de los subproductos de pescado para la obtención de productos funcionales y bioactivos*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Centro de producción más limpia de Nicaragua. CPmL-N. (2004). *Guía Básica de Manejo Ambiental de Rastros Municipales*.
- Centro de producción más limpia de Nicaragua. CPmL-N. (s/f). *Manual de buenas prácticas operativas de producción más limpia para la industria de mataderos*.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. CEPIS. (1992). *Programa regional de mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano. Tratamiento por filtración rápida. Criterios de selección*.
- Clavijo, G. (2010). *Diagnóstico Ambiental a la Empresa Municipal de Servicios de Rastro y Plazas de ganado, EMURPLAG*. Cuenca.
- Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios. (2005). *Guía para la administración de rastros y mataderos municipales*. México D.F.

- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia: Mc Graw Hill.
- De Zan, A. (2006). *Principio de metodología de superficie de respuesta para modelos logísticos*. Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Días de Apodaca, C., Perez, R., & Ramirez, L. (2007). Utilización de adsorbentes basados en quitosano y alginato sódico para eliminación de iones metálicos. Revista iberoamericana de polímeros volumen 8, enero 2007, Fundación LEIA, centro. *Revista iberoamericana de polímeros volumen 8*.
- Díez Municio, M. (2010). Búsqueda de nuevos ingredientes funcionales procedentes del quitosano para la valorización de los subproductos y exedentes de crustáceos. . Desechos de hoy alimentos del mañana Instituto de Estudios Marinos para la Nutrición y el bienestar (INESMA).
- Falla, H. (2007a). Manual Básico de higiene para el operario de centros de faenamiento.
- Félez, M. (2005). Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. En *Memorias*.
- Gálvez Pérez, A. (2008). Aplicabilidad de procesos de coagulación-Floculación y de sistemas de biopelículas en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos. Granada: Universidad de Granada.
- García Sifuentes, O., Pacheco Aguilar, R., Ramírez, J., & Carvallo Ruiz, G. (s.f.). Tratamiento multietapas de agua de cola: efecto en la remoción de materia orgánica. *Laboratorio de Bioquímica y calidad de productos pesqueros. Centro de investigación en alimentación y desarrollo*. Hermosillo, Sonora, México.
- Garzón Alvear, I. (2010). Diagnóstico ambiental del camal municipal de la ciudad de Santo Domingo y mejora de su gestión. Quito: Escuela Politécnica Nacional - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Glynn, H., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental* (Vol. 2da. Ed). México: Pearson Educación.
- Gutiérrez, H., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos*. Mexico D:F: Mc Graw Hill.
- Harris R., E. (2010). *Quitosano, un biopolímero con aplicaciones en sistemas de liberación controlada de fármacos*. Madrid: Universidad complutense de Madrid. Facultad de ciencias biológicas, departamento de bioquímica y biología molecular.

- Instituto Nacional de Estadística Y Censos - INEC. (2011). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Obtenido de ESPAC: http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/
- INTEC. (1998). *Documento de difusión opciones de gestión ambiental : Sector mataderos*. Chile. Obtenido de http://opac.um.edu.uy/index.php?lvl=notice_display&id=11408
- Lárez, C. (2003). Usos del quitosano en sistemas acuosos. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 4*.
- Lárez, C. (2006). Quitina y Quitosano: Materiales del pasado presente y el futuro. *Avances de química 1: 15-21*.
- Londoño, A. (s.f.). *Línea de Profundización Ambiental - Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el Noviembre de 2013, de www.virtual.unal.edu.co
- Marín Bustos, J. C. (2009). Clarificación de la solución utilizada en sistemas de deshumificación por aire. En J. C. Marín Bustos, *Clarificación de la solución utilizada en sistemas de deshumificación por aire* (pág. 26). Pereira.
- Marsily, G. d. (2003). *El Agua*. México: Siglo XXI.
- Medina Maureira, L. (2005). Estudio de la acción de quitosano como adsorbente de proteínas hidrosolubles; optimización de parámetros. *Universidad Católica de Temuco*. Temuco.
- Ministerio de Agricultura. (2000). III Censo Nacional Agropecuario. *Panorama de la cadena agroindustrial de la carne y subproductos*. Ecuador.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (s.f.). *TULSMA: Libro VI*.
- Monge, J., Gómez, P., & Rivas, M. (2002). *Biología General*. (EUNED, Ed.) San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Nebel, B., & Wright, R. (2000). *Ciencias Ambientales, Ecología y desarrollo sostenible*. México: Pearson.
- Nieto, C., & Orellana, V. (2011). *Aplicación del Quitosano como promotor de floculación para la disminución de carga contaminante*. Cuenca: UPS.
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). *Organización de las Naciones Unidas*. Obtenido de <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

- Pacheco, R., Leyva, P., Carvallo, G., García, L., & Márquez, R. (2009). efecto de la concentración de quitosano y ph sobre la remoción de sólidos en agua de cola de la industria sardinera. *Interciencia*, 274-279.
- Peniche Covas, C. (2006). *Estudios sobre Quitina y Quitosana*. La Habana.
- Perez, J. L. (Septiembre de 2010). Diseño y desarrollo del manual de buenas practicas de manufactura y faenamieto para el camal del norte. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de ingeniería química y agroindustrial.
- Prieto, J. (2004). *El Agua, Sus formas, Efectos, Abastecimientos, Usos, Daños, Control y Conservación*. Bogota, Colombia: Ecoe ediciones.
- Programa Ambiental Nacional ANAM–PAN–BID. (2005). *Producción Más Limpia para el Sector de Beneficio de Ganado Bovino y Porcino*.
- Ramalho, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales. España: Reverté.
- Reyes, P. (2006). *Metodología de Superficie de Respuesta*. México.
- Ríos Donato, N. e. (2006). Obtención de sulfato de quitosano y su aplicación en el proceso de coagulación-floculación de suspensiones coloidales aniónicas de caolinita. *Revista Iberoamericana de polímeros, volumen 7*.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2001). *Química para ingeniería ambiental* (4ta ed.). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Serrano, N. A. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Recuperado el Noviembre de 2013, de Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD : http://datateca.unad.edu.co/contenidos/301332/EXE_301332/
- Taveras, M., Silva, M., Flores, F., & De León, M. (2011). Guía para Buenas Prácticas Ambientales en Mercados y Mataderos. *Programa de la USAID para la Protección Ambiental*. Nicaragua, República Dominicana: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Torres, R., Chacín , F., García , J., & Ascanio, M. (2003). Optimización en Modelos de Superficies de Respuesta. *Revista de la facultad de agronomía Maracay*.
- UNEP. Danish Environmental Protection Agency. (s/f). *Cleaner Production Assessment in Meat Processing*. Dinamarca.
- Vargas, M., & Romero, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha Vol. 19*.

Veall , F. (s/f). *Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <http://www.fao.org/docrep/004/t0566s/t0566s00.htm>

ANEXOS



**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA
QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES
Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA
A LA NMX-AA-030-1981)**

**WATER ANALYSIS - DETERMINATION FOR CHEMICAL OXYGEN
DEMAND IN NATURAL, WASTEWATERS AND WASTEWATERS
TREATED - TEST METHOD**

0 INTRODUCCIÓN

Se entiende por demanda química de oxígeno (DQO), la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte.

El método que involucra el uso de dicromato es preferible sobre procedimientos que utilizan otros oxidantes debido a su mayor potencial redox y su aplicabilidad a una gran variedad de muestras.

Se describen dos métodos para la determinación de DQO con dicromato. El método a reflujo abierto es conveniente para aguas residuales en donde se requiera utilizar grandes cantidades de muestra. El método a reflujo cerrado es más económico en cuanto al uso de reactivos, pero requiere una mayor homogeneización de las muestras que contienen sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana especifica dos métodos para la determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.

2 PRINCIPIO DEL MÉTODO

Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados con una mezcla de ácido crómico y sulfúrico a ebullición. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

3 DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma se establecen las siguientes definiciones:

3.1 Aguas naturales

Se define como agua natural el agua cruda, subterránea, de lluvia, de tormenta, residual y superficial.

3.2 Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas.

3.3 Bitácora

Cuaderno de laboratorio debidamente foliado e identificado, en el cual los analistas anotan todos los datos de los procedimientos que siguen en el análisis de una muestra, así como todas las informaciones pertinentes y relevantes a su trabajo en el laboratorio. Es a partir de dichas bitácoras que los inspectores pueden reconstruir el proceso de análisis de una muestra tiempo después de que se lleva a cabo.

3.4 Blanco analítico o de reactivos

Agua reactivo o matriz equivalente que no contiene, por adición deliberada, la presencia de ningún analito o sustancia por determinar, pero que contiene los mismos disolventes, reactivos y se somete al mismo procedimiento analítico que la muestra problema.

3.5 Calibración

Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento o sistema de

medición, o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones, efectuando una corrección del instrumento de medición para llevarlo a las condiciones iniciales de funcionamiento.

3.6 Descarga

Acción de verter, infiltrar o depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

3.7 Desviación estándar experimental

Para una serie de n mediciones del mismo mensurando, es la magnitud s que caracteriza la dispersión de los resultados, dado por la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

en donde x_i es el resultado de la i -ésima medición y \bar{x} es la media aritmética de los n resultados considerados.

3.8 Disolución estándar

Disolución de concentración conocida preparada a partir de un patrón primario.

3.9 Disolución madre

Corresponde a la disolución de máxima concentración en un análisis. Es a partir de esta disolución que se preparan las disoluciones de trabajo.

3.10 Material de referencia

Material o sustancia en el cual uno o más valores de sus propiedades son suficientemente homogéneas y bien definidas, para ser utilizadas para la calibración de aparatos, la evaluación de un método de medición, o para asignar valores a los materiales.

3.11 Material de referencia certificado

Material de referencia, acompañado de un certificado, en el cual uno o más valores de las propiedades están certificados por un procedimiento que establece la trazabilidad a una realización exacta de la unidad en la cual se expresan los valores de la propiedad, y en el que cada valor certificado se acompaña de una incertidumbre con un nivel declarado de confianza.



3.12 Medición

Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

3.13 Mensurando

Magnitud particular sujeta a medición.

3.14 Muestra compuesta

La que resulta de mezclar un número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

3.15 Muestra simple

La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo.

3.16 Parámetro

Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.

3.17 Patrón (de medición)

Material de referencia, instrumento de medición, medida materializada o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para utilizarse como referencia.

3.18 Patrón de referencia

Patrón, en general de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar dado, o en una organización determinada, del cual se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.

3.19 Patrón de trabajo

Patrón que es usado rutinariamente para calibrar o controlar las medidas materializadas, instrumentos de medición o los materiales de referencia.

3.20 Patrón nacional (de medición)

Patrón reconocido por una decisión nacional en un país, que sirve de base para asignar valores a otros patrones de la magnitud concerniente.

3.21 Patrón primario

Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud.

3.22 Patrón secundario

Patrón cuyo valor es establecido por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

3.23 Precisión

Es el grado de concordancia entre resultados analíticos individuales cuando el procedimiento analítico se aplica repetidamente a diferentes alícuotas o porciones de una muestra homogénea. Usualmente se expresa en términos del intervalo de confianza o incertidumbre:

$$x = \bar{x} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

donde:

- \bar{x} es la media calculada a partir de un mínimo de tres mediciones independientes;
- $t_{\alpha/2}$ es el valor de la t de Student para un nivel de significancia del 95 %;
- s es la desviación estándar de la muestra;
- n es el número de réplicas, y
- x es el resultado que incluye el intervalo de confianza.

3.24 Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón por la cual pueda ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

3.25 Verificación de la calibración

Una verificación periódica de que no han cambiado las condiciones del instrumento en una forma significativa.

4 REACTIVOS Y PATRONES

Todos los productos químicos usados en este método deben ser grado reactivo, a menos que se indique otro grado.

Agua: Debe entenderse agua que cumpla con las siguientes características:

- a) Resistividad: megohm-cm a 25°C:0,2 min.;
- b) Conductividad: $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C: 5,0 máx., y
- c) pH: 5,0 a 8,0.

4.1 Método reflujo cerrado / método espectrofotométrico

4.1.1 Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)

4.1.2 Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

4.1.3 Sulfato mercúrico (HgSO_4)

4.1.4 Sulfato de plata (Ag_2SO_4)

4.1.5 Biftalato de potasio patrón primario ($\text{HOCC}_6\text{H}_4\text{COOK}$)

4.1.6 Disolución estándar de biftalato de potasio (1 mL = 1 mg de DQO).
Deshacer los grumos y secar el biftalato de potasio (ver inciso 4.1.5) a 120°C. Pesar aproximadamente y con precisión 0,851 g de biftalato de potasio, disolver en agua y aforar a 1 L. Es estable hasta por 3 meses cuando se mantiene en refrigeración y si no se observa crecimiento biológico.

4.1.7 Disolución de sulfato de plata en ácido sulfúrico. Pesar aproximadamente y con precisión 15 g de sulfato de plata (ver inciso 4.1.4) y disolver en 1 L de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 4.1.1). El sulfato de plata requiere un tiempo aproximado de dos días para su completa disolución. La disolución formada debe mantenerse en la obscuridad para evitar su descomposición.

4.1.8 Disolución de digestión A (alta concentración). Pesar aproximadamente y con precisión 10,216 g de dicromato de potasio (ver inciso 4.1.2), previamente secado a 103°C por 2 h, y añadirlos a 500 mL de agua,



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

adicionar 167 mL de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 4.1.1) y aproximadamente 33,3 g de sulfato mercúrico (ver inciso 4.1.3). Disolver y enfriar a temperatura ambiente. Aforar a 1 L con agua.

- 4.1.9 Disolución de digestión B (baja concentración). Pesar aproximadamente y con precisión 1,021 6 g de dicromato de potasio (ver inciso 4.1.2), previamente secado a 103°C por 2 h, y añadirlos a 500 mL de agua. Adicionar 167 mL de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 4.1.1) y 33,3 g de sulfato mercúrico (ver inciso 4.1.3). Disolver y enfriar a temperatura ambiente. Aforar a 1 L con agua.

4.2 Método reflujo abierto / método de titulación

- 4.2.1 Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- 4.2.2 Sulfato ferroso amoniacal hexahidratado ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)
- 4.2.3 Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- 4.2.4 Sulfato de plata (Ag_2SO_4)
- 4.2.5 1,10 fenantrolina ($C_{12}H_8N_2$)
- 4.2.6 Sulfato mercúrico ($HgSO_4$)
- 4.2.7 Biftalato de potasio patrón primario ($HOOC C_6H_4 COOK$)
- 4.2.8 Sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7 H_2O$)
- 4.2.9 Disolución estándar de dicromato de potasio (para concentraciones altas), (0,041 7 M). Pesar aproximadamente y con precisión 12,259 g de dicromato de potasio (ver inciso 4.2.1) previamente secado durante 2 h a 105°C ± 1°C, disolver y aforar a 1 L con agua y homogeneizar.
- 4.2.10 Disolución estándar de dicromato de potasio (para concentraciones bajas), (0,004 17 M). Pesar aproximadamente y con precisión 12,259 g de dicromato de potasio (ver inciso 4.2.1) previamente secado durante 2 h a 105°C ± 1°C, disolver y aforar a 1L con agua y homogeneizar.
- 4.2.11 Disolución de sulfato ferroso amoniacal (0,25 M); disolver en aproximadamente 800 mL de agua aproximadamente 98,0 g de sulfato ferroso amoniacal hexahidratado (ver inciso 4.2.2), agregar cuidadosamente 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 4.2.3), enfriar, llevar a 1 L con agua y homogeneizar.
- 4.2.12 Normalización de la disolución de sulfato ferroso amoniacal (0,25 M) (ver



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

inciso 4.2.11). Tomar una alícuota de 10 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,041 7 M (ver inciso 4.2.9). Diluir con agua hasta 100 mL, agregar cuidadosamente 30 mL de ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 4.2.3) y homogeneizar, enfriar y valorar con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M (ver inciso 4.2.11), utilizando 3 gotas de 1,10-fenantrolina (ver inciso 4.2.15) como indicador, hasta el cambio de color de azul verdoso a café rojizo. Esta disolución debe normalizarse cada vez que se utilice.

- 4.2.13 Disolución de sulfato ferroso amoniacal (0,025 M). Diluir 100 mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M (ver inciso 4.2.11) a 1 L. Valorar con la disolución de dicromato de potasio 0,004 17 M (ver inciso 4.2.10).
- 4.2.14 Disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata. Disolver cristales o polvo de sulfato de plata (ver inciso 4.2.4), en ácido sulfúrico concentrado (ver inciso 4.2.3) en una relación 5,5 g Ag_2SO_4 /Kg H_2SO_4 . Se requieren de 1 a 2 días para que se disuelva completamente el sulfato de plata.
- 4.2.15 Disolución indicadora de 1,10-fenantrolina. Pesar aproximadamente y con precisión 1,485 g de 1,10-fenantrolina (ver inciso 4.2.5) y aproximadamente 0,695 g de sulfato ferroso heptahidratado (ver inciso 4.2.8), diluir y aforar a 100 mL con agua y homogeneizar.
- 4.2.16 Disolución estándar de biftalato de potasio (500 mg O_2 /mL). Pesar aproximadamente y con precisión 0,425 g de biftalato de potasio patrón primario (ver inciso 4.2.7) previamente secado a 120°C durante 2 h, disolver y aforar a 1 L con agua. El biftalato tiene una DQO teórica de 1,176 mg O_2 /mg de Biftalato, por lo que la DQO teórica de esta disolución es de 500 mg O_2 /mL. Esta disolución es estable hasta por 3 meses si se mantiene en refrigeración y en ausencia de crecimiento biológico visible.

5 EQUIPO Y MATERIALES

Sólo se mencionan los equipos y materiales que son de relevancia para este método.

- 5.1 Método de reflujo cerrado / método espectrofotométrico
 - 5.1.1 Equipo
 - 5.1.1.1 Placa de calentamiento con horadaciones para los tubos de reacción de DQO que alcance una temperatura de 150°C \pm 2°C.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

NMX-AA-030-SCFI-2001
9/18

5.1.1.2 Espectrofotómetro. Disponible para utilizarse de 190 nm a 900 nm y equipado con celdas de 1 cm de paso óptico de luz o tubos de 16 mm x 100 mm de calidad espectro.

5.1.2 Material

Todo el material volumétrico utilizado en este método debe ser de clase A con certificado, o en su caso debe estar calibrado.

5.1.2.1 Tubos para digestión, 16 mm x 100 mm con tapa con cubierta interior de TPF.

5.1.2.2 Barras magnéticas cubiertas de TPF.

5.2 Método de reflujo abierto / método de titulación

5.2.1 Equipo

5.2.1.1 Equipo de destilación con parrilla de calentamiento que asegure la ebullición del contenido del matraz de reflujo y condensadores tipo Friedrich, con mangueras.

5.2.2 Material

Todo el material volumétrico utilizado en este método debe ser de clase A con certificado, o en su caso debe estar calibrado.

5.2.2.1 Bureta

6 RECOLECCIÓN, PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

6.1 La muestra se debe analizar inmediatamente después de su toma, en caso contrario debe conservarse en refrigeración a 4°C, además de la adición de ácido sulfúrico hasta pH < 2.

6.2 El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 28 días.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

7 CONTROL DE CALIDAD

7.1 Cada laboratorio que utilice este método debe operar un programa de control de calidad (CC) formal.

7.2 El laboratorio debe mantener los siguientes registros:

- Los nombres y títulos de los analistas que ejecutan los análisis y el encargado de control de calidad que verifica los análisis, y
- Las bitácoras manuscritas del analista y del equipo en los que se contengan los siguientes datos:

- a) Identificación de la muestra;
- b) Fecha del análisis;
- c) Procedimiento cronológico utilizado;
- d) Cantidad de muestra utilizada;
- e) Número de muestras de control de calidad analizadas;
- f) Trazabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición;
- g) Evidencia de la aceptación o rechazo de los resultados, y
- h) Además el laboratorio debe mantener la información original reportada por los equipos en disquetes o en otros respaldos de información.

De tal forma que permita a un evaluador externo reconstruir cada determinación mediante el seguimiento de la información desde la recepción de la muestra hasta el resultado final.

7.3 Cada vez que se adquiera nuevo material volumétrico debe de realizarse la verificación de la calibración de éste tomando una muestra representativa del lote adquirido.

8 CALIBRACIÓN

Se debe contar con la calibración de los equipos y materiales siguientes:

8.1 Material volumétrico

8.2 Balanza analítica

8.3 Bureta

8.4 Calibrar el espectrofotómetro de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

8.5 Curva de calibración: Preparar por lo menos cinco disoluciones de biftalato



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

de potasio con DQO equivalentes de 20 mg O₂/L a 900 mg O₂/L, ajustar el volumen con agua destilada. Utilizar los mismos volúmenes de reactivo y procedimiento de digestión que para las muestras.

9 PROCEDIMIENTO

9.1 Método a reflujo cerrado/ método espectrofotométrico

9.1.1 Precalentar a 150°C el digestor de DQO

9.1.2 Colocar en los tubos de reacción 1,5 mL de la disolución de digestión A o B (ver incisos 4.1.8 y 4.1.9)

9.1.3 Tomar cuidadosamente 2,5 mL de muestra previamente homogeneizada dentro de los tubos de reacción. Cerrar inmediatamente para evitar que se escapen los vapores, asegurarse de que están herméticamente cerrados. Suavemente invertir los tubos varias veces destapando después de cada inversión para liberar la presión.

NOTA.- La disolución es fuertemente ácida y el tubo se calienta en este proceso, trabajar con guantes aislantes.

9.1.4 Añadir cuidadosamente 3,5 mL de la disolución de digestión respectiva.

9.1.5 Colocar 2,5 mL de agua en un tubo para la determinación del blanco de reactivos.

9.1.6 Colocar todos los tubos en el digestor previamente calentado a 150°C y reflujo por 2 h.

9.1.7 Retirar los tubos del digestor y dejar que los tubos se enfríen a temperatura ambiente, permitiendo que cualquier precipitado se sedimente.

9.1.8 Medir la absorbancia en el espectrofotómetro, previamente calibrado o cuantificar por titulación.

9.1.9 Para aguas que contengan una DQO baja (5 mg/L a 75 mg/L), utilizar la disolución de digestión B (ver inciso 4.1.9). Si el valor de la DQO determinado es más alto que 75 mg/L después de usar estos reactivos, reanalizar la muestra, utilizando la disolución A (ver inciso 4.1.8).

9.2 Método de reflujo abierto / método de titulación

9.2.1 Para niveles mayores de 50 mg/L de demanda química de oxígeno:



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

NMX-AA-030-SCFI-2001
12/18

- 9.2.1.1 Transferir una muestra de 50 mL (o dilución) al matraz Erlenmeyer de 500 mL. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (ver inciso 4.2.6) (aproximadamente 1 g, la relación de sulfato mercúrico/cloruros debe ser 10 a 1) y algunas perlas de vidrio. Adicionar una alícuota de 25,0 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,041 7 M (ver inciso 4.2.9) y mezclar mediante un movimiento circular. Se pueden utilizar cantidades menores de muestra conservando la proporción de los reactivos.
- 9.2.1.2 Conectar el matraz erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.
- 9.2.1.3 Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 mL de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata (ver inciso 4.2.14) y agitar con movimiento circular para homogeneizar.
- 9.2.1.4 Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante 2 h a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar el condensador con 25 mL de agua.
- 9.2.1.5 Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 mL, retirar el matraz del condensador y enfriar a temperatura ambiente.
- 9.2.1.6 Agregar 3 gotas de disolución Indicadora de 1,10 fenantrolina (ver inciso 4.2.15) como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 M (ver inciso 4.2.11). Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.
- 9.2.1.7 Llevar simultáneamente un testigo preparado con agua y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.
- 9.2.2 Para niveles menores de 5 mg/L de demanda química de oxígeno:
 - 9.2.2.1 Transferir una muestra de 50 mL al matraz Erlenmeyer de 500 mL. Agregar una cantidad adecuada de sulfato mercúrico (ver inciso 4.2.6) (aproximadamente 1 g) y algunas perlas de vidrio. Añadir 25,0 mL de la disolución estándar de dicromato de potasio 0,004 17 M (ver inciso 4.2.10) y mezclar mediante un movimiento circular.
 - 9.2.2.2 Conectar el matraz Erlenmeyer al condensador tipo Friedrich y hacer circular el agua de enfriamiento.
 - 9.2.2.3 Por el extremo superior del condensador agregar lentamente 75 mL de la disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata (ver inciso 4.2.14) y agitar con movimiento circular para homogeneizar.
 - 9.2.2.4 Calentar el matraz que contiene la mezcla y mantener a reflujo durante dos horas a partir del momento en que empieza la ebullición. Dejar enfriar y lavar



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

el condensador con 25 mL de agua.

- 9.2.2.5 Añadir agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen aproximado de 300 mL, retirar el matraz del condensador y enfriar a la temperatura ambiente.
- 9.2.2.6 Agregar 3 gotas de disolución indicadora de 1,10-fenantrolina (ver inciso 4.2.15) como indicador y titular con la disolución de sulfato ferroso amoniacal 0,025 M (ver inciso 4.2.13). Tomar como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.
- 9.2.2.7 Llevar simultáneamente un testigo preparado con 50 mL de agua y todos los reactivos que se utilizan en el procedimiento.

10 CÁLCULOS

10.1 Método de reflujo cerrado / método espectrofotométrico:

- 10.1.1 Calcular la DQO en la muestra en miligramos por litro (mg/L) directamente de la curva de calibración, con la ecuación 1.

$$Y = mX + b$$

Ecuación 1

10.1.2 Reportar los resultados en mg/L.

10.2 Método de reflujo abierto / método de titulación

- 10.2.1 La demanda química de oxígeno, expresada en mg O₂ /L, se calcula con la ecuación 2.

$$DQO = \frac{V_1 - V_2 \times M \times 8\,000}{V_3}$$

Ecuación 2

donde,

V₁ es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

- V_2 para la valoración del testigo;
es el volumen en mL de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra;
- V_3 es el volumen en mL de la muestra, y
- M es la molaridad de la disolución de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la determinación.

11 INTERFERENCIAS

- 11.1 El método no oxida uniformemente todos los materiales orgánicos. Algunos compuestos son muy resistentes a la oxidación, mientras que otros tales como los carbohidratos son fácilmente oxidables.
- 11.2 Los compuestos alifáticos volátiles de cadena abierta no se oxidan.

12 SEGURIDAD

- 12.1 No ha sido determinada la carcinogenicidad de todos los reactivos, por lo que cada sustancia química debe tratarse como peligro potencial a la salud. La exposición a estas sustancias debe reducirse al menor nivel posible. Se sugiere que el laboratorio realice inspecciones de higiene ocupacional de cada reactivo a los que pueda estar expuesto el analista y que dichos resultados estén a su disposición.
- 12.2 Este método puede no mencionar todas las precauciones de seguridad asociadas con su uso. El laboratorio es responsable de mantener un ambiente de trabajo seguro y un archivo de las normas de seguridad respecto a la exposición y manejo seguro de las sustancias químicas especificadas en éste método. Debe tenerse en un archivo de referencia las hojas de información de seguridad, el cual debe estar disponible a todo el personal involucrado en estos análisis.
- 12.3 Cuando se trabaje con cualquiera de los compuestos químicos descritos en este método, debe usar todo el tiempo equipo de seguridad, tal como: batas, guantes de látex y lentes de seguridad.
- 12.4 La preparación de todos los reactivos usados en este método debe efectuarse bajo una campana de extracción. Consulte las hojas de seguridad sobre manipulación y disposición de éstos.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

NMX-AA-030-SCFI-2001
15/18

- 12.5 El ácido sulfúrico es un compuesto químico debe manejarse con extremo cuidado. El adicionar ácido sulfúrico concentrado al agua produce una fuerte reacción exotérmica por lo cual esto debe realizarse muy lentamente con agitación y enfriamiento externo.
- 12.6 Cuando se adiciona ácido sulfúrico al agua el punto de ebullición de la mezcla resultante es considerablemente mas bajo que el del ácido sulfúrico solo (338°C). Si la mezcla se coloca en la parrilla de digestión a una temperatura significativamente alta, pueden presentarse problemas de proyecciones dando como resultado la pérdida de muestra y contaminación además de posibles daños corporales. Siempre debe usarse una careta mientras se trabaje en las proximidades de la parrilla de digestión, especialmente durante el monitoreo de ésta.
- 12.7 El sulfato de plata es tóxico, evitar el contacto con el producto así como con sus disoluciones.
- 12.8 El sulfato mercúrico es muy tóxico, evitar el contacto con los productos químicos así como con sus disoluciones.

13 MANEJO DE RESIDUOS

Es la responsabilidad del laboratorio cumplir con todos los reglamentos federales, estatales y locales referentes al manejo de residuos, particularmente las reglas de identificación, almacenamiento y disposición de residuos peligrosos.

- 13.1 Desecho de residuos
- 13.1.1 Para los residuos de mercurio, diluir todo el residuo ácido en aproximadamente dos veces su volumen original.
- 13.1.2 Ajustar el pH a un valor mayor de 7 adicionando lentamente disolución de hidróxido de sodio (40 % a 50 %, peso/volumen) con agitación, pudiendo también combinar este residuo con desechos alcalinos. Los residuos combinados deben tener un pH de 10 o mayor; en caso contrario, agregar hidróxido de sodio hasta que el pH alcance un valor de 10 a 11.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

NMX-AA-030-SCFI-2001
16/18

- 13.1.3 Agitar con pequeñas cantidades de disolución de tiosulfato de sodio (40 % a 50 % peso/volumen) mientras el residuo alcalino está aún tibio y hasta que no ocurra ninguna precipitación.
- 13.1.4 Dejar que sedimente el precipitado y drenar unos cuantos mililitros de la disolución sobrenadante asegurando que el pH esté aún arriba de 10, adicionar un volumen igual de disolución de tiosulfato de sodio. Si el sobrenadante aún contiene mercurio disuelto, se forma rápidamente un precipitado, indicando que debe adicionarse más tiosulfato de sodio.
- 13.1.5 Decantar o sifonear el sobrenadante y descartar después que el precipitado se ha sedimentado.
- 13.1.6 Lavar el precipitado dos veces con agua que contenga trazas de hidróxido de sodio, dejar sedimentar y descartar los lavados.
- 13.1.7 Secar el precipitado, primero con aire y después en una estufa a temperatura no mayor de 110°C.
- 13.1.8 Almacenar los sólidos secos hasta que haya una cantidad suficiente acumulada para justificar el envío a algún sitio de reproceso. El mercurio metálico y los desechos organomercuriales deben almacenarse en contenedores herméticos hasta su reproceso comercial.
- 13.2 Cada laboratorio debe contemplar dentro de su programa de Control de Calidad (CC) el destino final de los residuos generados durante la determinación.
- 13.3 Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga al sistema de alcantarillado pueden ser descargadas en el mismo.

14 BIBLIOGRAFÍA

- NOM-001-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997.
- NOM-008-SCFI-1993 Sistema General de Unidades de Medida,



publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de octubre de 1993.

NMX-AA-003-1980	Aguas residuales - Muestreo. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.
NMX-AA-014-1980	Cuerpos receptores - Muestreo. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de septiembre de 1980.
NMX-AA-089/1-1986	Protección al ambiente - Calidad del agua - Vocabulario - Parte 1. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de julio de 1986.
PROY-NMX-AA-115-SCFI-2001	Análisis de agua - Criterios generales para el control de la calidad de resultados analíticos. Aviso de consulta pública publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de noviembre de 1999.
PROY-NMX-AA-116-SCFI-2001	Análisis de agua - Guía de solicitud para la presentación de métodos alternos. Aviso de consulta pública publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de noviembre de 1999.
ASTM D-1252-83	“Standard Test Method for Chemical Oxygen Demand in Water”, American Society for Testing Materials, USA, ASTM Committee on Standards, Philadelphia PA, vol. 11.02, pp 62-68, 1994.
	Método 5220-C. “Chemical Oxygen Demand” “Closed Reflux, Colorimetric Method”, American Public Health Association, “Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater”, American Public Health Association, United States of America, Washington, DC 20005, 19th Edition 1995, pp. 5-12,5-16.

15 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

Esta norma mexicana no es equivalente a ninguna norma internacional por no existir referencia alguna al momento de su elaboración.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

NMX-AA-030-SCFI-2001
18/18

EL DIRECTOR GENERAL DE NORMAS.

MIGUEL AGUILAR ROMO

JADS/AFO/DLR/MRG.

NMX-AA-030-SCFI-2001

**ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA
QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES
Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA
A LA NMX-AA-030-1981)**

**WATER ANALYSIS - DETERMINATION FOR CHEMICAL OXYGEN
DEMAND IN NATURAL, WASTEWATERS AND WASTEWATERS
TREATED - TEST METHOD**



P R E F A C I O

En la elaboración de la presente norma mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

- CASA ROCAS, S.A. DE C.V.
- CENTRO DE SERVICIOS QUÍMICOS DE AGUASCALIENTES
- CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA
- COMISIÓN ESTATAL DE AGUA Y SANEAMIENTO
- COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA
- COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE
- CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES
- FISHER SCIENTIFIC MEXICANA, S.A. DE C.V.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica;
Dirección General de Normatividad y Apoyo Técnico.
- INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA



- INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES
Campus Monterrey.
- LABORATORIO DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.
- LABORATORIO DE PEMEX PERFORACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
POZOS
- LABORATORIO DE QUÍMICA DEL MEDIO E INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.
- LABORATORIO IDECA, S.A. DE C.V.
- LABORATORIO QUÍMICO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.
- LABORATORIOS ABC QUÍMICA, INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS, S.A. DE
C.V.
- MERCK- MÉXICO, S.A. DE C.V.
- NOVAMANN, S.A. DE C.V.
Laboratorio Control Químico.
- PERKIN ELMER DE MÉXICO, S.A. DE C.V.
- PETROQUÍMICA CANGREJERA, S.A. DE C.V.
- PETROQUÍMICA MORELOS, S.A. DE C.V.
- PETROQUÍMICA PAJARITOS, S.A. DE C.V.



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

NMX-AA-030-SCFI-2001

- PROTECCIÓN AMBIENTAL Y ECOLOGÍA, S.A. DE C.V.
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- SECRETARÍA DE SALUD
- SERVICIOS AMBIENTALES MÚLTIPLES E INGENIERÍA, S.A. DE C.V.
- SERVICIOS DE INGENIERÍA Y CONSULTORÍA AMBIENTAL, S.A. DE C.V.
- SISTEMA INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Azcapotzalco.
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Química;
Instituto de Geofísica;
Instituto de Ingeniería.
- VARIAN, S.A. DE C.V.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Número del capítulo

Página



SECRETARÍA DE
ECONOMÍA
DGN

NMX-AA-030-SCFI-2001

0	Introducción	1
1	Objetivo y campo de aplicación	1
2	Principio del método	2
3	Definiciones	2
4	Reactivos y patrones	6
5	Equipo y materiales	9
6	Recolección, preservación y almacenamiento de muestras	10
7	Control de calidad	10
8	Calibración	11
9	Procedimiento	11
10	Cálculos	13
11	Interferencias	14
12	Seguridad	15
13	Manejo de residuos	16
14	Bibliografía	17
15	Concordancia con normas internacionales	18