



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“ESTADO DEL ARTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS
FRACCIONES DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COMO
APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES EN LA PROVINCIA DE
COTOPAXI AÑO 2020”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente

Autor

Real Gaibor Morella Malu

Tutor

Ágreda Oña José Luis Mg.

LATACUNGA – ECUADOR

Septiembre 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Morella Malu Real Gaibor, con cédula de ciudadanía No. 1753620150, declaro ser autora del presente proyecto de investigación: “Estado del arte para la determinación de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno como aplicación en aguas residuales en la Provincia de Cotopaxi año 2020”, siendo el Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 17 de Septiembre del 2020

Morella Malu Real Gaibor
CC: 1753620150

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **REAL GAIBOR MORELLA MALU**, identificada con cédula de ciudadanía **1753620150** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería en Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Proyecto de Investigación**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad, según las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Fecha de inicio de carrera: Septiembre 2015 - Febrero 2016

Fecha de finalización: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Aprobación en Consejo Directivo: 07 de Julio del 2020

Tutor: Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña

Tema: “Estado del arte para la determinación de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno como aplicación en aguas residuales en la Provincia de Cotopaxi año 2020”

CLÁUSULA SEGUNDA. – **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y temor en la ciudad de Latacunga a los 17 días del mes de Septiembre del 2020.

Morella Malu Real Gaibor

LA CEDENTE

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“ESTADO DEL ARTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COMO APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI AÑO 2020”, de Morella Malu Real Gaibor, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 17 de Septiembre del 2020

Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña
TUTOR DEL PROYECTO
CC: 0401332101

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Real Gaibor Morella Malu, con el título del Proyecto de Investigación: “ESTADO DEL ARTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COMO APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI AÑO 2020”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 17 de Septiembre del 2020

Ing. M.Sc. Vinicio Mogro Cepeda
LECTOR 1 (PRESIDENTE)
CC: 0501657514

Ing. M.Sc. Patricio Clavijo Cevallos
LECTOR 2
CC: 0501444582

Prof. M.Sc. Joseline Ruiz Depablos
LECTOR 3
CC: 1758739062

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios por todas las bendiciones que ha puesto en mi vida, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por formarme como profesional, así como a los docentes que guiaron mi camino con su enseñanza. A mi familia, mi madre Ana, mi hermana Jhoana y mi sobrino Juan Manuel, que con su infinito cariño hacen de mí una mejor persona cada día. Finalmente agradezco con un enorme cariño a mis amigos: Ángel, Frank y Neptalí quienes desde el cielo supieron darme fuerzas para sobrellevar los obstáculos que se presentaron a lo largo de los años.

Morella Malu Real Gaibor

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico primordialmente a mi madre que con su esfuerzo, amor y sacrificio diario me permitió culminar esta importante etapa de mi vida, así como a mi hermana quien ha sido mi ejemplo de valentía, constancia y responsabilidad, sabiendo guiarme no solo en mi vida personal sino también en el ámbito académico. A mi sobrino que con su amor incondicional me motiva a seguir adelante. A mis más sinceros amigos Roxana y Jorge quienes supieron acompañarme en los momentos más difíciles a lo largo de todo este tiempo. De igual forma a todas las personas que me brindaron conocimiento.

Malu

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ESTADO DEL ARTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COMO APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI AÑO 2020”

AUTOR: Real Gaibor Morella Malu

RESUMEN

Los principales ríos de la Provincia de Cotopaxi se encuentran contaminados por diversas actividades antrópicas, lo que incide en la afectación de la salud en la población, ya que muchas personas que habitan a orillas de los cuerpos de agua de la Provincia, emplean directamente este recurso para realizar diversas actividades. A pesar de esto, el tratamiento que reciben las aguas residuales es ineficiente, motivo por el cual precisan de una caracterización minuciosa de los componentes del agua residual. De manera que, se elaboró una propuesta metodológica para determinar el fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno a través del modelo de Lodos Activados (ASM1) por sus siglas en inglés, se planteó la aplicación de una metodología combinada: físico química, desarrollada por la Fundación Holandesa de Investigación Aplicada (Protocolo de STOWA) por sus siglas en holandés, y una metodología biológica (Respirométrica), mediante las cuales se expresaron procedimientos para determinar las fracciones principales de la Demanda Química de Oxígeno. Al no existir una metodología estándar, se recopilieron datos de estudios sobre el fraccionamiento de la DQO, aplicando el Protocolo STOWA y métodos respirométricos en diversas plantas de tratamiento. Para representar la eficacia del Protocolo STOWA se realizaron gráficas de biocinética para las cuales se tomaron los valores más representativos, expresados por Sánchez, Ribes *et al* (2017), Baquero *et al* (2016) y Vázquez *et al* (2013), conjuntamente se utilizaron valores estequiométricos estándar que presenta el modelo ASM1. También, se compararon porcentajes estimados por la Asociación Internacional del Agua, en base a la presencia de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales sin tratar, con porcentajes presentados por autores como: Kappeler y Gujer (1992), Sozen *et al* (1998), Pluciennik, Jakubaszek *et al* (2017) y Ekama *et al* (1986) los cuales emplearon métodos respirométricos. Los resultados obtenidos muestran una variación significativa entre metodologías, esto radica en la composición diversa de las aguas residuales y las condiciones específicas en las que se encuentran, en las gráficas de biocinética se observó un porcentaje de error por ajuste de variables, sin embargo, los métodos analizados se consideran aplicables para determinar el fraccionamiento de la DQO ya que las gráficas no arrojaron valores negativos.

Palabras clave: Fraccionamiento de la DQO, microorganismos aerobios y anaerobios, nitrógeno, oxígeno.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “STATE OF THE ART FOR THE DETERMINATION OF THE CHEMICAL OXYGEN DEMAND FRACTIONS AS APPLICATION IN WASTEWATER IN COTOPAXI PROVINCE YEAR 2020”

AUTHOR: Real Gaibor Morella Malu

ABSTRACT

The main rivers of the Cotopaxi Province are contaminated by various human activities, which affects the health of the population, since many people who live on the banks of the bodies of water of the Province, directly use this resource to carry out various activities. In spite of this, the treatment that wastewater receives is inefficient, which is why it requires a detailed characterization of the components of the wastewater. Therefore, a methodological proposal was developed to determine the fractionation of the Chemical Oxygen Demand through the Activated Sludge Model (ASM1). The application of a combined methodology was proposed: physical- chemical, developed by the Dutch Foundation for Applied Research (STOWA Protocol) by its acronym in Dutch, and a biological methodology (Respirometry), through which procedures were expressed to determine the main fractions of the Chemical Oxygen Demand. As there is no standard methodology, data were collected from studies on COD fractionation, applying the STOWA Protocol and respirometry methods in several treatment plants. To represent the effectiveness of the STOWA Protocol, biokinetic graphs were made for which the most representative values were taken, expressed by Sanchez, Ribes et al (2017), Baquero et al (2016) and Vazquez et al (2013), jointly using standard stoichiometric values presented by the ASM1 model. Also, percentages estimated by the International Water Association were compared, based on the presence of the fractions of the Chemical Oxygen Demand in untreated wastewater, with percentages presented by authors such as: Kappeler and Gujer (1992), Sozen et al (1998), Pluciennik, Jakubaszek et al (2017) and Ekama et al (1986) which used respirometry methods. The results obtained show a significant variation between methodologies, this is due to the diverse composition of the wastewater and the specific conditions in which they are found, in the biokinetic graphs was observed a percentage of error by adjustment of variables, however, the methods analyzed are considered applicable to determine the fractionation of COD because the graphs did not show negative values.

KEYWORDS: DQO fractionation, Aerobic and anaerobic microorganisms, Nitrogen, Oxygen.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORIA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	4
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5. OBJETIVOS	6
5.1. Objetivo General	6
5.2. Objetivos Específicos	6
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
7.1. Contaminación hídrica en el Ecuador	8
7.2. Contaminación hídrica en la Provincia de Cotopaxi	9
7.3. Las aguas residuales	11
7.3.1. Clasificación de las aguas residuales	11
7.3.1.1. Urbanas	11
7.3.1.2. Industriales	11
7.3.1.3. Mixtas	11
7.3.1.4. Pluviales	11
7.3.1.5. Blancas	11
7.3.2. Composición de las aguas residuales	12
7.4. Caracterización típica de las aguas residuales	16
7.4.1. Características físicas	21

7.4.1.1.	Sólidos.....	21
7.4.1.2.	Sólidos Totales	21
7.4.1.3.	Sólidos volátiles.....	21
7.4.1.4.	Sólidos fijos	21
7.4.1.5.	Sólidos suspendidos	21
7.4.1.6.	Sólidos disueltos.....	21
7.4.1.7.	Sólidos sedimentables.....	22
7.4.1.8.	Olor.....	22
7.4.1.9.	Temperatura	22
7.4.1.10.	Densidad.....	22
7.4.1.11.	Color	22
7.4.1.12.	Turbidez	22
7.4.1.13.	Conductividad.....	22
7.4.1.14.	Transmitancia.....	22
7.4.2.	Características químicas.....	23
7.4.2.1.	Materia orgánica	23
7.4.2.2.	Proteínas.....	23
7.4.2.3.	Hidratos de carbono.....	23
7.4.2.4.	Grasas, grasas animales y aceites.....	23
7.4.2.5.	Agentes tensoactivos.....	23
7.4.2.6.	Contaminantes prioritarios	23
7.4.2.7.	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	23
7.4.2.8.	Pesticidas y productos químicos de uso agrícola	24
7.4.2.9.	Medida del contenido orgánico	24
7.4.2.10.	Demanda bioquímica de oxígeno	24
7.4.2.11.	Demanda química de oxígeno.....	24
7.4.2.12.	Carbono orgánico total	24
7.4.2.13.	Demanda teórica de oxígeno.....	24
7.4.2.14.	Materia inorgánica	24
7.4.2.15.	pH	25
7.4.2.16.	Cloruros.....	25
7.4.2.17.	Alcalinidad	25
7.4.2.18.	Nitrógeno.....	25

7.4.2.19.	Fósforo.....	25
7.4.2.20.	Azufre	25
7.4.2.21.	Compuestos tóxicos inorgánicos.....	25
7.4.2.22.	Metales pesados	25
7.4.2.23.	Oxígeno disuelto	26
7.4.2.24.	Sulfuro de hidrógeno.....	26
7.4.2.25.	Metano.....	26
7.4.3.	Características biológicas	26
7.4.3.1.	Microorganismos	26
7.4.3.2.	Bacterias.....	26
7.4.3.3.	Hongos.....	27
7.4.3.4.	Algas	27
7.4.3.5.	Protozoos	27
7.4.3.6.	Plantas y animales	27
7.4.3.7.	Virus	27
7.4.3.8.	Organismos patógenos	27
7.4.3.9.	Uso de organismos indicadores	27
7.4.3.10.	Ensayos de toxicidad	27
7.5.	Caracterización específica del agua residual	28
7.6.	Fraciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	28
7.6.1.	Fracción fácilmente biodegradable <i>SS</i>	30
7.6.2.	Fracción lentamente biodegradable <i>XS</i>	31
7.6.3.	Fracción soluble no biodegradable (inerte) <i>SI</i>	31
7.6.4.	Partículas no biodegradables (inertes) <i>XI</i>	31
7.6.5.	Fraccionamiento del Nitrógeno.....	32
7.6.6.	Fraccionamiento del fósforo	32
7.7.	Metodologías para determinar las fracciones de la DQO.....	35
7.7.1.	Fraccionamiento de la DQO vía físico - químico.....	35
7.7.1.1.	Protocola de la STOWA utilizando la DQO, DBO5 y DBOu.....	35
7.7.2.	Método biológico	39
7.7.2.1.	Respirometría	39
7.7.2.1.1.	Determinación de la biomasa presente en la DQO del agua residual.....	40
7.7.2.2.	Pruebas por lotes	43

7.8.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales	43
7.8.1.	Tipos de tratamiento	44
7.8.1.1.	Pretratamiento	44
7.8.1.2.	Tratamiento primario	44
7.8.1.3.	Tratamiento secundario	44
7.8.1.3.1.	Tratamiento en sistemas aerobios	47
7.8.1.3.1.1.	Tratamiento de lodos activados	47
7.8.1.3.2.	Tratamiento en sistemas anaerobios	50
7.8.1.4.	Tratamiento terciario	50
7.9.	Modelos de lodos activados (ASM1, ASM2 y ASM3)	50
7.9.1.	Modelo de lodo activado ASM1	51
7.9.1.1.	Procesos dinámicos del modelo ASM1	51
7.9.1.1.1.	Crecimiento aerobio de heterótrofos	51
7.9.1.1.2.	Crecimiento anóxico de heterótrofos	51
7.9.1.1.3.	Crecimiento aerobio de autótrofos	51
7.9.1.1.4.	Decaimiento de heterótrofos	51
7.9.1.1.5.	Decaimiento de autótrofos	51
7.9.1.1.6.	Saturación de amoníaco del nitrógeno orgánico soluble	52
7.9.1.1.7.	Hidrólisis de compuestos orgánicos retenidos en la biomasa	52
7.9.2.	Estequiometría y Cinética	57
7.9.2.1.	Estequiometría	58
7.9.2.2.	Cinética	58
7.9.3.	Modelo de lodo activado ASM2	61
7.9.4.	Modelo de lodos activados ASM3	61
7.10.	Modelado y simulación de Plantas de Tratamiento de aguas residuales con lodos activados	62
7.10.1.	Modelado y simulación	63
7.11.	Marco legal	65
8.	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA	66
9.	METODOLOGÍAS/ DISEÑO NO EXPERIMENTAL	67
9.1.	Metodologías	67
9.1.1.	Técnicas	67
9.1.1.1.	Documental	67

9.1.1.2.	Estudio de Caso	68
9.1.2.	Métodos	68
9.1.2.1.	Método analítico – sintético	68
9.1.2.2.	Método inductivo	68
9.1.2.3.	Método sistémico	68
9.1.2.4.	Método comparativo	68
9.1.2.5.	Método cuantitativo	69
9.1.2.6.	Método exploratorio	69
9.2.	Diseño no experimental	69
9.2.1.	Diseño Transeccional	69
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	69
10.1.	Gráficas de biocinética	73
10.1.1.	Determinación de S_s	74
10.1.2.	Determinación de X_S	77
11.	ESTABLECIMIENTO DE UNA PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DE LA DQO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI	78
11.1.	Introducción	78
11.2.	Objetivos	79
11.2.1.	Objetivo General	79
11.2.2.	Objetivos Específicos	79
11.3.	Planteamiento y Justificación	79
11.4.	Metodología Propuesta	80
11.4.1.	Muestreo	81
11.4.2.	Tratamiento de muestras	82
11.4.2.1.	Influyente y efluente	82
11.4.2.2.	Licor mixto	82
11.4.3.	Fraccionamiento de la DQO por el método STOWA	82
11.4.3.1.	Determinación de la DQO_{total}	82
11.4.3.2.	Determinación de la $DQO_{soluble}$	83
11.4.3.3.	Determinación de la fracción soluble no biodegradable S_i	83
11.4.3.4.	Determinación de la fracción soluble fácilmente biodegradable SS	83
11.4.3.5.	Determinación de la fracción particulada lentamente biodegradable X_S	83
11.4.3.5.1.	Análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para calcular $DQOb$	83

11.4.3.5.2.	Cálculo de X_S	84
11.4.3.6.	Determinación de la fracción particulada no biodegradable X_i	84
11.4.4.	Parámetros cinéticos y estequiométricos en base al modelo ASM1.....	84
11.4.4.1.	Determinación del rendimiento heterotrófico Y_h	84
11.4.4.2.	Determinación del coeficiente de decaimiento heterotrófico b_h	85
11.4.4.3.	Determinación de la tasa máxima de crecimiento específico de la biomasa heterotrófica μ_h	85
11.4.4.4.	Determinación de la biomasa heterotrófica inicial X_{h0}	86
11.4.4.5.	Determinación de la materia orgánica fácilmente biodegradable SS por respirometría.....	86
11.5.	Conclusiones.....	86
12.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	87
12.1.	Impactos técnicos.....	87
12.2.	Impactos sociales.....	87
12.3.	Impactos ambientales.....	87
12.4.	Impactos económicos.....	88
13.	PRESUPUESTO.....	89
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
15.	REFERENCIAS.....	92
ANEXOS	1
Anexo No. 1.	Diagrama de flujo del cálculo de la fracción DQO.....	1
Anexo No. 2.	Degradación de DQO en (a) ASM1 y (b) ASM3.....	1
Anexo No. 3.	Aval de Traducción.....	3
Anexo No. 4.	Hoja de Vida del Tutor.....	4
Anexo No. 5.	Hoja de Vida de la estudiante.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	4
Beneficiarios del Proyecto.....	4
Tabla 2	7
Actividades de los objetivos planteados.....	7
Tabla 3	13
Fuentes y componentes de las aguas residuales	13
Tabla 4	14
Contenido de aguas residuales típicas en algunas industrias importantes.....	14
Tabla 5	17
Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual	17
Tabla 6.....	19
Análisis comunes usados para determinar la calidad de las aguas residuales	19
Tabla 7	46
Tratamientos biológicos	46
Tabla 8.....	49
Reacciones globales de transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos del agua residual	49
Tabla 9.....	53
Matriz estequiométrica del ASM1: cinética de oxidación carbonosa, nitrificación y desnitrificación	53
Tabla 10.....	56
Matriz de procesos de un modelo que representa un crecimiento aerobio heterótrofo	56
Tabla 11	59
Parámetros estequiométricos y cinéticos del modelo ASM1	59
Tabla 12	60
Valores por defecto de parámetros del ASM 1.....	60
Tabla 13	71
Comparación de los resultados obtenidos en diversas Plantas de Tratamiento.....	71
Tabla 14	72
Valores de las fracciones de la DQO por la Asociación Internacional del Agua (IWA)	72
Tabla 15	73
Proporción de la fracción de DQO en aguas residuales municipales sin tratar	73
Tabla 16	89
Presupuesto para la elaboración del proyecto.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	29
Distribución de fracciones de DQO en aguas residuales.....	29
Figura 2.....	48
Diagrama de bloques de un proceso de tratamiento biológico de agua residual con énfasis en el proceso de lodos activos.....	48
Figura 3.....	55
Fraccionamiento de la materia orgánica del agua residual.....	55
Figura 4.....	64
Protocolo propuesto por STOWA para la simulación de plantas de tratamiento.....	64
Figura 5.....	75
DQO Fácilmente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 9.....	75
Figura 6.....	76
DQO Fácilmente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 16.....	76
Figura 7.....	76
DQO Fácilmente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 18.....	76
Figura 8.....	77
DQO Lentamente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 9, 16 y 18.....	77

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Estado del arte para la determinación de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno como aplicación en aguas residuales en la Provincia de Cotopaxi año 2020”.

Lugar de ejecución:

Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, carrera de Ingeniería en Medio Ambiente.

Nombres de equipo de investigación:

Tutor: Ing. Mg. José Luis Ágreda Oña.

Estudiante: Srta. Morella Malu Real Gaibor.

LECTOR 1: Ing. M.Sc. Yenson Vinicio Mogro Cepeda.

LECTOR 2: Ing. M.Sc. Manuel Patricio Clavijo Cevallos.

LECTOR 3: Prof. M.Sc. Joseline Luisa Ruiz Depablos.

Área de Conocimiento:

Ciencia Naturales. Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

Línea de investigación:

- Energías alternativas y renovables
- Eficiencia energética y Protección Ambiental

Sub Línea de Investigación Carrera:

Manejo de Recursos Hídricos

Línea de Vinculación:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Según Arana *et al.* (2016) expresan que los principales ríos de Ecuador presentan impactos negativos por actividades antrópicas. Del mismo modo Pernía *et al.* (2018) aseveran que la contaminación hídrica en Ecuador se ha incrementado en los últimos años, de ahí que los vertidos que son realizados, una gran parte no reciben tratamiento previo, lo que incide en la presencia de contaminantes de diverso origen que alteran la flora y fauna acuática, así como la salud de la población.

De acuerdo a La Hora (2019) un estudio realizado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) pone en evidencia el grado de contaminación existente en el río Cutuchi, Provincia de Cotopaxi, dando como resultado que el río tiene contaminación media de plomo, fosfato, hidrocarburos y un nivel alto de coliformes por la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales.

De modo similar El Telégrafo (2019) menciona que en Cotopaxi diariamente se descargan más de 40000 m³ de aguas servidas al río Cutuchi, mientras que el río Pumacunchi recibe más de 5550 m³, además existen aguas residuales de origen industrial, principalmente de industrias metalúrgicas, curtiembres, talleres de ensamblaje, de plásticos, entre otros.

Es por ello que nace la necesidad de implementar diversos tratamientos de agua para sanear o depurar las aguas residuales. Siendo así preciso realizar una valoración de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual. Esta caracterización determina el tratamiento adecuado a emplearse en base al tipo de contaminantes encontrados, por lo general se realizan análisis sobre: sólidos totales, turbiedad, pH, alcalinidad, cloruros, sulfatos, metales, Demanda Biológica de oxígeno a 5 días (DBO5), organismos Coliformes, toxicidad, Demanda Química de Oxígeno (DQO), entre otros.

Pese a ello, los parámetros convencionales que son analizados para caracterizar las aguas residuales como la DBO o DQO permiten conocer la cantidad de materia orgánica, sin embargo, no ofrecen información específica sobre la biodegradabilidad de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales, para obtener esta información se divide la DQO en fracciones. (Pluciennik y Myszograj, 2019)

Asimismo, Gutiérrez y Moreno (2018) exponen que el fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno permite conocer la concentración de fracciones biodegradables y no biodegradables de la materia orgánica, además de compuestos inorgánicos que pueden ser oxidados químicamente.

Al conocer estas fracciones se eleva la efectividad del tratamiento biológico, por lo que, a su vez permite mejorar el diseño y modelado de sistemas de eliminación de componentes biogénicos (Myszograj *et al.* 2017).

Esta caracterización específica de las aguas residuales aporta a la selección y diseño de tecnologías de tratamiento apropiadas, gestionando y aprovechando los recursos hídricos, optimizando los procesos de eliminación biológica de nutrientes y proponiendo un mejor modelado matemático de los procesos biológicos de tratamiento para así eliminar la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua. De igual manera, contribuye a mejorar el tratamiento general de las aguas residuales lo que incide en la biodiversidad acuática al depositar agua de mejor calidad en los cuerpos hídricos, a la vez esto se vincula con el desarrollo humano y social ya que beneficia a la población de la Provincia de Cotopaxi puesto que al ser netamente un sector agrícola precisa emplear agua de buena calidad en dichas actividades, lo que repercute en el mejoramiento de la salud de la población al consumir alimentos sanos y emplear los recursos hídricos para diversas actividades.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 1

Beneficiarios del Proyecto

BENEFICIARIOS DIRETOS		BENEFICIARIOS INDIRECTOS	
Población de la Provincia de Cotopaxi		Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental	
Hombres	397250	Hombres	201
Mujeres	421160	Mujeres	321
Total	818410	Total	522

Fuente: El Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, 2012. Universidad Técnica de Cotopaxi, 2020.

Elaborado por: Morella Real, 2020.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Hernández *et al.* (2016) América Latina y el Caribe es una región que posee una alta disposición de recursos hídricos, aproximadamente contiene un tercio de dichos recursos, a pesar de ello, tan solo el 20% de las aguas residuales de origen doméstico son tratadas, esto está vinculado a que en la mayoría de los países de América Latina las plantas de tratamiento de aguas son abandonadas por sus elevados costos operativos o su bajo rendimiento.

América Latina tiene una población actual de 638 millones, como se mencionó, dispone de abundantes recursos hídricos, por ejemplo, en Ecuador la disponibilidad hídrica es de 442.4 mm³/año y 28.110 m³/hab/año. Es así, que los recursos hídricos juegan un papel importante en el desarrollo social y económico de esta región, ya que solo para uso doméstico y productivo se disponen 290 millones de metros cúbicos de agua al año. No obstante, alrededor de 61 millones de habitantes no tienen acceso a instalaciones de saneamiento, hecho que se ve reflejado en la falta de tratamiento de aguas residuales, tan solo cerca del 25% y 30% de los efluentes son tratados, esto degrada significativamente los cuerpos de agua. (Banco Interamericano de desarrollo [BID], 2018)

Según Cedeño (2020) Ecuador se compone de una importante red hídrica, aunque muchos de sus ríos se encuentran contaminados por aguas residuales, desechos sólidos, contaminantes químicos de origen industrial, agroquímicos, entre otros.

Asimismo, Velasco *et al.* (2019) manifiestan que este problema se agrava ya que, se estima que tan solo se realiza un tratamiento adecuado de entre el 10% y 25% de las aguas residuales.

De acuerdo a La Hora (2016) La falta del tratamiento de aguas residuales está relacionada con las pocas infraestructuras existentes para realizar estos tratamientos, los costos de construcción y operación para plantas de tratamiento demandan inversiones millonarias, por lo cual, muchas veces este tipo de proyectos no se llegan a culminar. Por lo que según Torske (2019) la mayoría de ciudades del Ecuador no disponen de plantas de tratamiento de aguas residuales adicionalmente tampoco cuentan con alcantarillados separados para aguas servidas y aguas de lluvia lo cual causa complicación en el tratamiento de agua.

Son muchos los factores a tomar en consideración para adecuar un correcto sistema de tratamiento de aguas residuales, factores sociales, económicos, aspectos de gobernabilidad, entre otros. Pero es esencial caracterizar el tipo de agua residual a tratar, si bien los análisis están relacionados con el origen del efluente, es importante aplicar una caracterización detallada de las aguas para emplear un tratamiento efectivo. Con el fin de aplicar una caracterización específica de las aguas residuales con énfasis al tratamiento biológico, se creó el Modelo de Lodo Activado o Active Sludge Model (ASM), el cual detalla la dinámica de la degradación de materia orgánica, nitrificación y desnitrificación con base en ecuaciones cinéticas y estequiométricas.

Como lo manifiestan Larriva *et al.* (2018) en la actualidad se toma como prioridad evaluar la Demanda Química de Oxígeno en relación con la Demanda Biológica de Oxígeno principalmente por la velocidad en la que se determina el parámetro de la DQO a diferencia de los días que conlleva determinar la DBO, a pesar de esto y del desarrollo que han tenido los Modelos de Lodo Activado a través del tiempo, no son aplicados en su totalidad en la caracterización de aguas residuales. Lo que incide en los bajos niveles de degradación de contaminantes en las plantas de tratamiento y la aplicación de un sistema poco eficiente.

5. OBJETIVOS

5.1.Objetivo General

- Recopilar información bibliográfica sobre la dinámica de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno en aguas residuales y plantear una metodología para su aplicación en la Provincia de Cotopaxi.

5.2.Objetivos Específicos

- Identificar el funcionamiento y principales ventajas de la determinación de las fracciones de la DQO en el desempeño de un biofiltro en una planta de tratamiento de aguas residuales.
- Analizar las metodologías existentes para la determinación de las fracciones de la DQO.
- Proponer un método eficiente para la caracterización de las fracciones de la DQO en aguas residuales de la Provincia de Cotopaxi.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2

Actividades de los objetivos planteados

Objetivos	Actividades	Resultados de las actividades	Descripción de las actividades
O.1.- Identificar el funcionamiento y principales ventajas de la determinación de las fracciones de la DQO en el desempeño de un biofiltro en una planta de tratamiento de aguas residuales.	Investigación bibliográfica sobre la dinámica de las fracciones de la DQO, los modelos de lodo activado y las constantes cinéticas y estequiométricas.	Conocimiento sobre el comportamiento y la influencia de la DQO en los procesos operativos de un biofiltro y como estas intervienen en la calidad final de las aguas tratadas.	Comparación entre artículos científicos que avalen los resultados obtenidos.
O.2.- Analizar las metodologías existentes para la determinación de las fracciones de la DQO.	Estudio de las metodologías más empleadas para conocer las fracciones de la DQO.	Establecer una metodología adecuada para el análisis de las fracciones de DQO en relación a los componentes de las aguas residuales de la Provincia de Cotopaxi.	Elaboración de gráficas de biocinética en base a valores expresados por diversas investigaciones .
O.3.- Proponer un método eficiente para la caracterización de las fracciones de la DQO en aguas residuales de la Provincia de Cotopaxi.	Búsqueda de los principales sectores industriales que contaminan de manera significativa los cuerpos de agua más representativos de la Provincia de Cotopaxi.	Propuesta para mejorar los procesos biológicos en el Diseño de Plantas de Tratamiento de aguas residuales.	Recopilación de las metodologías más empleadas y factibles para el fraccionamiento de la DQO.

Elaborado por: Morella Real, 2020.

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Contaminación hídrica en el Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador garantiza el uso y aprovechamiento del agua, así como su cuidado, sin embargo, el panorama que percibe el Ecuador frente a la contaminación hídrica no es nada alentador, dicha contaminación es causada por fuentes naturales y antropogénicas, lo cual provoca el decrecimiento en la calidad del agua y los seres vivos. (Baque *et al*, 2016)

Las entidades públicas son las encargadas de gestionar el manejo de residuos sólidos, así como administrar los servicios ambientales, lo que incluye la purificación y tratamiento del agua, sin embargo, se estima que cerca del 70% de las ciudades del Ecuador no cuentan con un sistema eficiente de manejo de residuos sólidos y vierten dichos residuos directamente a los ríos, cuerpos de agua y quebradas. (Gonzaga *et al*, 2017)

Es importante mencionar que Ecuador cuenta con una de las mayores reservas de agua en América del Sur por lo cual es de suma importancia la protección de este recurso, pese a esto la contaminación está en aumento, principalmente en las áreas más pobladas. De ahí que, gran parte de los ríos de Ecuador presentan niveles altos de DBO, nitrógeno y fósforo, siendo uno de los principales focos de contaminación residuos domésticos, agrícolas y químicos. (Antúnez y Guanoquiza, 2019)

De igual manera la Cuenca del Río Guayas, la cual es una de las principales Cuencas del Ecuador se presenta gravemente afectada ya que posee un alto porcentaje de actividades antropogénicas cerca de cuerpos de agua, afectando la calidad del recurso, como a los servicios relacionados con los ecosistemas. Un análisis ecológico llevado a cabo en el Río Guayas en relación con su calidad de agua mostro un índice de calidad mala en las zonas más pobladas. (Ambarita *et al*, 2016)

Así mismo en las zonas altas de los páramos, lugar donde se producen las fuentes de agua primarias, están siendo intervenidas por el aumento constante de la población, y la frontera agrícola lo que influye en las condiciones de disponibilidad de agua en relación a su calidad, debido a que se genera una sobre explotación del recurso hídrico, a su vez, causando también la pérdida de la cobertura vegetal especialmente en zonas de recarga. (Terneus y Yáñez, 2018)

7.2. Contaminación hídrica en la Provincia de Cotopaxi

Los principales cuerpos de agua de la Provincia de Cotopaxi están conformados por el Río Cutuchi que posee una extensión de 11,77 Km de longitud, el Río Álaquez de 5,64 Km, el Río Pumacunchi de 9,04 Km, el Río Yanayacu de 4,33 Km el cual realiza un recorrido de este a oeste y el Río Cunuyacu de 3,40 Km. Todos ellos aportan a la Cuenca del Cutuchi, sin embargo, cerca del 70% del agua que conforma el Río Cutuchi presenta mala calidad por la contaminación que se produce en la Cuenca por diversos procesos antropogénicos. (Llerena, 2016)

Se estima que la provincia de Cotopaxi posee 818410 habitantes, de los cuales cerca del 70% se encuentran ubicados en la Cuenca del Cutuchi, un gran porcentaje del recurso hídrico que es consumido por la población posteriormente se convierte en agua residual, pero por el ineficiente sistema de depuración de aguas residuales, más del 95 % de estas se vierten directamente a cuerpos de agua sin ser tratadas previamente, lo que conlleva a una contaminación crítica de este recurso. (Mayorga y Carrera, 2015)

A pesar de esto en la actualidad existe escasa información de estudios recientes para determinar la contaminación y calidad del agua en la provincia de Cotopaxi, pese a que una de las principales actividades económicas de la Provincia es la agricultura, en la que se emplea gran cantidad de agua para riego, siendo así fundamental conocer la calidad del agua que se administra en dicha actividad ya que está relacionada directamente con la salud de la población.

De igual manera, en Cotopaxi existen diversas industrias de diferente índole, muchas de estas arrojan sus desechos sin previo tratamiento en los principales cuerpos de agua de Cotopaxi, como los Ríos Cutuchi y Pumacunchi, representando un riesgo significativo para la salud de la población como la calidad de estos Ríos, ya que posteriormente estas aguas desembocan en el canal de riego Latacunga – Salcedo – Ambato. Además, gran parte de la población cercana a este canal emplea el agua de estos Ríos para actividades domésticas. (Sánchez, Pérez *et al*, 2020)

Teniendo en cuenta que la agricultura y la ganadería se practica en un mayor porcentaje en esta zona, se evidencia el empleo de fertilizantes químicos, herbicidas, entre otros. Los cuales provocan el deterioro de las cuencas hidrográficas, así como del suelo, al incrementar la erosión, materia fecal del ganado y los lixiviados originados de los fertilizantes y pesticidas usados. Todos estos procesos contribuyen a incrementar exponencialmente la carga orgánica, es así que, un estudio llevado a cabo para evaluar la calidad del agua en sectores agrícolas de la Provincia de Cotopaxi, determinó que existe degradación y mala calidad del agua por este tipo de actividad. (Guerrero *et al*, 2017)

Del mismo modo se realizó un estudio del impacto que conllevan las actividades ganaderas en la Provincia, principalmente en zonas montañosas, tomando como muestras diversas entidades dedicadas a dicha actividad, los resultados que se obtuvieron demostraron que existe degradación ambiental y contaminación de aguas por la desmedida carga animal y alta intensidad de pastoreo, además de que carecen de un sistema eficiente de captación de agua. (Vargas *et al*, 2012)

Un estudio realizado en marco de la gestión de las políticas ambientales para la conservación del Río Cutuchi evidenció que pese al existir proyectos dirigidos para mitigar el impacto ambiental en dicho Río, existe una estrecha relación con la educación ambiental, el cumplimiento, control y eficacia de las políticas ambientales. Si bien el problema principal parte del inadecuado manejo del recurso hídrico y el escaso o nulo tratamiento de aguas servidas generadas por la población y empresas privadas, este se vincula con la limitada responsabilidad institucional en temas de control ambiental. (Guanoquiza *et al*, 2019)

Las autoridades de la Provincia de Cotopaxi están conscientes del estado en el que se encuentran los principales cuerpos de agua de esta zona y que se necesita un accionar de manera urgente, ya que se evidencia gran repercusión negativa por los varios desechos, en su mayoría, provenientes de fábricas como: productos químicos, aceites, entre otros. Así como también el desfogue de aguas servidas.

En consecuencia, esta problemática afecta alrededor de 17 mil usuarios, quienes son beneficiarios del canal de riego Latacunga – Salcedo – Ambato, al emplear agua de mala calidad en sus cultivos, de igual manera la salud de la población se vulnera al adquirir este tipo de alimentos, además de utilizar el agua en diferentes actividades domésticas. (Vargas *et al*, 2012)

7.3. Las aguas residuales

Las aguas residuales son originadas por actividades humanas de carácter doméstico, comercial, industrial, agrario, ganadero, entre otros, se caracterizan por presentar un porcentaje de residuos contaminantes (Trapote, 2017).

7.3.1. Clasificación de las aguas residuales

López y Calderón (2017) proponen la siguiente clasificación de aguas residuales:

- 7.3.1.1. Urbanas:** Proviene de las actividades domésticas, ya sean excreciones o residuos domésticos.
- 7.3.1.2. Industriales:** Se originan por procesos que se llevan a cabo en las industrias, este tipo de aguas se caracteriza por su alto nivel de contaminantes, los cuales varían su composición en referencia al tipo de industria
- 7.3.1.3. Mixtas:** Estas surgen de la mezcla de aguas residuales urbanas e industriales, por lo cual exigen un tratamiento específico y avanzado.
- 7.3.1.4. Pluviales:** Estas aguas corresponden a las escorrentías de las precipitaciones.
- 7.3.1.5. Blancas:** Nacen por la infiltración del agua de lluvia, por lo tanto, el nivel de contaminación que presenta es escaso.

Las aguas residuales conforman uno de los factores principales de contaminación a las aguas marinas costeras, fuentes de agua superficial, incluso produce alteración en el suelo y las aguas subterráneas por la excesiva carga orgánica que contienen. De igual manera los agentes químicos presentes en las aguas residuales afectan tanto a los ecosistemas como a la salud de la población. (Lazcano, 2016)

El panorama que se percibe con respecto al saneamiento de las aguas residuales a nivel de América Latina es poco alentador, se estima que solo el 51% de la población regional tiene acceso a sistemas de alcantarillado y saneamiento, como consecuencia alrededor de 130 millones de personas no cuentan con acceso a un tratamiento adecuado de las aguas residuales, además un gran porcentaje de plantas de tratamiento funcionan a un nivel deficiente y limitado tratando aproximadamente el 20% del agua residual. (Sánchez J, 2017)

7.3.2. Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales de concentración media presentan aproximadamente el 75% de los sólidos que se encuentran en suspensión y el 40% de sólidos filtrables, los cuales son de naturaleza orgánica. Es decir, se derivan de desechos de animales, residuos vegetales y de las actividades humanas que tienen relación con los compuestos orgánicos. (Raffo y Ruiz, 2014)

Sin embargo, la composición de las aguas residuales varía en relación con las diversas fuentes de origen manifestando concentraciones variables de compuestos. Por ejemplo, las aguas residuales domésticas y municipales por lo general contienen una alta carga bacteriana, a diferencia de las aguas residuales industriales que contienen compuestos orgánicos tóxicos como: hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, entre otros. (ONU, 2017)

La tabla 3, presenta diversos tipos de fuentes de aguas residuales y los componentes en mayor concentración que se encuentran en dichas fuentes.

Tabla 3*Fuentes y componentes de las aguas residuales*

Fuentes de aguas residuales	Componentes típicos
Aguas residuales domésticas	Excrementos humanos (microorganismos patógenos), nutrientes y materia orgánica. También pueden contener contaminantes emergentes (por ejemplo, productos farmacéuticos, fármacos y disruptores endocrinos)
Aguas residuales municipales	Muy amplia gama de contaminantes, tales como microorganismos patógenos, nutrientes y materia orgánica, metales pesados y contaminantes emergentes
Escurrentía urbana	Muy amplia gama de contaminantes, incluidos productos de combustión incompletos (por ejemplo, hidrocarburos aromáticos policíclicos y carbón negro/hollines procedentes de la combustión de combustibles fósiles), caucho, aceite de motor, metales pesados, basura no degradable/orgánica (especialmente plásticos de carreteras y estacionamientos), partículas suspendidas, fertilizantes y pesticidas (de césped)
Escurrentía agrícola (flujo superficial)	Microorganismos patógenos, nutrientes de los fertilizantes aplicados a los suelos y pesticidas e insecticidas derivados de las prácticas agrícolas
Acuicultura terrestre	Los efluentes de los estanques de asentamiento son típicamente ricos en materia orgánica, sólidos en suspensión (partículas), nutrientes disueltos, metales pesados y contaminantes emergentes
Aguas residuales industriales	Los contaminantes dependen del tipo de industria
Actividades mineras	El drenaje de relaves, a menudo contiene sólidos en suspensión, alcalinidad, acidez, sales disueltas, cianuro y metales pesados. Puede contener también elementos

	radiactivos, dependiendo de la actividad de la mina
Generación de energía	El agua generada en el sector energético suele ser una fuente de contaminación térmica (agua caliente) y normalmente contiene nitrógeno
Lixiviados de vertedero	Contaminantes orgánicos e inorgánicos, con concentraciones potencialmente altas de metales y químicos orgánicos peligrosos

Fuente: Organización de las Naciones Unidas, 2017.

La tabla 4, detalla el contenido general que se encuentra en aguas residuales de diferentes industrias.

Tabla 4

Contenido de aguas residuales típicas en algunas industrias importantes

Industria	Contenido típico de los efluentes
Pulpa y papel	<ul style="list-style-type: none"> • Ácidos lignosulfónicos clorados, ácidos de resina clorados, fenoles clorados e hidrocarburos clorados. alrededor de 500 compuestos orgánicos clorados identificados • Compuestos coloreados y halógenos orgánicos absorbibles (aOX) • Contaminantes que se caracterizan por DBO, DQO, sólidos en suspensión (SS), toxicidad y color
Hierro y acero	<ul style="list-style-type: none"> • Agua de enfriamiento que contiene amoníaco y cianuro • Productos de gasificación: benceno, naftaleno, antraceno, cianuro, amoníaco, fenoles, cresoles hidrocarburos • Aromáticos policíclicos • Aceites hidráulicos, sebo y sólidos en partículas • Agua ácida de enjuague y residuos de ácidos (clorhídrico y sulfúrico)

Minas y canteras	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla de partículas de roca • Tensioactivos • Aceites y aceites hidráulicos • Minerales no deseados, i.e., arsénico • Limos con partículas muy finas
Industria de alimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Altos niveles de concentraciones de DBO y SS • DBO y pH variable según la verdura, fruta o carne y la estación • Procesamiento de verduras: partículas altas, algunos compuestos orgánicos disueltos, tensioactivos • Carne: orgánicos fuertes, antibióticos, hormonas de crecimiento, pesticidas e insecticidas • Gastronomía: material orgánico vegetal, sal, saborizantes, materia colorante, ácidos, álcalis, aceite y grasa
Destilación	<ul style="list-style-type: none"> • DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo, variable por procesos individuales • Variable de pH debido a agentes de limpieza ácidos y alcalinos • Temperatura alta
Productos lácteos	<ul style="list-style-type: none"> • Azúcares disueltos, proteínas, grasas y residuos de aditivos • DBO, DQO, SS, nitrógeno, fósforo
Químicos orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Pesticidas, productos farmacéuticos, pinturas y tintes, productos petroquímicos, detergentes, plásticos, etc. • Materiales de productos base, subproductos, material de producto en forma soluble o en partículas, agentes de lavado y limpieza, disolventes y productos de valor agregado tales como plastificantes
Textiles	<ul style="list-style-type: none"> • DBO, DQO, metales, sólidos en suspensión, urea, sal, sulfuro, H₂O₂, NaOH • Desinfectantes, biocidas, residuos de insecticidas, detergentes, aceites, lubricantes de tejer, acabados para hilar, solventes usados, compuestos

	antiestáticos, estabilizantes, agentes tensioactivos, auxiliares orgánicos de procesamiento, materiales catiónicos, color <ul style="list-style-type: none"> • Acidez o alcalinidad alta • Calor, espuma • Materiales tóxicos, residuos de limpieza
Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de combustibles fósiles: Contaminación de pozos de petróleo y gas y fracking • Agua de calefacción/enfriamiento

Fuente: Organización de las Naciones Unidas, 2017.

Teniendo en cuenta que la composición del agua residual varía según su tipo, es necesario realizar un control analítico, exhaustivo, sistemático y periódico de las aguas residuales, para así determinar sus características físicas y relacionarlas con los aspectos normativos que regulan los límites permitidos para su vertido o su posterior aplicación en otras actividades. Además de la incidencia que tienen estos vertidos en el medio ambiente. (Metcalf y Eddy, 1998)

7.4. Caracterización típica de las aguas residuales

La caracterización de las aguas residuales se ejecuta para verificar la calidad de estas y proporcionar un diseño adecuado o acorde a sus componentes para así poder tratarlas eficientemente.

Algunos de los parámetros que se valoran para determinar la calidad del agua residual son: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los sólidos en Suspensión (SS) y los patógenos que se encuentran en el agua residual. A estos parámetros se suman los nutrientes y contaminantes prioritarios, no obstante, para la reutilización del agua residual se considera la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y sólidos inorgánicos disueltos. (Metcalf y Eddy, 1998)

En la tabla 5 se mencionan una serie de parámetros que deben ser analizados para caracterizar las aguas residuales, sin embargo, no existe un estándar por evaluar ya que la composición de las aguas está relacionada con el tipo de actividad humana desarrollada. Es así que para un exitoso proceso de depuración es fundamental definir los parámetros físico – químicos y biológicos que serán evaluados. (Villegas y Binetti, 1997)

Tabla 5

Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

Contaminantes	Razón de la importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad

	aguada conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende 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 consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Metcalf y Eddy, 1998.

La tabla 6 presenta los parámetros físicos, químicos y biológicos que son analizados comúnmente y la razón de su determinación para caracterizar las aguas residuales.

Tabla 6*Análisis comunes usados para determinar la calidad de las aguas residuales*

Prueba	Uso o significado del resultado
Características físicas	
Sólidos totales	
Sólidos volátiles totales	
Sólidos fijos totales	Determinar la clase de proceso u operación más apropiada para su tratamiento
Sólidos suspendidos totales	
Sólidos suspendidos volátiles	
Sólidos suspendidos fijos	
Sólidos disueltos totales	
Sólidos disueltos volátiles	
Sólidos disueltos fijos totales	
Sólidos sedimentables	Determinar aquellos sólidos que se sedimentan por gravedad en un tiempo específico
Distribución de partículas por tamaño	Evaluar el desempeño de los procesos de tratamiento
Turbiedad	Evaluar la calidad del agua residual tratada
Color	Estimar la condición del agua residual (fresca o séptica)
Transmitancia	Estimar si el efluente tratado es apropiado para desinfección con radiación UV
Olor	Determinar si el olor puede ser un problema
Temperatura	Importante en el diseño y operación de instalaciones de tratamiento con procesos biológicos
Densidad	
Conductividad	Estimar si el efluente tratado es apto para uso agrícola

Características químicas inorgánicas	
Amonio libre	
Nitrógeno orgánico	
Nitrógeno total Kjeldahi	Usado como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual; las formas oxidadas pueden tomarse como una medida del grado de oxidación
Nitritos	
Nitratos	
Fósforo inorgánico	
Fósforo total	
Fósforo orgánico	
pH	Medida de la acidez o basicidad de una solución acuosa
Alcalinidad	Medida de la capacidad amortiguadora del agua residual
Cloruros	Evaluar la posibilidad de ser empleada en el uso agrícola
Sulfatos	Estimar la formación potencial de olores y de tratamiento apropiado de lodos residuales
Metales	Estimar la posibilidad de reutilizar el agua residual y los posibles efectos tóxicos en el tratamiento. Las cantidades de metales son importantes en el tratamiento biológico
Compuestos y elementos inorgánicos específicos	Evaluar la presencia o ausencia de un constituyente específico
Gases	Presencia o ausencia de un gas específico
Características químicas orgánicas	
Demanda Bioquímica Carbonácea de oxígeno a 5 días	Medida de la cantidad de oxígeno, requerido para estabilizar biológicamente un residuo
Demanda Bioquímica Carbonácea de oxígeno última	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente un residuo
Demanda de Oxígeno Nitrogenácea	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente el nitrógeno amoniacal de un agua residual a nitratos

Demanda Química de Oxígeno	Usada con frecuencia como sustituto de la prueba de DBO
Carbono Orgánico Total	Usada con frecuencia como sustituto de la prueba de DBO
Compuestos y clases de compuestos orgánicos específicos	Determinar la presencia de compuestos orgánicos específicos y estimar la necesidad de medidas especiales en el diseño para su remoción
Características biológicas	
Organismos Coliformes	Estimar la presencia de bacterias patógenas y la eficiencia del proceso de desinfección
Microorganismos específicos	Estimar la presencia de organismos específicos para la conexión con la operación de la planta de tratamiento y reutilización del agua
Toxicidad	Unidad Tóxica Aguda, Unidad Tóxica Crónica

Fuente: Tchobanoglous y Schroeder, 1985.

7.4.1. Características físicas

- 7.4.1.1. Sólidos:** Contienen materia inorgánica como arena, arcilla, entre otros y materia orgánica como fibras vegetales y microorganismos de fuentes naturales y artificiales, se caracterizan por ser volátiles o no volátiles, por su tamaño se clasifican en: suspendidos, sedimentables, coloidales o disueltos. (Akcin *et al*, 2013)
- 7.4.1.2. Sólidos Totales:** Corresponden a las sustancias disueltas y en suspensión de la muestra de agua, estos se dividen en volátiles y fijos (Stachetti *et al*, 2007).
- 7.4.1.3. Sólidos volátiles:** Son sólidos de naturaleza orgánica (Sainz, 2005).
- 7.4.1.4. Sólidos fijos:** Son sólidos de naturaleza inorgánica (Sainz, 2005).
- 7.4.1.5. Sólidos suspendidos:** Es la concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante (Sánchez A, 2011).
- 7.4.1.6. Sólidos disueltos:** Material orgánico e inorgánico que se encuentra integrado en el agua, o en cualquier otro líquido (Sánchez A, 2011).

- 7.4.1.7. Sólidos sedimentables:** Son los que consiguen decantarse en condiciones de quietud, únicamente se sedimentan los sólidos suspendidos más gruesos y con gravedad específica (Roldán y Ramírez, 2008).
- 7.4.1.8. Olor:** Gran parte de los olores presentes en las aguas residuales son producidos por gases, a su vez, generados por productos de biotransformación de materia orgánica, por lo general esta materia se deposita en el fondo de los estanques o contenedores propiciando condiciones favorables para que los organismos anaerobios produzcan gases. (Ramos *et al*, 2002)
- 7.4.1.9. Temperatura:** La temperatura del agua residual por lo general es más elevada que la del agua de suministro por la incorporación de vertidos de agua doméstica e industrial, la temperatura también influirá en los organismos habitantes del medio acuático. (Roldán, 2003)
- 7.4.1.10. Densidad:** Teniendo en cuenta que la mayoría de las aguas residuales contienen concentraciones muy pequeñas de materias solubles (y/o insolubles) la densidad del agua residual se toma como igual a la del agua pura (Ramalho, 1996).
- 7.4.1.11. Color:** Es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible, aunque no se atribuye ningún constituyente en exclusiva, ciertos colores en aguas naturales son indicadores de la presencia de contaminantes, además el color puede representar un potencial colorante de algunos productos utilizados en diversos procesos. (Rigola, 1990)
- 7.4.1.12. Turbidez:** La presencia de materias diversas en suspensión, arena, limos, coloides orgánicos, plancton y otros organismos microscópicos da lugar a la turbidez en el agua. (Marín, 2003)
- 7.4.1.13. Conductividad:** Es consecuencia de los electrolitos que lleva disueltos un agua y presenta un valor muy bajo en un agua muy pura (Marín, 2003).
- 7.4.1.14. Transmitancia:** Es la fracción de radiación incidente que transmite la solución (Chacón, 2016).

7.4.2. Características químicas

Para el análisis de las características químicas de las aguas residuales se contempla el estudio de la materia orgánica, el contenido orgánico, la materia inorgánica y la presencia de gases en el agua residual. Un factor importante que se relaciona con la gestión de la calidad del agua y el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas es la correcta medición del contenido de materia orgánica. (Metcalf y Eddy, 1998)

7.4.2.1. Materia orgánica

El agua residual contiene una alta cantidad de componentes orgánicos e inorgánicos, esta se puede dividir en carbohidratos, grasas y proteínas (Villaseñor, 1998).

7.4.2.2. Proteínas: El nitrógeno y el fósforo que se encuentran en las proteínas de las aguas residuales generan problemas especiales en los cauces receptores (Cabildo, Claramunt *et al*, 2012).

7.4.2.3. Hidratos de carbono: Dentro de los hidratos de carbono existen compuestos como monosacáridos o disacáridos, además compuestos insolubles de elevado peso molecular como almidón, glucógeno, lignina o celulosa provenientes de papel y productos vegetales de alimentación (Villaseñor, 1998).

7.4.2.4. Grasas, grasas animales y aceites: La grasa animal y los aceites son ésteres compuestos de alcohol o glicerol y ácidos grasos, ambos son semejantes químicamente ya que se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno (Jiménez, 2001).

7.4.2.5. Agentes tensoactivos: Muchas aguas residuales contienen agentes tensoactivos como ácidos grasos y alcoholes (Ramalho, 1996).

7.4.2.6. Contaminantes prioritarios: Son compuestos de diverso origen y naturaleza química, por lo que integran una amplia gama de compuestos químicos, pueden ser productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, agentes tensoactivos, plastificantes, entre otros (Gil *et al*, 2012).

7.4.2.7. Compuestos orgánicos volátiles (COV): Son compuestos conformados principalmente por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, son muy volátiles además de presentar efectos perjudiciales para el ambiente y para la salud debido a su nivel de toxicidad (Muñoz y Padilla, 2018).

- 7.4.2.8. Pesticidas y productos químicos de uso agrícola:** Su composición es variable, por lo general son ricos en nitratos y fosfatos, la utilización intensiva de pesticida y otros productos químicos en el sector agrícola muchas veces es menos controlada que el uso de químicos en actividades domésticas o industriales. (Franquet, 2010)
- 7.4.2.9. Medida del contenido orgánico:** Los métodos para cuantificar la contaminación orgánica se pueden dividir según ciertos parámetros como métodos para conocer la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno o métodos que determinen el contenido en carbono como el Carbono Orgánico Total. (Villaseñor, 1998)
- 7.4.2.10. Demanda bioquímica de oxígeno:** Equivale a la cantidad de oxígeno consumido para provocar la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el agua. La DBO₅ se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para convertir en 5 días los residuos orgánicos en compuestos estables. (Castells, 2009)
- 7.4.2.11. Demanda química de oxígeno:** Corresponde a la cantidad de oxígeno que se precisa para poder oxidar todos los compuestos orgánicos e inorgánicos susceptibles de combinarse con el oxígeno (Castells, 2009).
- 7.4.2.12. Carbono orgánico total:** La determinación del Carbono Orgánico Total (COT) es un complemento para el análisis de la carga contaminante de los vertidos, además, en comparación con los análisis de DBO y DQO es más rápido y este sujeto a menos interferencias. (Cabildo, Claramunt *et al*, 2012)
- 7.4.2.13. Demanda teórica de oxígeno:** Indica la cantidad de O₂ requerido para la oxidación completa de los contaminantes de un vertido, tanto de las especies carbonadas, como de los compuestos de nitrógeno y de azufre con carácter reductor (Cabildo, Claramunt *et al*, 2012).
- 7.4.2.14. Materia inorgánica**

Son diversos los componentes orgánicos que se encuentran en las aguas residuales como naturales que influyen en el control de calidad del agua, las concentraciones de estas sustancias tienen relación con el contacto que existe entre el agua y formaciones geológicas o por la descarga de aguas sin previo tratamiento (Metcalf y Eddy, 1998).

- 7.4.2.15. pH:** Las aguas residuales que son fuertemente ácidas o fuertemente básicas provienen por lo general de procesos industriales, estas aguas residuales requieren una neutralización posteriormente a su vertido en cuerpos de agua ya que pueden alterar de manera negativa al hábitat bacteriano. (Sans y Ribas, 1989)
- 7.4.2.16. Cloruros:** El cloruro que se encuentra en aguas residuales proviene de efluentes industriales, la escorrentía urbana y de intrusiones salinas (Jiménez, 2001)
- 7.4.2.17. Alcalinidad:** La alcalinidad representa la capacidad del agua de neutralizar, evita que los niveles de pH se muestren demasiado ácidos o básicos, la alcalinidad total del agua está compuesta por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos (Fernández y García, 2009).
- 7.4.2.18. Nitrógeno:** Los compuestos nitrogenados en el agua se originan por causas naturales como la disolución atmosférica o de depósitos geológicos ricos en estos materiales, escorrentías superficiales y subterráneas, fijación de organismos procariotas y descomposición de materia orgánica; y a causas antropogénicas provenientes de usos domésticos e industriales. (Cárdenas y Sánchez, 2013)
- 7.4.2.19. Fósforo:** Gran parte del fósforo que se encuentra en aguas residuales proviene de fertilizantes, alimentos, productos de limpieza, entre otros, causando la eutrofización de aguas naturales tanto dulces como marinas (Pastor, 2006).
- 7.4.2.20. Azufre:** El ion sulfato está presente en la mayoría de aguas residuales, el azufre se requiere para la síntesis de las proteínas y se libera con su degradación (Orozco, 2005).
- 7.4.2.21. Compuestos tóxicos inorgánicos:** Los contaminantes inorgánicos provienen de desechos domésticos, agrícolas e industriales que contienen diversas sustancias disueltas. Entre estos contaminantes están las sales metálicas solubles, como cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos y carbonatos. También los desechos de ácidos, bases y gases tóxicos disueltos, tales como dióxido de azufre, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y cloro. (Cabildo, Cornago *et al*, 2004)
- 7.4.2.22. Metales pesados:** Los metales pesados son los contaminantes más nocivos, ya que una de sus características más peculiares es su persistencia en el ambiente como consecuencia de que no son degradables en la naturaleza, ni biológica ni químicamente. (Cabildo, Cornago *et al*, 2004).

- 7.4.2.23. Oxígeno disuelto:** El Oxígeno Disuelto es uno de los principales parámetros a tratar en las aguas residuales ya que muchos de los organismos dependen de esto para mantener los procesos metabólicos, para obtener energía y efectuar su reproducción, además es el principal indicador del estado de contaminación de una masa de agua, pues la materia orgánica contenida en ella tiene como efecto directo el consumo del Oxígeno Disuelto. (Orozco, 2005)
- 7.4.2.24. Sulfuro de hidrógeno:** El ciclo del azufre está constituido por una serie de conversiones químicas como la reducción de los iones sulfato hasta sulfuro de hidrógeno gaseoso. Algunos microorganismos transforman los compuestos de azufre orgánico en sulfuro de hidrógeno mediante desulfurilación. (Ingraham y Ingraham, 1978)
- 7.4.2.25. Metano:** El metano se produce por metanogénesis cuando en los sistemas de alcantarillado se presentan ciertas condiciones anaeróbicas y se emite en fases posteriores al desprenderse del líquido y pasar al aire. (Ballard *et al*, 2019).

7.4.3. Características biológicas

Es necesario conocer los parámetros a evaluar en las características biológicas como los grupos primordiales de microorganismos biológicos que se encuentran en aguas superficiales y residuales, microorganismos que influyen en los tratamientos biológicos, organismos patógenos de las aguas residuales, organismos indicadores de contaminación y los métodos que se emplean para determinar estos organismos, así como su toxicidad. (Metcalf y Eddy, 1998)

- 7.4.3.1. Microorganismos:** Los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales están compuestos principalmente por bacterias y protozoos y en menor cantidad por hongos y micrometazoos, su presencia tiene relación con el contenido de materia orgánica disuelta biodegradable (Luna, 2006).
- 7.4.3.2. Bacterias:** Las bacterias descomponen los desechos orgánicos que se encuentran en el agua provenientes de diversas fuentes, al descomponer estos desechos las bacterias consumen todo el oxígeno disuelto (Hill y Kolb, 1970).

- 7.4.3.3. Hongos:** Las aguas residuales fuertemente orgánicas son ricas en hongos sobre todo levaduras y hongos levaduriformes siendo los géneros más frecuentes *Sacharomyces*, *Cándida* y *Rhodotorula*. Los hongos autóctonos de las aguas residuales pueden desarrollarse en condiciones ambientales más extremas que las soportadas por bacterias. (Galvín, 2000)
- 7.4.3.4. Algas:** La existencia y el crecimiento de las algas depende de la obtención y presencia de los nutrientes inorgánicos, aunque la dureza de las aguas residuales puede contribuir a su crecimiento (Nemerow, 1998).
- 7.4.3.5. Protozoos:** Se trata de un grupo variado de protistas (células eucariotas) típicamente móviles y no fotosintéticos, se puede considerar tres grupos principales: *protozoos flagelados o Mastigophora*, *flagelados ameboides o Rhizopoda* y los *ciliados o Ciliophora* (Galvín, 2000).
- 7.4.3.6. Plantas y animales:** El ciclo hidrológico se ve afectado por la contaminación de vertidos directos, o por filtración, de ríos y acuíferos y como consecuencia de los procesos de disolución de determinados componentes de los desechos de diversa índole pueden dañar de forma irreversible acuíferos y humedales produciendo a la vez alteraciones perjudiciales en plantas y animales. (Borderías y Roda, 2006)
- 7.4.3.7. Virus:** Son microorganismos acelulares ubicados en la frontera entre la vida y el mundo inorgánico, su tamaño es extremadamente pequeño, algunos pueden ser virus parásitos de bacterias y otros microorganismos (Galvín, 2000).
- 7.4.3.8. Organismos patógenos:** Las aguas residuales en especial las de origen doméstico contienen todos los organismos patógenos que afectan al hombre, son muy ricas en nutrientes como fósforo, nitrógeno, carbono y otros en formas simples y complejas como grasas, proteínas, azúcares, vitaminas, sales o compuestos inorgánicos (Acosta, 2008).
- 7.4.3.9. Uso de organismos indicadores:** Los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad (Arcos *et al*, 2005).
- 7.4.3.10. Ensayos de toxicidad:** Los ensayos biológicos son herramientas de diagnóstico adecuadas para determinar el efecto de agentes físicos y químicos sobre organismos de prueba bajo condiciones experimentales específicas (Castillo, 2004).

7.5. Caracterización específica del agua residual

En un inicio el tratamiento de las aguas residuales estaba relacionado a la remoción de carbono orgánico, eliminación de sólidos y patógenos. Sin embargo, el creciente incremento de la contaminación en cuerpos de agua ha generado la necesidad de crear y aplicar nuevas técnicas de tratamiento para analizar otros parámetros significativos como el nitrógeno, fósforo y contaminantes prioritarios, ampliando de esta manera la caracterización del agua residual (Orhon y Artan, 1994).

Es por esto que en la actualidad una caracterización minuciosa del agua residual es fundamental para la modelación y el diseño de los procesos biológicos de tratamiento, es así que dentro de esta caracterización se encuentra la determinación de las diferentes fracciones de la materia orgánica o fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno.

Como lo menciona Orhon y Artan (1994) una caracterización detallada de las aguas residuales contribuye a:

- La selección y diseño de tecnologías de tratamiento más apropiadas.
- La optimización de los procesos de eliminación biológica de nutrientes.
- La evaluación de la eliminación de diferentes componentes del agua residual por procesos físicos, químicos o biológicos.
- Un mejor modelado matemático de los procesos biológicos de tratamiento. Por ejemplo, los modelos biológicos establecidos por la International Water Association (IWA) requieren los datos de diferentes fracciones de la DQO, definidas por su carácter soluble o particulado, y por su velocidad de biodegradación rápida, lenta o nula.
- La determinación de constantes cinéticas de carácter específico.

7.6. Fracciones de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

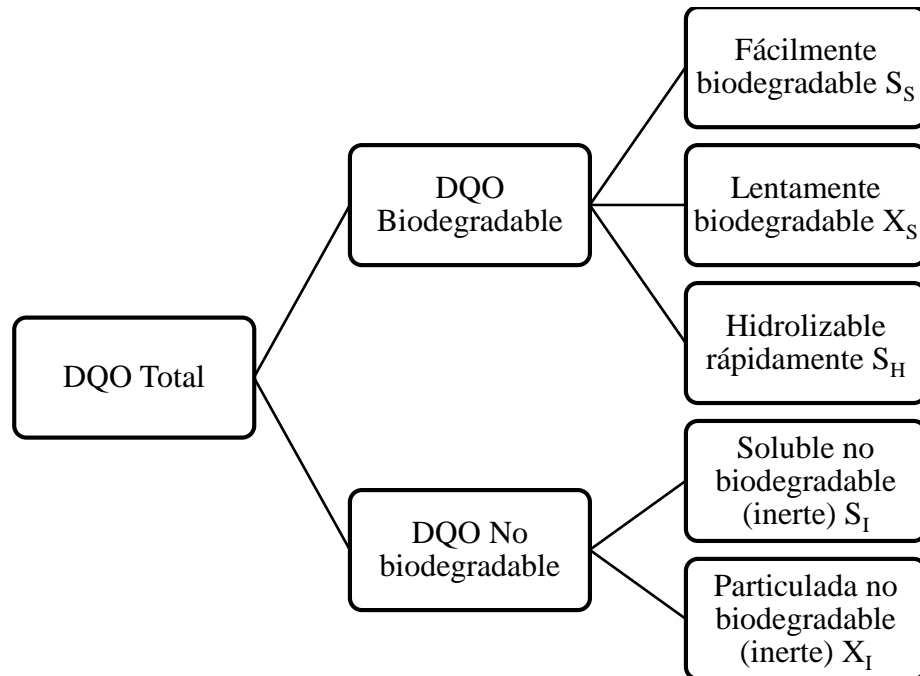
En las aguas residuales la materia orgánica biodegradable se representa a través de la DBO, la cual se determina con pruebas de hasta 20 días de duración, es por esto, que este análisis está muy limitado e incluso desacertado para definir la dinámica de los procesos depurativos. Si bien la DQO es un análisis muy rápido no posibilita establecer los compuestos orgánicos en relación a su biodegradabilidad (Wang *et al*, 2010).

Aunque el análisis de DBO y DQO se utilizan para determinar el contenido de materia orgánica, ninguno de estos parámetros aporta información a detalle sobre las proporciones cuantitativas de las fracciones de la DQO, lo cual es esencial al diseñar procesos de operación en el tratamiento biológico, además contribuye a mejorar problemas asociados con líquidos de lodo que se originan en la planta de tratamiento (Myszograj *et al*, 2017).

En la figura 1 se representa el fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno la cual involucra la identificación de DQO inerte y biodegradable, además de fracciones fácilmente biodegradables y lentamente biodegradables. De ahí que el fraccionamiento de DQO integra diferentes formas de carbono orgánico que requieren una mayor diferenciación en términos de sus características de biodegradación, por lo cual la DQO influyente total posee dos componentes: la DQO total no biodegradable o inerte y la DQO biodegradable total, la fracción inerte se subdivide en DQO inerte soluble y DQO inerte en partículas (Orhon y Cokgor, 2017).

Figura 1

Distribución de fracciones de DQO en aguas residuales



Fuente: Orhon y Cokgor, 2017.

El empleo de las fracciones de la DQO conlleva la caracterización de la fracción biodegradable, es así que la DQO total de las aguas residuales se analiza los elementos principales como: la DQO no biodegradable o inerte total y la DQO biodegradable total. (Orhon, Babuna *et al*, 2009).

Es así que Orhon, Babuna *et al* (2009) manifiesta la siguiente clasificación:

La DQO inerte se analiza en dos subgrupos determinando fracciones solubles y particuladas como DQO inerte soluble y DQO inerte particulada. La DQO biodegradable total incluye dos fracciones principales, la DQO fácilmente biodegradable y la DQO lentamente biodegradable.

Es así que cada fracción posee diversos componentes vinculados a un rango de tasas de biodegradación. En la actualidad la fracción lentamente biodegradable cubre un extenso conjunto de tamaño de partículas, como orgánicas, solubles, coloidales o hasta más grandes. De igual forma se crearon otras subdivisiones como la DQO hidrolizable rápidamente S_{HI} y DQO hidrolizable lentamente X_{SI} .

Myszograj *et al* (2017) simplifica las fracciones en una división más concreta como:

7.6.1. Fracción fácilmente biodegradable S_5

Esta fracción es asimilada y mineralizada por bacterias heterotróficas. De manera que esta fracción está conformada por compuestos orgánicos de carbono que proporcionan energía a los microorganismos, aunque previamente tienen que hidrolizarse para que se puedan dispersar y ser absorbidas por los microorganismos, es por esto que esta fracción precisa el éxito de la desfosfatación y desnitrificación. Además, reduce la cantidad de oxígeno devuelto con el lodo activo el cual se observa en las primeras etapas del proceso del crecimiento de organismos.

Es así que esta fracción permite determinar

- Fuentes de carbono orgánico fácilmente disponibles en las aguas residuales en el diseño y operación.
- Relación de cada fracción de DQO en aguas residuales con el fin de modelar matemáticamente los procesos.
- Parámetros cinéticos indispensables para la operación eficiente del biorreactor.

7.6.2. Fracción lentamente biodegradable X_S

Esta fracción interviene de manera significativa en la dinámica del proceso de lodo activado, se trata de componentes que deben ser hidrolizados a componentes simples, para poder ser asimilados por microorganismos. Esta fracción es parte importante de los parámetros para el diseño de sistemas biológicos para la eliminación de nitrógeno y fósforo. Por lo tanto, esta fracción se mezcla con flóculos de lodo activado o una membrana que se fomenta en lechos biológicos.

7.6.3. Fracción soluble no biodegradable (inerte) S_I

Esta fracción está formada por compuestos orgánicos los cuales no intervienen en los procesos de tratamiento de aguas residuales ya que no padecen ningún cambio, sin embargo, si existe un alto porcentaje de esta fracción en aguas residuales se sugiere no implementar el tratamiento biológico.

7.6.4. Partículas no biodegradables (inertes) X_I

Está conformada por contaminantes no disueltos, cuando su valor excede al de 0.15 del total de la DQO ocasiona problemas en el sistema ya que provoca que la masa del lodo se acumule lo que afecta significativamente a todo el tratamiento y calidad del efluente.

Debido a que el tamaño de esta fracción no sufre de modificaciones mediante el tratamiento biológico su concentración en el afluente es igual a su masa correspondiente, la cual fluye con el exceso de lodo.

Sánchez, Ribes *et al* (2017) manifiesta que uno de los procesos biológicos más empleados son los fangos activados, el proceso busca eliminar contaminantes en el agua como materia orgánica, nitrógeno y fósforo, por lo cual es indispensable una caracterización detallada para realizar modelos y simulaciones óptimas.

Además de considerar al fraccionamiento de la DQO Sánchez, Ribes *et al* (2017) consideran también el fraccionamiento del nitrógeno y el fósforo.

7.6.5. Fraccionamiento del Nitrógeno

El contenido de nitrógeno total en las aguas residuales es un componente primordial en los procesos biológicos porque se desempeña como nutriente encontrándose en diferentes formas, además de posibilitar el desarrollo de procesos metabólicos. Se estima que un 60% de nitrógeno se encuentra en forma de amonio, el cual se deriva de descargas urbanas y un 40% de nitrógeno orgánico. Por otro lado, la concentración de nitritos y nitratos representa el 1%, estos son originados por actividades industriales y la oxidación del amonio. Entonces el fraccionamiento del nitrógeno se divide en nitrógeno orgánico y nitrógeno contenido en la biomasa, así pues, el nitrógeno orgánico se presenta en fracción soluble y particulada.

$$N_{Total} = N_{Soluble}(S) + N_{Particulado}(X) \quad (1)$$

$$N_{Soluble} = S_{NO_3} + S_{NH_4} + N_{Orgánico} \quad (2)$$

$$N_{Particulado} = N_{Total} - N_{Soluble} \quad (3)$$

7.6.6. Fraccionamiento del fósforo

Aproximadamente el 50% del fósforo que se encuentra en las aguas residuales provienen de la materia fecal y entre el 30% al 35% proviene de compuestos de fosfato inorgánico originado por los detergentes y productos de limpieza.

El fósforo se presenta en tres formas ortofosfato, fósforo orgánico y polifosfato. Es así que, el fosfato para ser fraccionado se divide en fósforo soluble S_P y particulado X_P . Dentro del fósforo soluble se encuentran los ortofosfatos y una porción de polifosfatos, por otro lado, en el fósforo particulado se incluye el fósforo orgánico y los polifosfatos.

$$P_{Total} = S_P + X_P \quad (4)$$

$$S_P = S_{PO_4} + S_{PORG} \quad (5)$$

El conocimiento sobre el fraccionamiento de la DQO en aguas residuales aporta a los aspectos de modelado y optimización de procesos bioquímicos como la desnitrificación y la eliminación del fósforo en sistemas de lodos activados. Drewnowski *et al* (2020) estima que el aumento de la Demanda Química de Oxígeno que se encuentra en partículas es eliminado en los clarificadores primarios lo que origina una reducción de la demanda de energía para la aireación en el biorreactor, de igual manera las emisiones directas de dióxido de carbono (CO₂), respiración microbiana y el CO₂ indirecto por el consumo de energía para la aireación. Aunque se debe tener especial cuidado con el desarrollo del proceso ya que una fracción de la DQO es indispensable en la eliminación de nutrientes, de la misma manera conocer la cinética de los procesos bioquímicos.

Dulekgurgen *et al* (2006) manifiestan que para obtener una caracterización adecuada del fraccionamiento de la DQO es necesario conocer el tamaño de las partículas que poseen las fracciones, por ello, proponen aplicar una medición a través de un proceso de filtración secuencial y ultrafiltración para optimizar el índice de tratabilidad biológica. Este proceso permite identificar el rango soluble en base al intervalo de tamaño.

A causa de que las partículas coloidales no puedan ser eliminadas por sedimentación se requiere emplear métodos químicos para el fraccionamiento de la DQO, algunos de estos aportan con un proceso de floculación para discernir entre fracciones coloidales y solubles, es necesario conocer la DQO coloidal ya que influye en la recuperación de energía en toda la planta y la huella de carbono (Baquero *et al*, 2016).

El modelado en las plantas de tratamiento de aguas residuales con relación a los procesos de lodo activado optimiza su funcionamiento ya que disminuyen costos operativos, además de mejorar la calidad del efluente.

Es así que los Modelos de Lodo Activado ASM1, ASM2 y ASM3 se fundamentan en los equilibrios de la DQO. No obstante, la carencia de un procedimiento estándar para determinar las fracciones de la DQO ha originado la existencia de varios métodos experimentales lo que dificulta obtener valores confiables ya que entre cada método puede existir diferencias significativas (Baquero *et al*, 2016).

El aprovechamiento apropiado de hasta pequeños sistemas de tratamiento de aguas residuales posibilita la eliminación eficaz de compuestos de nitrógeno, fósforo y carbono, como ya se mencionó al profundizar los análisis en relación con el fraccionamiento de la DQO se pretende incrementar los procesos de tratamiento de aguas residuales, incluso en instalaciones pequeñas (Ignatowicz, 2019).

Petersen *et al* (2002) exponen que, para aplicar una metodología adecuada para determinar las fracciones de la DQO, se precisa realizar una calibración del modelo, es decir una adaptación en base a ciertos criterios de la Planta de Tratamiento en la que se pretende evaluar las fracciones de la DQO. Pese a que la calibración es fundamental para este proceso, existen escasas referencias sobre el procedimiento a desarrollar, sin embargo, Petersen *et al* (2002) consideran los siguientes datos como indispensables para dicha calibración: datos de diseño, datos operativos, caracterización del modelo hidráulico, caracterización de las velocidades de sedimentación y caracterización del modelo biológico.

En la actualidad la calibración del modelo ASM1 se ha desarrollado fundamentalmente en Europa y América del Norte, por lo que, gran cantidad de los valores predeterminados en la literatura para aplicar protocolos de calibración y métodos de caracterización del fraccionamiento de la DQO, son referencias de aguas residuales municipales de Estados Unidos (Fall, Espinosa *et al*, 2011).

Es por ello que es importante realizar estudios para determinar las fracciones de la DQO en la región de América Latina para así difundir el uso de estos modelos y establecer parámetros de calibración acorde a los datos disponibles. Machado *et al* (2009) presenta un procedimiento para realizar la calibración y validación de modelos a través de la selección de parámetros en base a herramientas matemáticas.

Weijers y Vanrolleghem (1997) desarrollaron una metodología sistemática para la calibración del modelo ASM1 en la que califica una serie de parámetros en base a una matriz de información Fisher (FIM) para así realizar análisis de sensibilidad en función de los datos de la planta de tratamiento.

Fall, Loaiza *et al* (2009) ponen de manifiesto un estudio realizado para calibrar el modelo ASM1 en una planta de tratamiento de México, mediante análisis como: caracterización de afluentes, pruebas de trazadores, modelado hidráulico, pruebas de sedimentación de lodos y respirometría. Los parámetros del ASM1 se caracterizan en función de las aguas a tratar, sin embargo, América Latina cuenta con diversas limitaciones careciendo de una buena infraestructura, además la mayor parte de plantas de tratamiento funcionan de manera deficiente lo cual limita establecer una calibración que genere estabilidad en la modelización de los procesos.

7.7. Metodologías para determinar las fracciones de la DQO

Como ya se mencionó, el fraccionamiento de la DQO está formado por diversas divisiones enfocadas a detallar con precisión el comportamiento de los procesos de remoción biológica, en los cuales intervienen procesos de degradación de materia orgánica por microorganismos. Para la determinación de las fracciones de la DQO se han generado diversos métodos, pese a esto, aún no existe una metodología estandarizada, por lo que se mencionará las más empleadas como: método físico – químico y método biológico.

7.7.1. Fraccionamiento de la DQO vía físico - químico

Los métodos físico – químicos aplican procesos de filtración y floculación para dividir las fracciones de las partículas, aunque uno de su principal inconveniente es que dichos procesos no pueden separar por completo los sustratos biodegradables (S_s , X_s), aun así, son ampliamente utilizados por su facilidad de ejecución y rapidez (Szaja *et al*, 2015).

7.7.1.1. Protocola de la STOWA utilizando la DQO, DBO5 y DBOu

Para el fraccionamiento de la DQO se precisa la medición de las DQO totales y solubles en el influente, así como en el efluente tratado, también la DBO del influente en función del tiempo, para calcular las fracciones S_s , S_l , X_s y X_l (Vázquez *et al*, 2013).

Roeleveld y Van Loosdrecht (2002) explican el procedimiento a realizar, tomando en cuenta el análisis de la DBO ya que es un parámetro que actualmente se utiliza ampliamente en la caracterización de las aguas residuales, comúnmente se analiza la DBO5, sin embargo, esto no significa la fracción biodegradable total de la DQO, en función del origen de las aguas residuales entre el 50 al 95% de la DQO se oxida después de 5 días.

Pasados los 20 días se oxida entre el 95 al 99%, por esta razón se propone una orientación de la DBO en función del tiempo y su valor total.

$$BOD_{tot} = \frac{1}{1 - e^{-k_{BOD}t}} BOD_t \quad (6)$$

Asimismo, Roeleveld y Van Loosdrecht (2002) expresan los diversos procesos a desarrollar, en el siguiente apartado:

La constante cinética de orden 1 se puede establecer adecuando la curva de la DBO en función del tiempo, a través de regresión lineal con el método de mínimos cuadrados. La constante está sujeta a la relación entre la fracción fácilmente biodegradable y lentamente biodegradable que está relacionada con el tipo y longitud del sistema de alcantarillado, la fracción de aguas residuales industriales y el proceso de pretratamiento.

En muchas ocasiones se precisa hacer una verificación de la constante cinética de orden 1 ya que al medir la DBO existe interacción de crecimiento y descomposición de la biomasa. Es así que la concentración inicial de DQO biodegradable puede ser mayor que la DBO total, por lo cual se emplea un factor de corrección, este valor está determinado por el modelo ASM, con uno de 0.15.

Para medir la DBO se debe llevar a cabo una muestra no filtrada y con adición de un inhibidor de nitrificación. De esta manera se pueden determinar las fracciones orgánicas como la fracción soluble no biodegradable, fácilmente biodegradable y lentamente biodegradable, la fracción particulada no biodegradable se puede determinar por la diferencia entre la DQO total y el resto de fracciones. Al incluir la medición de la DBO en el proceso, la fracción de biomasa heterotrófica se integra a las fracciones lentamente biodegradable y particulada no biodegradable.

Para obtener las fracciones desde los parámetros medidos se aplican las siguientes ecuaciones:

La suma de las cuatro fracciones representa la DQO total del influente

$$DQO_{Tot.Infl.} = S_I + S_S + X_S + X_I \quad (7)$$

Donde

$$DQO_{Tot.Infl.} = \text{DQO total del influente}$$

S_I = DQO soluble inerte

S_S = DQO soluble fácilmente biodegradable

X_S = DQO particulada lentamente biodegradable

X_I = DQO particulada inerte

La fracción soluble no biodegradable se determina directamente como la DQO soluble del efluente tratado, también se puede conocer la DQO soluble del licor mezclado re aireado en el laboratorio

$$S_I = DQO_{soluble_efluente}$$

La fracción fácilmente biodegradable se obtiene como la diferencia de la fracción soluble no biodegradable

$$S_S = DQO_{soluble_influyente} - S_I \quad (8)$$

Para el cálculo de la fracción lentamente biodegradable y la fracción particulada no biodegradable se puede calcular a través de la DBO del influente, esto permitirá realizar gráficas de la DBO en relación del tiempo para posteriormente adecuar los datos mediante una regresión no lineal a la ecuación de la curva de DBO.

$$DBO_{(t)} = DBO_u(1 - e^{-K_{DBO} \cdot t}) \quad (9)$$

Donde

$DBO_{(t)}$ = Gráfica de DBO en función del tiempo

DBO_u = DBO última

K_{DBO} = constante cinética de orden 1

Después, se determina la DQO biodegradable a partir de la DBO última, utilizando el valor de 0.15 para el factor de corrección

$$DQO_b = \frac{1}{1-f_{DBO}} DBO_u \quad (10)$$

Donde

DQO_b = DQO biodegradable total

f_{DBO} = Factor de corrección

Tomando en cuenta que la DQO biodegradable es la suma de la fracción fácilmente biodegradable y la fracción lentamente biodegradable, se puede despejar esta última

$$DQO_b = S_s + X_s \quad (11)$$

$$X_s = DQO_b - S_s \quad (12)$$

Como ya son conocidos los valores de las fracciones fácilmente biodegradable, lentamente biodegradable y soluble no biodegradable, se puede despejar la fracción particulada no biodegradable

$$X_I = DQO_{Tot.} - (S_I + S_s + X_s) \quad (13)$$

Fracciones del nitrógeno y el fósforo

La caracterización del nitrógeno es un parámetro importante ya que puede pronosticar el contenido de nitrógeno del lodo en el sistema de lodo activado, además la porción del nitrógeno aprovechable para la oxidación precisa la demanda de oxígeno autótrofo y la capacidad de desnitrificación requerida. Un contenido alto de nitrógeno en el efluente puede ser una consecuencia de descargas industriales o residuos de alta resistencia (Roeleveld y Van Loosdrecht, 2002).

Para conocer las fracciones de nitrógeno se puede emplear los factores de conversión que fueron propuestos por el modelo ASM2d, si se precisa de más exactitud se puede realizar un análisis de amonio y nitrógeno total Kjeldahl en base a muestras de influentes y efluentes filtradas y no filtradas. Para los factores de conversión del fósforo se pueden emplear como una simplificación los propuestos por el modelo ASM2d (Roeleveld y Van Loosdrecht, 2002).

7.7.2. Método biológico

7.7.2.1. Respirimetría

Estos métodos se fundamentan en el análisis de la tasa de consumo de oxígeno en condiciones ya establecidas, si bien los resultados obtenidos a través de este método son más precisos en comparación a los métodos físico – químicas, su aplicación conlleva un tiempo más largo de ejecución (Szaja *et al*, 2015).

La respirometría se guía por la relación entre la concentración de sustrato y la biomasa, esta relación está sujeta al origen y características del agua a tratar. Spérandio y Etienne (2000) propone el desarrollo de un procedimiento respirométrico automático el cual se basa en analizar la DQO biodegradable y la biomasa heterotrófica, que pueda establecer una relación óptima entre el sustrato y la biomasa.

Entonces la respirometría se enfoca en el consumo de oxígeno en relación con la actividad de la biomasa, proceso que puede ser influenciado por factores como baja concentración de oxígeno, sustrato y la existencia de sustancias inhibidoras o tóxicas. Es así que alguna variación en la actividad microbiana se percibe a través de cambios en la tasa de consumo de oxígeno (Fall, Cuenca *et al*, 2005).

Varios métodos han sido propuestos para valorar la tasa de consumo de oxígeno dentro de un cultivo microbiano, uno de los más accesibles se basa en el perfil de concentración de oxígeno en relación con el tiempo, el cual se determina en la fase líquida en un reactor discontinuo, para posteriormente calcular el consumo de oxígeno en el periodo deseado a partir de la pendiente de la curva. De esta manera se puede obtener la tasa de consumo de oxígeno repitiendo las mediciones en diversos periodos del proceso de degradación (Fall, Cuenca *et al*, 2005).

Szaja *et al* (2015) desarrolló un método respirométrico para estimar las fracciones de la DQO, para este proceso, se propone tomar muestras de aguas residuales y de lodos activados generados en la planta de tratamiento. Se emplea un respirómetro BM – T el cual está integrado por un reactor por lotes, la muestra recogida se airea por un tiempo de 24 horas para obtener la respiración endógena con una temperatura de 20°C y pH de 7 a 8. Las muestras deberán tener un máximo de 2 horas después de su recolección, posteriormente para el análisis se integra 10 ml de solución de alitiourea para suprimir el consumo de oxígeno por la nitrificación.

El respirómetro BM – T registra directamente la fracción biodegradable total y la fracción fácilmente biodegradable, para conocer el resto de fracciones se aplica la siguiente ecuación:

$$X_S = C_S - S_S [mg \cdot dm^{-3}] \quad (14)$$

$$S_I = S_T - S_S [mg \cdot dm^{-3}] \quad (15)$$

$$X_I = C_I - S_I [mg \cdot dm^{-3}] \quad (16)$$

Donde

S_I = DQO soluble no biodegradable

S_T = DQO soluble total

X_I = DQO particulada no biodegradable

X_S = DQO lentamente biodegradable

C_S = DQO total biodegradable

C_I = DQO no biodegradable total

7.7.2.1.1. Determinación de la biomasa presente en la DQO del agua residual

Para la determinación de esta fracción se necesita de otros parámetros cinéticos como el valor de la constante de decaimiento de los heterótrofos, la constante de crecimiento y el coeficiente de rendimiento de la biomasa. Existen algunos valores que propone el modelo ASM1 para estas constantes cinéticas y estequiométricas (Vázquez *et al*, 2013).

Fall, Cuenca *et al* (2005) propone realizar pruebas respirométricas de manera triplicada, para así lograr un respirograma correcto de referencia, de esta manera se determina la cantidad de absorción de oxígeno. Mediante un sistema de reactores biológicos de 2 L con un serpentín externo para el control de la temperatura, en este caso 20°C, además de agitación magnética. Se plantea la operación de estos reactores con un lodo de edad de 2 a 3 días sin nitrificación, la aireación se proporciona a través de pequeñas bombas conectadas a difusores.

Adicionalmente se incluye sensores de oxígeno a los reactores y un sistema de control y compilador de datos para así regular el suministro de oxígeno y registrar la concentración en el licor mezclado. La bomba de aireación mantiene al oxígeno disuelto entre 3 a 4mg/L, esto permite calcular la tasa de consumo de oxígeno en base a la pendiente del tramo descendiente de la curva de concentración de oxígeno en relación al tiempo (Fall, Cuenca *et al*, 2005).

Para todas las pruebas respirométricas es preciso añadir 1-alil-2-tiourea en una concentración de 10 mg/L para inhibir la nitrificación. Asimismo, se aplican varias relaciones de sustrato y biomasa para conocer los parámetros cinéticos necesarios. Se utilizan valores altos (>4) para la determinación de la tasa específica máxima de crecimiento de biomasa heterótrofa y se emplean valores bajos (<0.5) para el valor de decaimiento (Vázquez *et al*, 2013).

Chu *et al* (2003) propone una metodología diferente para determinar mediante respirometría parámetros cinéticos, se caracteriza estos parámetros con un respirómetro agitado mecánicamente. Se establece las tasas de consumo de oxígeno en función a la condición de oxidación de acetato.

El proceso inicia con aireación del lodo suspendido, con una concentración de 3.3 g/L de sólidos en suspensión, una vez lleno el respirómetro con la suspensión de lodo activado se agita mecánicamente para suprimir cualquier espacio de gas, la temperatura se mantiene en 25°C y el pH entre 7.1 a 7.4. Posteriormente se inyecta solución concentrada de acetato y peróxido de hidrógeno para que sirva como fuente de oxígeno, seguidamente se registra la tasa de consumo de oxígeno disuelto como resultado de la oxidación del acetato, esto se realiza a diversas velocidades de rotación. Para asegurar la exactitud de los resultados obtenidos es necesario realizar este proceso de manera triple.

Se describe la siguiente fórmula para obtener la tasa de consumo de oxígeno

$$R_o = \frac{dC_o}{dt} = \frac{V_o C_o}{K_o + C_o} \quad (17)$$

Donde

R_o = Consumo de oxígeno

C_o = Concentración de oxígeno en el tiempo

K_o = Coeficiente de saturación de oxígeno

$$V_m = \frac{\mu_m X}{Y} \cdot \frac{C_s}{K_s + C_s} \quad (18)$$

μ_m = Tasa de crecimiento específica máxima

X = Concentración de biomasa

Y = Coeficiente de rendimiento (g biomasa/g oxígeno)

C_s = Concentración de acetato en el momento (tiempo)

K_s = Coeficiente de saturación del sustrato

Sozen *et al* (1998) también ofrece un análisis respirométrico, sin embargo, este procedimiento se realiza en dos reactores discontinuos de 1 litro, uno de ellos se airea constantemente para mantener una concentración constante de oxígeno disuelto entre 6 a 8 mg/L. Mientras que el otro reactor se mantiene en condiciones anóxicas a través del burbujeo de gas nitrógeno. Cada uno de los reactores se alimentan inicialmente con la muestra de aguas residuales a estudiar, además se obtiene biomasa aclimatada del licor mixto de un reactor de llenado y extracción que funciona en una secuencia de periodos anóxicos y aeróbicos, con un lodo de edad de 7 a 10 días. Posteriormente se establecen relaciones en cada reactor para ser calibrados y determinar la fracción de biomasa activa.

De la misma manera Ekama *et al* (1986) emplea una metodología en condiciones anóxicas y aeróbicas para ofrecer una mejor claridad en función de los factores que intervienen para realizar el fraccionamiento de la DQO, para posteriormente desarrollar medidas correctivas de dichos métodos.

Pluciennik, Jakubaszek *et al* (2017) propone una metodología para determinar las fracciones de la DQO en aguas residuales sin tratar, tratadas mecánicamente y tratadas en plantas de tratamiento, se realizan 3 puntos de muestreo: en la entrada de la planta de tratamiento, después del tanque de sedimentación primario y en la salida. De esta manera se toman muestras para conocer la Demanda Química de Oxígeno, así como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se recomienda realizar la caracterización de las aguas residuales de manera triplicada en muestras filtradas y no filtradas, en función de los resultados obtenidos se calcula las fracciones de la DQO.

7.7.2.2. Pruebas por lotes

La metodología sugerida por Kappeler y Gujer (1992) propone realizar mediciones para establecer la tasa de consumo de oxígeno y así determinar las fracciones de la DQO como los parámetros cinéticos. De esta manera el sistema se controla periódicamente a través de una prueba por lotes con bacterias nitrificantes, se añade cloruro de amonio a un lodo que previamente fue aireado, posteriormente se determina el aumento de la respiración de oxígeno por la actividad de las bacterias nitrificantes. Después se realizan cálculos sobre la diferencia entre la tasa de consumo de oxígeno medida y la respiración de oxígeno inicial con relación al coeficiente estequiométrico para el crecimiento aeróbico de autótrofos.

Kappeler y Gujer (1992) expresan que para realizar estas pruebas por lotes es de importancia mantener una temperatura constante y una biomasa que se adecue al tipo de agua residual a estudiar, además para la determinación de los parámetros cinéticos y de las fracciones de la DQO es indispensable añadir un inhibidor de nitrificación, como la aliltiourea. El método se desarrolla en tres diferentes pruebas por lotes, uno con una cantidad mínima de biomasa, un ensayo con aguas residuales y otro con lodos activados y aguas residuales.

7.8. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales remueven los contaminantes presentes en las aguas a tratar, estas corresponden a la variabilidad temporal del caudal de entrada y las características de las aguas. Por lo que se emplean mecanismos biológicos, físicos y químicos, para elegir estos procesos es necesario definir la caracterización del agua residual, el propósito del modelo, sistema hidráulico, análisis del modelo estacionario, calibración del modelo, entre otros. Aunque la mejor tecnología empleada para el tratamiento de aguas se debe vincular a aspectos ambientales, económicos y sostenibilidad a largo plazo (Rodríguez *et al*, 2015).

Las tecnologías que son empleadas en el tratamiento de aguas residuales con relación a América Latina están representadas en su mayoría por procesos de lodos activados con un 80%. Además, esta región posee en su mayoría plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas, por su falta de infraestructura. Como se mencionó el tratamiento de lodos activados es el más empleado, se estima que mediante este proceso se trata el 58% del agua que ingresa, seguido con un 15% de tratamiento por lagunas de estabilización, en cambio el tratamiento primario avanzado es decir con suma de químicos logra tratar un 9% de las aguas que ingresan (Noyola *et al*, 2015).

7.8.1. Tipos de tratamiento

Guyer (2019) expresa las siguientes etapas que se consideran en un tratamiento de aguas residuales:

- 7.8.1.1. Pretratamiento:** Una vez que el agua residual ingresa a la instalación de tratamiento circula a través de un paso denominado tratamiento preliminar, con el objetivo de eliminar objetos de grande magnitud como trapos, latas, botellas, palos, entre otros. Objetos que pueden llegar a obstaculizar las bombas o las tuberías pequeñas que integran los procesos de aguas abajo.
- 7.8.1.2. Tratamiento primario:** Después de eliminar objetos grandes y la arena, las aguas residuales abarcan componentes orgánicos e inorgánicos disueltos, junto a sólidos en suspensión. Estas partículas se pueden eliminar con tratamientos adicionales como sedimentación, sedimentación por gravedad, coagulación química o filtración. Por otro lado, los contaminantes suspendidos no pueden ser eliminados en su totalidad a través de la sedimentación por gravedad, los sólidos en suspensión que se hunden se denominan lodo primario.
- 7.8.1.3. Tratamiento secundario:** Conlleva una serie de procesos biológicos que buscan eliminar la materia orgánica de las aguas residuales, estos procesos se basan en la función que desempeñan las bacterias y los microorganismos, al transformar la materia orgánica en biomasa celular, energía, gases o agua de mejor calidad. Por medio de tratamientos biológicos se puede eliminar hasta el 90% de la materia orgánica, se aprecian varios procesos que pueden ser aplicados en el tratamiento biológico.

Los tratamientos biológicos son fundamentales en la depuración de las aguas residuales, principalmente por la capacidad de los microorganismos de eliminar la materia orgánica biodegradable mediante la digestión y descomposición (Duque *et al*, 2018).

La tabla 7 presentada por Muñoz y Álvarez (2018), resume los principales tratamientos biológicos que se llevan a cabo en el tratamiento de aguas residuales, ya sea sistemas en presencia de oxígeno (aerobios) o carencia de el (anaerobios), así como sistemas que no contien oxígeno disuelto pero si la presencia de nitritos y nitratos que pueden cederlo (anóxicos).

Tabla 7*Tratamientos biológicos*

	Cultivo en suspensión	Lagunaje
Aerobio	Cultivo fijo	Digestión aerobia (fangos activados) Filtros percoladores Reactores de lecho compacto Sistemas rotativos de contacto
Anóxicos	Cultivo en suspensión Cultivo fijo	Desnitrificación
Aerobios	Cultivo en suspensión Cultivo fijo Combinados	Lagunaje Contactores anaerobios Digestores anaerobios (fangos activados) Filtros percoladores Reactor de lecho fijo Reactor de lecho fluidizado Sistemas mixtos

Fuente: Muñoz y Álvarez, 2018.

Se pueden apreciar diversos procesos biológicos de depuración como aerobios y anaerobios, a continuación, se detallarán los principales: (Muñoz & Álvarez, 2018)

7.8.1.3.1. Tratamiento en sistemas aerobios

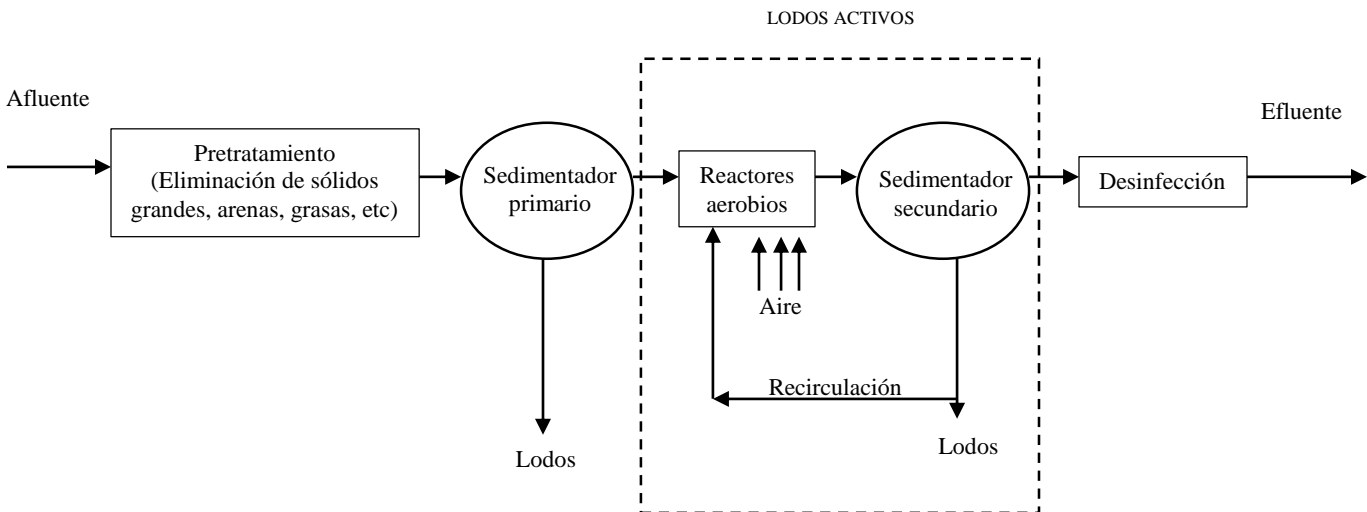
Este tratamiento se realiza en base a las características del agua a tratar como su caudal y el tipo de agua, por lo general se emplean reactores biológicos con añadidura de oxígeno para proveer la cantidad necesaria de microorganismos aerobios, los cuales están encargados de degradar la materia orgánica. Posterior a la salida del reactor biológico, el agua pasa a un sedimentador en el cual se divide dos corrientes, una corriente con menor contenido de materia orgánica y otra corriente que se denomina fangos activados, la cual está compuesta por la biomasa es decir flóculos de bacterias o sus restos adicional al material en suspensión que no pudo ser degradado (Muñoz y Álvarez, 2018).

7.8.1.3.1.1. Tratamiento de lodos activados

Uno de los procesos más empleados dentro de los tratamientos biológicos es el proceso de lodos activados el cual se sustenta en el aprovechamiento de microorganismos, en su mayoría bacterias heterótrofas, estas bacterias se desarrollan de manera natural en el agua residual transformando la materia orgánica disuelta y particulada en dióxido de carbono, agua y nuevas bacterias. La figura 2 muestra el proceso de lodos activados el cual consta generalmente de un tanque de aireación que permite conservar a los microorganismos en suspensión y aireados, un sistema de separación de sólidos, puede ser un tanque de sedimentación y un sistema de recirculación de la biomasa sedimentada (Buitrón *et al*, 2018).

Figura 2

Diagrama de bloques de un proceso de tratamiento biológico de agua residual con énfasis en el proceso de lodos activos



Fuente: Buitrón *et al*, 2018.

Procesos en un reactor biológico

Para el funcionamiento de un sistema de lodos activados es primordial caracterizar las aguas a tratar, características físicas, químicas y biológicas. Muchas de estas características influyen en la calidad del efluente, el diseño y funcionamiento del sistema (López, Buitrón *et al*, 2018).

En la tabla 8 Buitrón *et al* (2018) detallan las transformaciones de compuestos orgánicos e inorgánicos que se llevan a cabo en un reactor biológico.

Tabla 8

Reacciones globales de transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos del agua residual

Componentes del agua residual		Reacción	Componentes del lodo
Orgánicos	Solubles Disueltos	No biodegradables Escapan con el efluente Biodegradables Se transforman en biomasa activa	Sólidos sedimentables totales (SST) Sólidos sedimentables orgánicos volátiles (SSV) Toda la biomasa en el reactor no suspendida y sedimentable
	Particulados Suspendidos	No biodegradables Se incorporan a la masa de lodos Biodegradables Se transforman en biomasa activa	
	Sedimentables	No biodegradables Se incorporan a la masa de lodos Biodegradables Se transforman en biomasa activa	
Inorgánicos	Particulados	Sedimentables Se incorporan a la masa de lodos Suspendidos	Sólidos sedimentables inertes (SSI) Sólidos sedimentables inertes (SSI)
		Precipitables Se transforman en sólidos sedimentables	
	Solubles	Utilizables biológicamente Se transfieren a la fase Sólida Gaseosa No precipitables y no utilizables biológicamente Escapan con el efluente	

Fuente: Buitrón *et al*, 2018.

A pesar de que se necesitan de ciertos parámetros para caracterizar las aguas residuales con énfasis en el diseño de un sistema de lodos activados, existen otros factores que intervienen en su diseño, como el tipo de tecnología accesible en referencia con la calidad que se pretende obtener, esto se vincula a la eliminación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Si los requerimientos son elevados en referencia a la calidad del agua, el sistema de lodos activados será más complejo y precisará de una caracterización más detallada. Por otra parte, si no se pretende llevar a cabo el proceso de nitrificación no es necesario la caracterización del nitrógeno y del fósforo (López, Buitrón *et al*, 2018).

7.8.1.3.2. Tratamiento en sistemas anaerobios

Estos sistemas también están enfocados en la reducción de la carga orgánica presente en las aguas residuales, sin embargo, estos procesos se desarrollan en ausencia de oxígeno molecular, actúan bacterias anaerobias estrictas, se tratan corrientes que no pueden ser asimiladas en los reactores aerobios, de igual manera se aplican en el tratamiento del fango que es residuo de los tratamientos aerobios. Estos sistemas necesitan un tiempo de tratamiento más largo que los sistemas aerobios, de tal manera que los microorganismos se encuentran suspendidos o fijados en los reactores, se alimentan de flujos de líquidos y sólidos diversos (Muñoz y Álvarez, 2018).

7.8.1.4. Tratamiento terciario: Este tratamiento se ejecuta de acuerdo a la disposición final que se pretenda dar a las aguas tratadas, es así que en este tratamiento se busca remover los nutrientes como nitrógeno y fósforo, además de evitar la eutrofización en cuerpos de agua, la cual puede afectar gravemente al hábitat acuático (Lopez. M, 2017).

7.9. Modelos de lodos activados (ASM1, ASM2 y ASM3)

Los modelos ASM1, ASM2 y ASM3 son métodos que están enfocados en el proceso de lodos activados, los modelos ASM1 y ASM3 simulan la remoción de materia orgánica, el proceso de nitrificación y desnitrificación, por otro lado el ASM2 y ASM2d simulan la remoción de fósforo, a pesar de esto, y el desarrollo que han tenido estos modelos a través del tiempo, no existe una metodología estándar para aplicar dichos modelos, por lo que requieren de una adaptación y calibración en función del tipo de agua a tratar y la tecnología implementada en la planta de tratamiento (Espinosa y Fall, 2015).

7.9.1. Modelo de lodo activado ASM1

El modelo ASM1 está integrado por trece componentes, los cuales se pueden observar en la tabla 9, siete de ellos son de materia orgánica soluble y seis de materia orgánica particulada, además de ocho procesos, tres de crecimiento, dos de decaimiento y tres de hidrólisis. Siete de los trece componentes se asocian con materia orgánica del agua y lodo, cuatro son compuestos nitrogenados y los dos restantes son constituyentes de oxígeno y alcalinidad. Este modelo toma como base la DQO y su fraccionamiento para realizar balances de masa (Espinosa y Fall, 2015).

7.9.1.1. Procesos dinámicos del modelo ASM1

Jeppsson (2001) recoge la clasificación expresada en el modelo ASM1 de los procesos dinámicos que ocurren en él, a continuación, se detalla cada uno de ellos:

7.9.1.1.1. Crecimiento aerobio de heterótrofos

En este proceso una parte de la fracción fácilmente biodegradable se emplea en el crecimiento de la biomasa heterotrófica, utilizando el amoníaco como fuente de nitrógeno, es así que se genera biomasa nueva.

7.9.1.1.2. Crecimiento anóxico de heterótrofos

Los organismos heterótrofos al carecer de oxígeno utilizan el nitrato como aceptador terminal de electrones y cantidad de la fracción S_5 como sustrato, este proceso da origen a biomasa heterotrófica y gas nitrógeno.

7.9.1.1.3. Crecimiento aerobio de autótrofos

A través del proceso de oxidación, el amoníaco se transforma en nitratos lo que origina la biomasa autotrófica y una demanda de oxígeno.

7.9.1.1.4. Decaimiento de heterótrofos

Este proceso se fundamenta en la teoría de muerte – regeneración, por lo cual un porcentaje de los organismos muere, debido a esto cierta cantidad del material se considera no biodegradable y se integra al material particulado inerte, mientras la cantidad restante se integra a la fracción X_5 .

7.9.1.1.5. Decaimiento de autótrofos

El proceso es muy similar al ocurrido en el decaimiento de heterótrofos, por lo cual se modela de la misma manera.

7.9.1.1.6. Saturación de amoníaco del nitrógeno orgánico soluble

El nitrógeno orgánico soluble biodegradable cambia y libera amoníaco, mientras que los iones de hidrógeno producen una alteración en la alcalinidad.

7.9.1.1.7. Hidrólisis de compuestos orgánicos retenidos en la biomasa

Las enzimas extracelulares microbianas rompen y solubilizan la fracción X_S , convirtiéndola en sustrato soluble, es decir S_S . De esta manera los microorganismos pueden utilizar ese sustrato para funciones metabólicas. Si existe gran cantidad de la fracción X_S en relación a la cantidad de biomasa existente, se produce un fenómeno de saturación.

Para la modelación del proceso de crecimiento aerobio de heterótrofos y el crecimiento aerobio de autótrofos, se puede emplear la cinética de Monod, la cual se fundamenta en la concentración de S_S y S_{OD} . De igual forma para el crecimiento anóxico de heterótrofos se modela el proceso multiplicando la expresión cinética por un factor de corrección (Monod, 1947).

Tabla 9

Matriz estequiométrica del ASMI: cinética de oxidación carbonosa, nitrificación y desnitrificación

J	Componente i Proceso	1 S_1	2 S_s	3 X_1	4 X_S	5 X_H	6 X_A	7 X_P	8 S_{O_2}	9 S_{NO}	10 S_{NH_4}	11 S_{ND}	12 X_{ND}	13 S_{ALK}	Cinética, P_j ($ML^{-3}T^{-1}$)	
1	Crecimiento heterótrofo aerobio		$-\frac{1}{Y_H}$			+1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$					$-\frac{i_{XB}}{14}$	$\mu_{H,max} \frac{S_S}{K_S+S_S} \frac{S_O}{K_{O,H}+S_O} X_H$	
2	Crecimiento heterótrofo anóxico		$-\frac{1}{Y_H}$			+1			$-\frac{1-Y_H}{2.86 Y_H}$					$\frac{1-Y_H}{14 * 2.86 Y_H}$	$\mu_{H,max} \frac{S_S}{K_S+S_S} \frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}} \frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O} \eta_g X_H$	
3	Crecimientos nitrificantes						+1		$-\frac{4.57-Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$				$-\frac{i_{XB}}{14} - \frac{1}{7Y_A}$	$\mu_{A,max} \frac{S_{NH}}{K_{NH}+S_{NH}} \frac{S_O}{K_{O,A}+S_O} X_A$	
4	Decaimiento heterótrofo				$1-f_p$	-1							f_p		$i_{XB} - f_p i_{XP}$	$b_H X_H$
5	Decaimientos nitrificantes				$1-f_p$								f_p		$i_{XB} - f_p i_{XP}$	$b_A X_A$
6	Amonificación N-Org. soluble										1	-1		$\frac{1}{14}$	$k_a S_{ND} X_H$	
7	Hidrólisis de mat. orgánica		1		-1										$k_h \frac{X_S/X_H}{K_X+(X_S/X_H)} \left[\left(\frac{S_O}{K_{O,H}+S_O} + \eta_h \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H}+S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO}+S_{NO}} \right) \right) \right] X_H$	
8	Hidrólisis de N-Org. susp.											1	-1		$p_7 (X_{ND}/X_S)$	
		DQO	DQO	DQO	DQO	DQO	DQO	DQO	DQO	N	N	N	N	mol		

Fuente: Henze et al, 2000.

El modelo ASM1 se fundamenta en la cinética de Monod en los sistemas de lodos activados con oxidación de carbono, nitrificación y desnitrificación, es así que una fracción de sustrato rápidamente biodegradable se emplea para el crecimiento de la biomasa mientras que el resto se oxida para convertirse en fuente de energía incrementando así la demanda de oxígeno. Además de los procesos y componentes que ya se mencionó, el modelo considera dos tipos de biomasa, biomasa heterótrofa y los organismos nitrificantes quimioautótrofos o biomasa autótrofa (Van Loosdrecht *et al*, 2015).

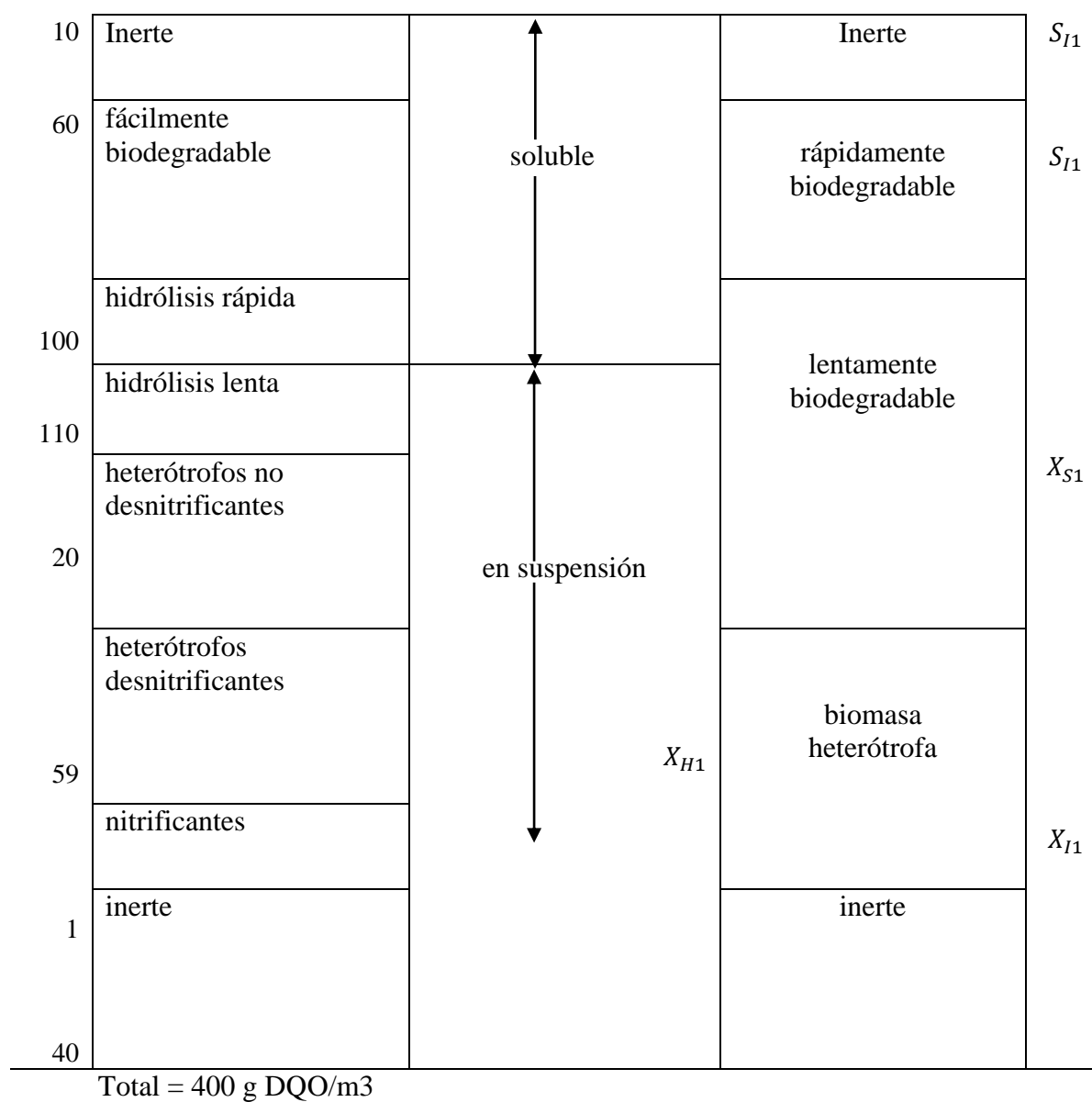
La figura 3 presenta un ejemplo del proceso de fraccionamiento de la materia orgánica en base al proceso de lodos activados en aguas residuales del afluente.

Figura 3

Fraccionamiento de la materia orgánica del agua residual

DQO (ppm)

Modelo N° 1 Fangos Activos



Fuente: Henze et al, 2000.

Todos los procesos bioquímicos que se producen en un reactor biológico de lodos activados se modelan empleando el modelo ASM1, de manera general, este modelo representa la demanda de nitrógeno y oxígeno químico en el interior de los procesos de tratamiento de crecimiento suspendido incorporando mecanismos de nitrificación y desnitrificación, se estima que el modelo es eficiente en aguas residuales de origen doméstico o municipal, además de llevar a cabo una caracterización minuciosa.

La tabla 10 está representada por los componentes i , que lo integran el oxígeno disuelto, sustrato, biomasa, amonio, entre otros, su simbología se presenta en la primera fila y la descripción de unidades en la última. Los procesos j están integrados por el crecimiento y respiración endógena. En el centro de la tabla se expresan los coeficientes estequiométricos en función de cada proceso, además de las expresiones cinéticas.

Tabla 10

Matriz de procesos de un modelo que representa un crecimiento aerobio heterótrofo

Componente $i \rightarrow$ Proceso $j \downarrow$	1 X_H	2 S_{DQO}	3 S_{O_2}	4 S_{NH_4}	Cinética
1 Crecimiento heterótrofo aerobio	+1	$-\frac{1}{Y_H}$	$-\frac{1 - Y_H}{Y_H}$	$-i_{XB}$	$\mu_H \frac{S_{DQO}}{K_{DQO} + S_{DQO}} X_H$
2 R. endógena heterótrofa	-1		-1		$b'_H \frac{S_{O_2}}{K_{O_2,H} + S_{O_2}} X_H$
Parámetros estequiométricos: Y	Velocidad de reacción observada ($M_i L^{-3} T^{-1}$) $r_i = \sum_j V_{ji} P_j$				Parámetros cinéticos:
	Biomasa (g (DQO/m ³))	Sustrato (g (DQO/m ³))	Oxígeno (g (O ₂ /m ³))	Amonio (g (N/m ³))	$\mu_H, K_{DQO}, b'_H, K_{O_2,H}$

Fuente: Henze et al, 2000.

Los procesos que contempla el modelo son los considerados fundamentales en el sistema de lodo activado, tales como: crecimiento aeróbico y anóxico de biomasa heterotrófica, muerte de biomasa heterotrófica, crecimiento aeróbico de biomasa autotrófica, descomposición de biomasa autotrófica, amonificación de nitrógeno orgánico soluble e hidrólisis de materia orgánica particulada y de nitrógeno orgánico (M.I y H.S, 2009).

La ecuación de balance para el tanque de biodegradación aplicando el modelo ASM1 se presenta de la siguiente forma:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = r(\varepsilon) + \frac{Q}{V}(\varepsilon_{in} - \varepsilon) \quad (19)$$

Donde

ε y ε_{in} = Vectores de las concentraciones de todos los componentes en el reactor y la entrada respectivamente

Q = Tasa volumétrica del afluente local

V = Volumen del reactor

D = Tasa de dilución, se define como la relación $\frac{Q}{V}$

$r(\varepsilon)$ = Vector de la cinética de reacción para los 8 procesos

Cabe mencionar que el modelo ASM3 fue incluido después del modelo ASM1 con el objetivo de mejorar aspectos conceptuales, a pesar de ello, el modelo ASM3 muestra cierto grado de dificultad con los métodos presentados para el fraccionamiento. Por otro lado, los modelos ASM2 y ASM2d especifican la transformación del fósforo (Loaiza y Fall, 2010).

7.9.2. Estequiometría y Cinética

En el tratamiento de aguas residuales es de fundamental importancia realizar un balance de masas, partiendo de la cinética y estequiometría de reacción que se lleva a cabo en los procesos de transformación, para posteriormente determinar las relaciones cuantitativas entre reactivos y materia orgánica.

7.9.2.1. Estequiometría

Al implementar un sistema de tratamiento se contemplan los compuestos elementales de cada proceso, ya que estos contribuyen a la masa total del sistema, por esta razón se realizan balances de masa en función de la ley de conservación de la materia para determinar los coeficientes estequiométricos necesarios (López, Buitrón *et al*, 2018).

7.9.2.2. Cinética

Cada reacción que ocurre en el proceso está determinada por una ecuación, el modelo ASM1 estas ecuaciones están fundamentadas en las tasas de crecimiento, entonces el modelo ASM1 determina que el coeficiente de la biomasa es igual a 1, además de utilizar una ecuación de saturación estándar que evalúa dos parámetros: la tasa máxima y la constante de saturación (López, Buitrón, *et al*, 2018).

En la tabla 11, se presentan los parámetros cinéticos y estequiométricos que se observan en el modelo ASM1.

Tabla 11*Parámetros estequiométricos y cinéticos del modelo ASM1*

PARÁMETROS ASM1		
	Símbolo	Nombre
Estequiométricos	Y_A	Rendimiento de biomasa autótrofa
	Y_h	Rendimiento para biomasa heterotrófica
	f_p	Fraccionamiento de biomasa particulada
	i_{XB}	Masa de nitrógeno / masa de DQO en biomasa
	i_{XP}	Masa de nitrógeno / masa de DQO en productos de biomasa
Cinéticos	$K_{O,H}$	Coeficiente de semi – saturación de oxígeno para biomasa heterotrófica
	K_{NO}	Coeficiente de semi – saturación de nitrato para biomasa heterotrófica
	$K_{O,A}$	Coeficiente de semi – saturación de oxígeno para biomasa autotrófica
	K_{NH}	Coeficiente de semi – saturación de amonio para biomasa autotrófica
	$\mu_{H,max}$	Tasa de crecimiento específica máxima para biomasa heterotrófica
	K_S	Coeficiente de media – saturación para biomasa heterotrófica
	b_H	Coeficiente de descomposición de la biomasa de heterótrofos
	η_g	Factor de corrección para μ_H en condiciones anóxicas
	η_h	Factor de corrección para la hidrólisis en condiciones anóxicas
	K_h	Tasa de hidrólisis específica máxima
	K_X	Coeficiente de media – saturación para la hidrólisis de forma lenta
	$\mu_{A,max}$	Tasa de crecimiento específica máxima para biomasa autotrófica
	K_a	Tasa de amonificación

Fuente: Henze et al, 2000.

El modelo ASM1 recopila y pone de manifiesto una serie de parámetros que se observan en la tabla 12, los cuales se pueden utilizar para procesos de simulación o calibración ya que en la práctica estos resultados no varían de manera significativa.

Tabla 12 Valores por defecto de parámetros del ASM 1

Símbolo	Unidades	Valor a 10 °C	Valor a 20 °C	Rango a 20 °C
Coeficientes estequiométricos				
Y_A	g DQOC/g N_{OX}	0.24	0.24	0.07- 0.28
Y_H	g DQOC/g DQO _S	0.67	0.67	0.46- 0.69
f_P	adimensional	0.08	0.08	---
i_{XB}	g N_C /g DQO _C	0.086	0.086	---
i_{XP}	g N_p /g DQO _P	0.06	0.06	0.02- 0.1
Coeficientes cinéticos				
$\mu_{H,max}$	d^{-1}	3.0	6.0	3.0- 13.2
K_S	g DQO/ m^3	20.0	20.0	10- 180
$K_{O,H}$	g O_2 / m^3	0.20	0.20	0.01- 0.2
K_{NO}	g $N-NO_2^-$ / m^3	0.50	0.50	---
b_H	d^{-1}	0.20	0.62	0.05- 1.6
η_g	adimensional	0.8	0.8	--
η_h	adimensional	0.4	0.4	0.4- 1
k_h	g DQO _{lent.degrad.} /gDQO _C /d	1.0	3.0	
K_X	g DQO _{lent.degrad.} gDQO _C	0.01	0.03	
$\mu_{A,max}$	d^{-1}	0.3	0.8	0.34- 0.8
K_{NH}	g $N-NH_4^+$ / m^3	1.0	1.0	--
$K_{O,A}$	g O_2 / m^3	0.4	0.4	--
k_a	m^3 /g DQO/d	0.04	0.08	--
b_A	d^{-1}		0.15	--

Fuente: Henze et al, 2000.

Estudios que fueron desarrollados por la Asociación Internacional del Agua (IWA) identifican a los parámetros mencionados en la tabla 12 como valores que no varían de manera significativa de un agua a otra, presentando estos valores como apoyo en el proceso de calibración de una planta de tratamiento, sin embargo estos valores están fundamentados en un pH cercano a neutro y solo para aguas residuales municipales. Pese a esto, se recomienda emplear estos valores únicamente cuando no existen datos específicos, debido a las diversas condiciones a las que pueden estar sometidas las aguas a tratar, lo que puede influenciar fuertemente en el resultado de estos parámetros.

7.9.3. Modelo de lodo activado ASM2

El modelo ASM2 manifiesta un concepto para la simulación dinámica de procesos biológicos compaginados para la eliminación de DQO, nitrógeno y fósforo, el principal objetivo de este modelo es la simulación enfocada en la remoción de fósforo, sin embargo, esta no es una propuesta final en relación con los modelos de supresión biológica de fósforo, ya que el modelo busca un balance entre conceptos complejos y simples para brindar una herramienta más adecuada (Henze *et al*, 2000).

Este modelo integra muchos más componentes que los presentados en el modelo ASM1, es así que estos componentes son propuestos para caracterizar el agua residual a tratar, con 19 variables de estado y 19 procesos de transformación, si bien este modelo supone ser uno más completo en relación al ASM1 en función del modelado, su uso únicamente es recomendado para caracterizar aguas residuales municipales debido a que los conceptos que se presentan en este modelo están basados en valores típicos que se hallan en aguas residuales municipales (Henze *et al*, 2000).

7.9.4. Modelo de lodos activados ASM3

El modelo ASM3 está enfocado a estimar el consumo de oxígeno, producción de lodos, nitrificación y desnitrificación en un sistema de lodos activados, guarda una estrecha relación con el modelo ASM1 y corrige algunos defectos del mismo.

ASM3 incorpora el almacenamiento de sustratos orgánicos como un nuevo proceso, además el proceso de decaimiento se intercambia por un proceso de respiración endógena, de esta manera ASM3 brinda una serie de parámetros cinéticos y estequiométricos fundamentalmente para aguas residuales domésticas, aunque este modelo no toma en cuenta la eliminación biológica del fósforo (Henze *et al*, 2000).

7.10. Modelado y simulación de Plantas de Tratamiento de aguas residuales con lodos activados

La Asociación Internacional del Agua, por sus siglas en inglés (IWA) ha desarrollado a través del tiempo modelos de lodo activado que han sido aceptados y aplicados para el modelado y simulación de Plantas de Tratamiento con énfasis al sistema de lodos activados, el primer modelo propuesto es el ASM1 el cual hasta la actualidad es ampliamente utilizado para modelar sistemas de lodos, con el objetivo de eliminar compuestos orgánicos de carbono y nitrógeno, sin embargo con el tiempo se han desarrollado modelos mejorados como el ASM2 el cual es una versión extendida y más completa que el ASM1, además se incluye el modelo ASM2d en el cual se contempla la actividad desnitrificante describiendo a detalle la dinámica del fosfato y nitrato (Gernaey *et al*, 2004).

El modelo ASM3 reúne nuevas características en su aplicación, sin embargo, se basa en los mismos objetivos del ASM1, cabe mencionar que la aplicación de estos modelos está relacionada con el tipo de tecnología a emplear en el tratamiento de aguas residuales, la calidad de agua que se precisa alcanzar, tipo de agua residual, entre otros (Gernaey *et al*, 2004).

Los modelos de lodos activados o ASM son empleados considerablemente principalmente en Europa y América del Norte para simular procesos biológicos en sistemas de lodos activados, para su ejecución se realiza una caracterización detallada de las aguas residuales con énfasis en el fraccionamiento de la DQO, aunque en América Latina existe escasa información sobre los valores típicos de las fracciones de la DQO como de los valores de las constantes cinéticas, todo esto dificulta su aplicación en la simulación de la dinámica de la materia orgánica (Vázquez *et al*, 2013)

7.10.1. Modelado y simulación

El modelado de un sistema de lodos activados determina o manifiesta las características esenciales que intervienen en los procesos de lodos activados expresándolos en términos matemáticos, estos términos matemáticos pueden representarse en modelos estáticos es decir analíticamente con variables discretas que cambian en un intervalo de tiempo y modelos dinámicos, es decir que emplea variables continuas a través de un software (Hulsbeek *et al*, 2002).

La simulación del procedimiento del sistema de lodos activados integra aspectos como la oxidación del carbono, nitrificación y desnitrificación, entre otras reacciones que permite simular un modelo matemáticamente manejable y obtener estimaciones prácticas. Por ellos se evalúa los procesos primordiales del sistema. Por lo tanto, el modelo cuantifica la cinética y la estequiometría en cada proceso (Henze *et al*, 2000)

Entonces el modelado y simulación trabajan en conjunto para diseñar y crear un modelo matemático computarizado que posteriormente se evalúa la funcionalidad experimental para así analizar y optimizar los procesos (Hulsbeek *et al*, 2002).

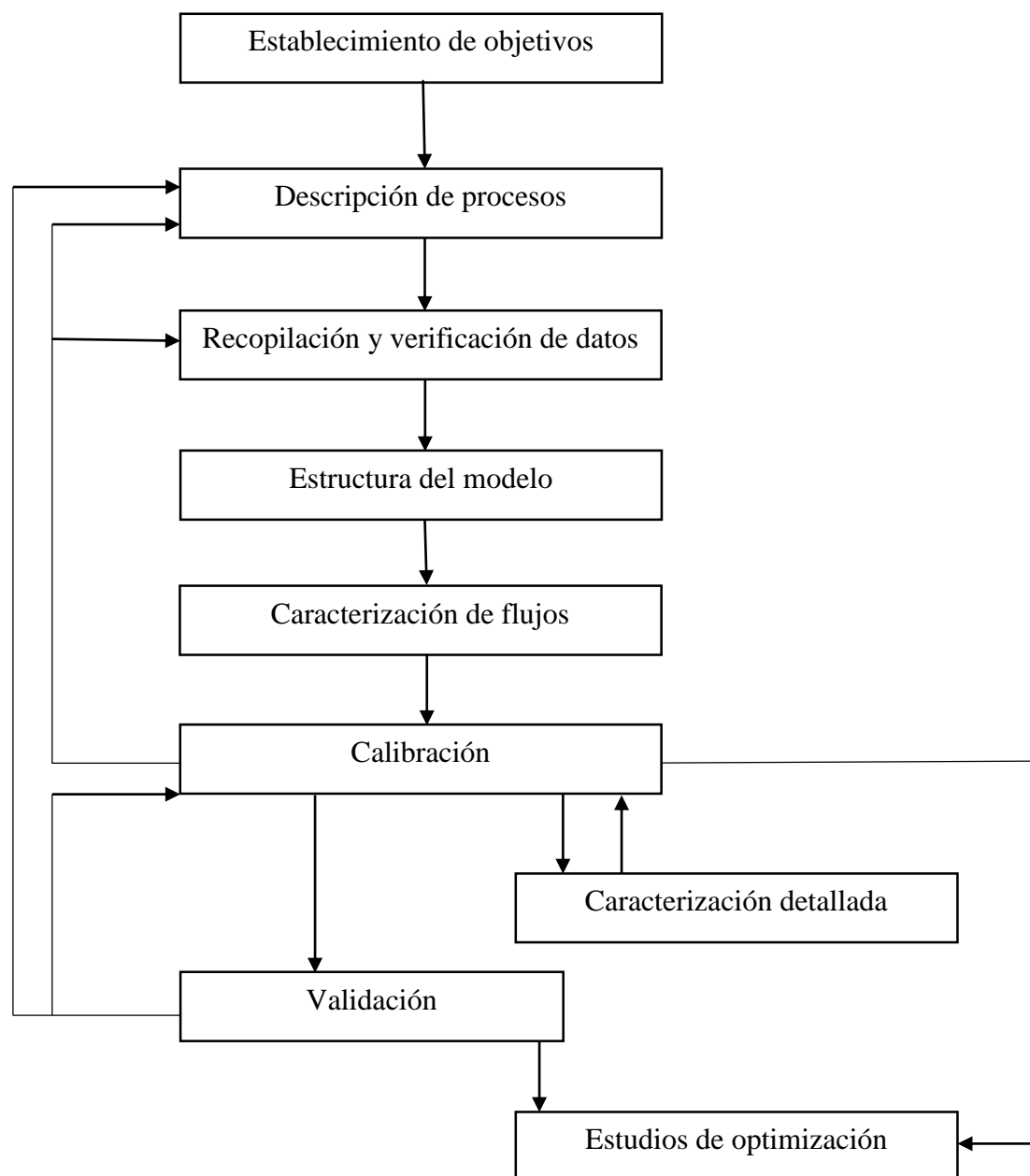
Los modelos empleados para el diseño de sistemas de lodos activados emplean parámetros determinados por la literatura, sin embargo, no existe un estudio sobre las estimaciones cuantitativas de las incertidumbres que presentan los parámetros y su variabilidad en función del sitio de aplicación, esto puede inferir en fallas en el diseño del sistema de tratamiento (Cox, 2004).

El modelo ASM1 se ha utilizado extensamente a lo largo de los últimos 20 años para la simulación de plantas de tratamiento de aguas residuales, en la actualidad se ha desarrollado e introducido constantes mejoras e incluso nuevos métodos para caracterizar las aguas residuales lo que ha generado la aparición de modelos como ASM2, ASM2d, ASM3. Cuando una de estas metodologías se adapta a las condiciones de cierta región es indispensable evaluar diversos parámetros como el tipo y nivel de tratamiento que se pretende obtener para las aguas residuales, su origen, tecnología, entre otros (Fall, Flores *et al*, 2011).

De esta manera la figura 4 presenta los procedimientos que se establecen en el protocolo de la STOWA para la simulación de plantas de tratamiento aguas residuales a gran escala.

Figura 4

Protocolo propuesto por STOWA para la simulación de plantas de tratamiento



Fuente: Henze et al, 2000.

7.11. Marco legal

Lo dispuesto en el artículo 138 de la Constitución de la República del Ecuador y el artículo 64 de la Ley Orgánica de la Función Legislativa, acompaño el texto de la de **LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA**, para que se sirva publicarlo en el Registro Oficial (Ley orgánica de recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, 2014).

Artículo 38. Prohibición de autorización del uso o aprovechamiento de aguas residuales. La Autoridad Única del Agua no expedirá autorización de uso y aprovechamiento de aguas residuales en los casos que obstruyan, limiten o afecten la ejecución de proyectos de saneamiento público o cuando incumplan con los parámetros en la normativa para cada uso.

Artículo 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental. Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

Disposiciones generales

QUINTA. - Los Gobiernos Autónomos Descentralizados competentes, en materia de provisión de agua y saneamiento, implementarán sistemas adecuados para el abastecimiento de agua potable, de modo que, en el plazo previsto en el Plan Nacional de Desarrollo del Buen Vivir y en la estrategia de erradicación de la pobreza y la desigualdad, quede plenamente garantizado el acceso total de la población al agua potable.

Del mismo modo, procederán de acuerdo con las metas, objetivos y plazos previstos en el plan nacional de desarrollo y el plan nacional de recursos hídricos a la planificación, implementación y construcción de los sistemas de alcantarillado y de la infraestructura para tratamiento de aguas residuales y desechos urbanos, de modo que se cubran las necesidades de saneamiento de la población y se trate la totalidad de las aguas servidas.

Código orgánico ambiental

Art. 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades (COA, 2018).

8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿La revisión bibliográfica aportará metodologías aplicables para la determinación de las fracciones de DQO en el proceso de diseño y modelación de unidades de tratamiento biológicas?

La revisión bibliográfica realizada en base a diversos autores, posibilitó la adquisición de conocimientos en relación a las principales características, funcionalidad y dinámica de las fracciones de la DQO. Es así que el modelo ASM1 ofrece una serie de pautas para caracterizar las fracciones de la DQO y sus constantes cinéticas y estequiométricas, las cuales intervienen en el proceso de degradación en un sistema biológico, además el modelo ASM1 permite realizar procedimientos de simulación y calibración para optimizar los procesos que se llevan a cabo en el tratamiento biológico por lodos activados.

Asimismo, el modelo ASM1 presenta métodos biológicos (Respirométricos) para evaluar las constantes cinéticas y estequiométricas, estos métodos son ampliamente ejecutados y discutidos en la literatura presentando varios parámetros para su aplicación. De igual manera la Fundación Holandesa de Investigación Aplicada desarrollo un método físico – químico para determinar las fracciones de la DQO, denominado Protocolo STOWA por sus siglas en holandés, este método es extensamente empleado por su relativa facilidad de ejecución. De tal manera que, se pudo realizar una comparación entre valores recopilados de estudios realizados en base a métodos respirométricos y el Protocolo STOWA para determinar el fraccionamiento de la DQO, mediante la realización de gráficas de biocinética se determinó que las metodologías estudiadas brindan una base confiable para su aplicación ya que no arrojaron valores negativos. Todo esto permitió el desarrollo de una propuesta para caracterizar las fracciones de la DQO en aguas residuales de la Provincia de Cotopaxi.

9. METODOLOGÍAS/ DISEÑO NO EXPERIMENTAL

9.1. Metodologías

Dentro de esta revisión bibliográfica se recopilaron protocolos y metodologías empleadas para determinar las fracciones de la DQO con relación a la caracterización de aguas residuales. Las metodologías más utilizadas a nivel mundial son las propuestas por el Modelo de Lodo Activado o Active Sludge Model por sus siglas en inglés (ASM), en la actualidad el desarrollo de estos modelos se ha derivado en modelos ASM2 y ASM3.

9.1.1. Técnicas

9.1.1.1. Documental: Aportó significativamente a la investigación ya que la búsqueda de información de diversas fuentes brindó un soporte para encaminar el estudio en base al tema propuesto, los autores revisados expresan conceptos sobre las fracciones de la DQO y metodologías para su determinación, es así que se tomaron valores estequiométricos del modelo ASM1 presentado por Henze *et al* (2000) para la realización de gráficas de biocinética. Además, se mencionan conceptos sobre métodos físico químicos y sus parámetros de aplicación presentados por Vázquez *et al* (2013).

Para los criterios de aplicación del Protocolo STOWA se tomaron en consideración los determinados por Roeleveld y Van Loosdrecht (2002). De igual forma Szaja *et al* (2015) y Ekama *et al* (1986) ofrece conceptos de métodos respirométricos para determinar el fraccionamiento de la DQO. Los aspectos para el muestreo y tratamiento de muestras para el efluente, influente y licor mixto están basados en los manifestados por Henze (1992), Sánchez, Ribes *et al* (2017), Vanrolleghem *et al* (1999) y Kappeler y Gujer (1992).

9.1.1.2. Estudio de Caso: Permitió comprender y obtener un conocimiento a detalle de las características del tema o problema de investigación, es decir posibilitó un conocimiento a detalle de todas las características relacionadas al tema de estudio, de modo que, facilitó interpretar la dinámica, funcionalidad y beneficio del fraccionamiento de la DQO.

9.1.2. Métodos

9.1.2.1. Método analítico – sintético: Mediante este método se estudió cada una de las partes que se pretende conocer para luego integrarlas, es así que se estudió bibliográficamente cada una de las fracciones de la DQO para posteriormente determinar cómo influyen en el proceso biológico de aguas residuales.

9.1.2.2. Método inductivo: Se partió de leyes o teorías de estudios científicos que contribuyeron a la deducción lógica de los resultados que se estimó obtener. Es por esto, que se analizaron estudios realizados con anterioridad que hayan empleado las fracciones de la DQO y el nivel de eficiencia conseguido.

9.1.2.3. Método sistémico: Se enfoca en el tema de estudio y sus principales componentes y la relación que existe entre estos, así pues, se pudo establecer la dinámica de las fracciones de la DQO en el tratamiento de aguas residuales.

9.1.2.4. Método comparativo: El principal objetivo de este método es buscar y procesar información que permita ejecutar análisis comparativos, por lo tanto, al realizar la investigación bibliográfica fue importante relacionar los resultados obtenidos en cada estudio para determinar las fracciones de la DQO, para especificar el método que sea eficiente y se adecue a las características de las aguas residuales de la Provincia de Cotopaxi.

- 9.1.2.5. Método cuantitativo:** Se aplicó un enfoque cuantitativo ya que al estudiar el problema de investigación se recopiló información sobre estudios realizados, lo que pudo determinar la relación existente entre diversos parámetros empleados en la caracterización de la DQO, al obtener datos numéricos de diversas metodologías su pudo analizar la variabilidad existente entre cada una de ellas.
- 9.1.2.6. Método exploratorio:** Por medio del método exploratorio se pudo destacar los principales aspectos a estudiar del problema de investigación, para enfocar la investigación en procesos y temas puntuales.

9.2. Diseño no experimental

En esta investigación se empleó un diseño no experimental ya que no existen variables de estudio. De manera que se precisa conceptos relacionados con las fracciones de la DQO, sus principales propiedades, funcionamiento y su relación bajo el contexto de estudio.

- 9.2.1. Diseño Transeccional:** Se aplicó este tipo de diseño puesto que se orientó la investigación a conocer el estado y la relación que existe entre las fracciones de la DQO y la depuración de aguas residuales con énfasis en los procesos biológicos. Por consiguiente, se consideran transeccionales descriptivos y correlacionales – causales, puesto que se tomaron premisas o conceptos de investigaciones realizadas con anterioridad y a la vez se establecieron relaciones de causalidad (Rojas, 2015).

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se presenta una serie de comparaciones realizadas en base a diversas metodologías físico químicas como el protocolo de STOWA y metodologías biológicas como respirométricas, que fueron aplicadas para determinar las fracciones de la DQO en aguas residuales. Con el fin de identificar las diferencias considerables entre metodologías y estimar la variación de los resultados obtenidos.

Los análisis realizados según Sánchez, Ribes *et al* (2017) fueron realizados en diversas plantas de tratamiento en la región de Murcia Valencia, España, estuvieron enfocadas en los sistemas de lodos activados y su caracterización para obtener modelos de simulación óptimos, por lo cual se realizó un estudio estadístico que permitió establecer una relación entre los parámetros empleados para una simulación y los componentes que intervienen en el modelo matemático de lodos activados. Los valores varían en función de la composición de las aguas, deficiencia de nutrientes o la presencia de vertidos industriales.

Según el Baquero *et al* (2016) empleo el protocolo STOWA para la determinación del fraccionamiento de la DQO en aguas residuales con el objetivo de facilitar el uso y modelado dinámico de los simuladores de plantas de tratamiento. Se utilizó una metodología combinada entre pruebas físico químicas y métodos respirométricos para calcular valores cinéticos, cantidad de biomasa heterotrófica, tasas de crecimiento y decaimiento. De manera que se fracciono aguas residuales municipales de dos plantas de tratamiento ubicadas en la ciudad de Toluca, México, evaluando muestras compuestas que se tomaron de manera diaria del influente, así como del efluente por un periodo de una semana. De la misma manera se analizaron muestras del licor mixto. Para determinar las cuatro fracciones de la DQO se empleó los lineamientos del protocolo STOWA con un método de reflujó cerrado y espectrofotometría.

Según Vázquez *et al* (2013) en la ciudad de Bogotá también se realizaron varios análisis para determinar las fracciones de la DQO en aguas residuales municipales aplicando métodos físico químicos y bioensayos ya que representa una alternativa fácil y sencilla de ejecutar. Es así que se realizaron análisis en la planta de tratamiento que recibe todas las aguas residuales de toda la capital colombiana, sin embargo, al verse limitada la capacidad de dicha planta se construyó una planta piloto para mejorar el tratamiento de aguas residuales, para este proceso también se realizó la caracterización de las fracciones de la DQO.

A pesar de que en los estudios mostrados se aplicaron metodologías físico químicas y en algunos casos metodologías combinadas con procesos biológicos, los resultados que se muestran en la tabla 13 indican una variación significativa entre los datos obtenidos para cada una de las fracciones de la DQO, esto radica en que la composición de las aguas residuales es muy diversa, también intervienen las condiciones específicas en las que se encuentran las aguas residuales, pese a que los estudios realizados fueron enfocados en aguas residuales municipales algunos valores se ven afectados por la presencia de vertidos industriales. Además, los valores obtenidos en el fraccionamiento de la DQO varían en función del tratamiento previo que reciben o no las aguas residuales. Estos son algunos de los factores que inciden en la dificultad de realizar una metodología estándar para el fraccionamiento de la DQO.

Tabla 13

Comparación de los resultados obtenidos en diversas Plantas de Tratamiento

Planta de Tratamiento	Componentes (mg/l)				Metodología
	S _i	S _s	X _s	X _i	
PTAR 1	16,3	134,1	350,7	227,3	Protocolo STOWA
PTAR 2	103,3	382,5	636,1	85,4	
PTAR 3	57,0	334,2	101,8	58,0	
PTAR 4	39,5	460,8	69,5	64,1	
PTAR 5	117,0	206,4	245,6	258,0	
PTAR 6	28,0	68,0	138,0	56,0	
PTAR 7	17,7	378,3	334,4	149,3	
PTAR 8	48,7	301,8	226,2	36,7	
PTAR 9	97,7	154,2	157,2	53,7	
PTAR 10	43,0	104,5	284,8	320,7	
PTAR 11	35,3	243,2	110,8	61,0	
PTAR 12	25,6	92,4	95,7	44,1	
PTAR 13	43,0	345,6	215,4	90,0	
PTAR 14	31,0	145,8	127,2	73,0	
PTAR 15	32,0	168,9	179,1	42,0	
PTAR 16	54,5	105,5	296	11,5	Protocolo STOWA
PTAR 17	31,25	215	154,5	129,25	
PTAR 18	88	103	275	77	Protocolo STOWA
PTAR 19	49	133	219	81	

Fuente: Sánchez, Ribes et al, 2017. Baquero et al, 2016. Vázquez et al, 2013.

Es por esto que el modelo ASM1 propone realizar una calibración para la modelación de plantas de tratamiento con sistemas de lodos activados, en la que se realizan estudios para determinar parámetros cinéticos y estequiométricos, además de dichos aspectos, intervienen otros parámetros como datos de diseño, datos de operación, caracterización del modelo hidráulico, caracterización del modelo de sedimentación y caracterización para el modelo biológico, para así adecuar la metodología correcta en relación a la calidad de agua que se pretende obtener.

Cabe mencionar que la Asociación Internacional del Agua (IWA) por sus siglas en inglés además de presentar los Modelos de Lodos Activados (ASM) también ponen de manifiesto un estimado de los porcentajes de las fracciones de la DQO que se encuentran en aguas residuales municipales sin tratar, porcentajes que se detallan en la tabla 14.

Tabla 14

Valores de las fracciones de la DQO por la Asociación Internacional del Agua (IWA)

Valores de las fracciones de DQO en aguas residuales sin tratar	
	Componentes (%)
S_i	10 - 20
S_s	10 - 15
X_s	40 - 60
X_i	20

Fuente: (Henze, 1992)

Asimismo, en la tabla 15 se muestran valores recopilados de métodos respirométricos y uno combinado entre físico – químico y biológico, para evaluar el fraccionamiento de la DQO en aguas residuales municipales sin un previo tratamiento.

Tabla 15

Proporción de la fracción de DQO en aguas residuales municipales sin tratar

S_i	Componentes (%)			Método
	S_S	X_S	X_i	
7 – 11	10 – 20	53 – 60	7 – 15	Prueba por lotes
4	9,0	77	10	Respirométrico
2,2 – 6	50 – 61,7	22 – 34,4	8 – 16,2	Respirométrico
8 – 10	20 – 25	60 – 65	5 – 7	Respirométrico
8 - 11	24 – 32	43 - 49	11 - 20	Químico - Biológico

Fuente: Kappeler y Gujer, 1992. Sozen *et al*, 1998. Pluciennik, Jakubaszek *et al*, 2017. Ekama *et al*, 1986. Sadecka *et al*, 2011.

Al realizar una comparación entre la tabla 14 y la tabla 15 se puede observar que la proporción de las fracciones de la DQO en las aguas residuales municipales no es constante, y cambia considerablemente, la proporción entre fracciones puede ser afectada por los motivos mencionados con anterioridad. De esta manera se recomienda que para aplicar una metodología se realice estudios y análisis de amplia gama en función a la composición de materia orgánica.

10.1. Gráficas de biocinética

En esta sección se utilizaron los datos de la tabla 13 para probar la eficacia del método de determinación de las fracciones S_S , X_S . Se eligieron los resultados más significativos de tres autores para la comparación.

Los valores para comparar se simularon en MATHCAD 15 usando el modelo ASM 1 y; utilizando valores estándar de las variables estequiométricas detalladas a continuación:

- Y_h : 0.67 Heterotrophic Yield [g X_{bh} COD formed/ (g COD utilised)]: Relación del incremento de Biomasa resultado del uso de la materia orgánica.

- Y_a : 0.24 Autotrophic Yield [g Xba COD formed/ (g N utilised)]: Relación del incremento de Biomasa resultado del uso de nitrógeno.
- f_p : 0.08 Fraction of biomass to particulate products [-]: El decaimiento de la biomasa resulta en una fracción transformada en material inerte particulado.
- i_{XB} : 0.086 Fraction nitrogen in biomass [g N/ (g COD)]: Indica la cantidad de nitrógeno incorporado por DQO. El nitrógeno amoniacal sirve como fuente de N para el crecimiento de la biomasa
- i_{XP} : 0.06 Fraction nitrogen in particulate products [g N/ (g COD)]: Cantidad de nitrógeno por masa de DQO de la biomasa.

10.1.1. Determinación de Ss

Códigos usados en MATHCad para simular S_s

Código usado para construir Figura 5

$$\left(\frac{d}{dt}SS(t)\right) = 100 - SS(t) + \left[K_h \frac{\frac{X_s}{X_{bh}}}{K_x + \frac{X_s}{X_{bh}}} \left[\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} + n_{y,h} \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \right] - \left[\mu_{h,s} \left(\frac{SS(t)}{K_{s+SS(t)}} \right) \left(\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} \right) + \mu_{h,p} \left(\frac{SS(t)}{K_{s+SS(t)}} \right) \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \cdot n_{y,g} \right] \cdot \frac{1}{Y_h} \right] \cdot X_{bh} \cdot SS(t)$$

Código usado para construir Figura 6

$$\left(\frac{d}{dt}SS(t)\right) = 65 - SS(t) + \left[K_h \frac{\frac{X_s}{X_{bh}}}{K_x + \frac{X_s}{X_{bh}}} \left[\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} + n_{y,h} \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \right] - \left[\mu_{h,s} \left(\frac{SS(t)}{K_{s+SS(t)}} \right) \left(\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} \right) + \mu_{h,p} \left(\frac{SS(t)}{K_{s+SS(t)}} \right) \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \cdot n_{y,g} \right] \cdot \frac{1}{Y_h} \right] \cdot X_{bh} \cdot SS(t)$$

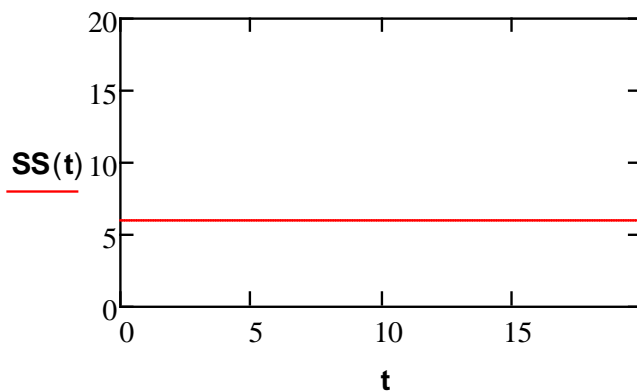
Código usado para construir Figura 7

$$\left(\frac{d}{dt}SS(t)\right) = 90 - SS(t) + \left[K_h \frac{\frac{X_s}{X_{bh}}}{K_x + \frac{X_s}{X_{bh}}} \left[\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} + n_{y,h} \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \right] - \left[\mu_{h,s} \left(\frac{SS(t)}{K_{s+SS(t)}} \right) \left(\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} \right) + \mu_{h,p} \left(\frac{SS(t)}{K_{s+SS(t)}} \right) \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \cdot n_{y,g} \right] \cdot \frac{1}{Y_h} \right] \cdot X_{bh} \cdot SS(t)$$

A continuación, se presenta los resultados de la simulación realizada en el programa MathCad 15, el cual se observa en la figura 5, figura 6 y figura 7.

Figura 5

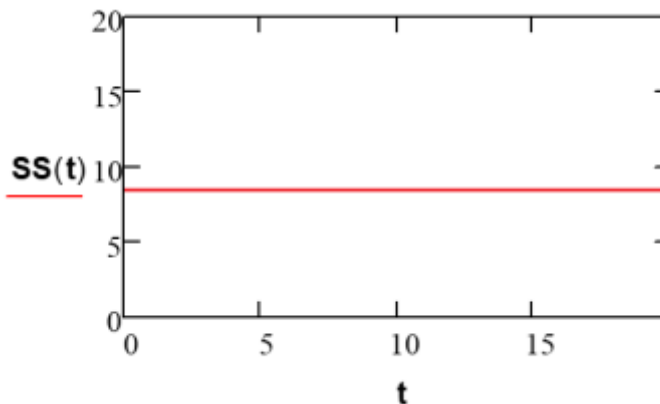
DQO Fácilmente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 9



El valor de 100 mg/l es un valor estándar inicial de S_5 obtenido para PTARS de los anteriores autores. Para 20 días la fracción S_5 se reduce a 5mg/l, comparando con los valores utilizados en la PTAR 9 se tiene 2.3 mg/l de S_5 para los veinte días, se presenta un error de 9% en los cálculos con bibliografía respecto a la simulación, esto se da por un ajuste de las variables estequiométricas utilizadas en el software vs, los métodos utilizados en varias bibliografías, siendo así que se tiene mayor precisión con la metodología revisada en esta investigación.

Figura 6

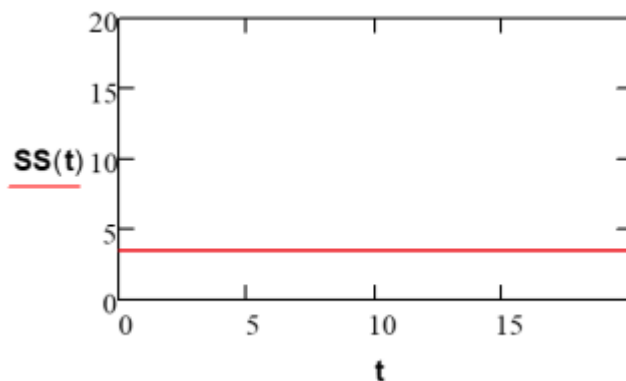
DQO Fácilmente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 16



El valor de 65 mg/l es un valor estándar inicial de S_S obtenido para PTARS de los anteriores autores. Para 20 días la fracción S_S se reduce a 9mg/l, comparando con los valores utilizados en la PTAR 16 se tiene 10.5 mg/l de S_S para los veinte días, se presenta un error de 8% en los cálculos con bibliografía respecto a la simulación, esto se da por un ajuste de las variables estequiométricas utilizadas en el software vs, los métodos utilizados en varias bibliografías, siendo así que se tiene mayor precisión con la metodología revisada en esta investigación.

Figura 7

DQO Fácilmente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 18



El valor de 90 mg/l es un valor estándar inicial de S_S obtenido para PTARS de los anteriores autores. Para 20 días la fracción S_S se reduce a 4 mg/l, comparando con los valores utilizados en la PTAR 18 se tiene 2 mg/l de S_S para los veinte días, se presenta un error de 9.7% en los cálculos con bibliografía respecto a la simulación, esto se da por un ajuste de las variables estequiométricas utilizadas en el software vs, los métodos utilizados en varias bibliografías, siendo así que se tiene mayor precisión con la metodología revisada en esta investigación.

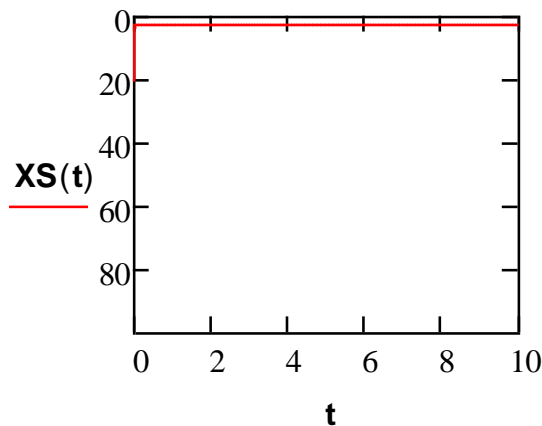
10.1.2. Determinación de X_S

Para simular la fracción lentamente biodegradable representada en la figura 8, a través del programa MathCad se utilizó el siguiente código.

$$\left(\frac{d}{dt} X_S(t) \right) = 275 - X_S(t) + \left[(1 - f_p) \cdot (b_h \cdot X_{bh} + b_a \cdot X_{ba}) - K_h \cdot \frac{X_S(t)}{K_x + X_{bh}} \left[\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} + n_{y_h} \cdot \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \cdot \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \right] \cdot X_{bh} \right] X_S(t)$$

Figura 8

DQO Lentamente Biodegradable vs. Tiempo en Días MathCad 15. PTAR 9, 16 y 18



El comportamiento de la fracción lentamente biodegradable se describe mediante la descomposición de las cadenas orgánicas en cadenas más simples a través de la hidrólisis, como valor inicial de X_S fue referenciado el de 275 mg/l de los datos de la tabla 9 para la simulación, arrojando a los 20 días una reducción menor a 10 mg/l. Todas las simulaciones se realizaron para los datos de las PTARS 9,16 y 18. Concluyendo que, las simulaciones utilizando los valores bibliográficos son perfectamente adecuadas y no arrojan valores negativos que significaría el consumo total de la fracción lentamente biodegradable.

11. ESTABLECIMIENTO DE UNA PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DE LA DQO EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI

11.1.Introducción

La Asociación Internacional del Agua presentó la elaboración del modelo ASM1 el cual está enfocado en el proceso de lodos activados, este modelo posibilita realizar una simulación de la remoción de materia orgánica mediante la determinación de parámetros estequiométricos y cinéticos además de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno. Sin embargo, a pesar del desarrollo que ha tenido este modelo a través del tiempo en Ecuador son escasos los estudios que se realizan para caracterizar el fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno, lo que dificulta el proceso biológico del tratamiento de aguas residuales.

Es por esto que en la actualidad una caracterización minuciosa del agua residual es fundamental para la modelación, optimización y diseño de los procesos biológicos de tratamiento.

Varias metodologías han sido propuestas en la literatura para determinar las fracciones de la DQO, una de las más empleadas es el Protocolo desarrollado por la Fundación Holandesa de Investigación Aplicada (STOWA) por su relativa facilidad de aplicación, asimismo el modelo ASM1 presenta métodos respirométricos para analizar las constantes cinéticas o estequiométricas, a pesar de esto, el modelo desarrolló valores estándar que pueden ser utilizados, aunque se recomienda realizar análisis para conocer estos valores debido a la variabilidad de las aguas residuales.

11.2.Objetivos

11.2.1. Objetivo General

Elaborar una propuesta para determinar el fraccionamiento de la DQO en aguas residuales municipales de la Provincia de Cotopaxi.

11.2.2. Objetivos Específicos

- Proponer una metodología con énfasis en el mejoramiento y optimización del diseño y operación de bioprocesos en el tratamiento de aguas residuales.
- Plantear una metodología en función del modelo ASM1 para determinar las principales fracciones como: Fracción soluble no biodegradable, fracción fácilmente biodegradable, fracción lentamente biodegradable y fracción particulada no biodegradable.
- Presentar un método para evaluar parámetros cinéticos y estequiométricos los cuales posibilitan obtener una predicción del comportamiento dinámico de los sistemas biológicos

11.3.Planteamiento y Justificación

Es fundamental adecuar un modelo correcto para el tratamiento de aguas residuales, para reducir la mayor cantidad de carga orgánica presente en las aguas. El desarrollo de esta propuesta se basa en los fundamentos expresados por el modelo ASM1 ya que es el más utilizado.

Es así que el modelo ASM1, presenta principios para caracterizar las fracciones de la DQO en aguas residuales municipales con énfasis en el modelado y simulación del tratamiento biológico. Debido a que los sistemas de eliminación de nutrientes biológicos comprenden una diversa cantidad de compuestos que interactúan y reaccionan entre sí, ocasionan que estos sistemas sean de difícil manejo. El modelo ASM1 propone emplear el sistema de lodos activados que pueden ser calibrados de acuerdo a la dinámica de los componentes del sistema.

Pese a que el modelo ASM1 presenta una referencia para la aplicación de estos sistemas biológicos, no existe un procedimiento estándar para su ejecución, por lo cual, existe mucha dificultad para adecuar una metodología para el fraccionamiento de la DQO.

11.4. Metodología Propuesta

Se propone la aplicación de un método físico químico para determinar las principales fracciones de la DQO combinado con un análisis de DBO para caracterizar la fracción biodegradable de la DQO, ya que en la actualidad aún es un parámetro ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. De igual forma se proponen metodologías respirométricas para determinar los modelos estequiométricos y cinéticos del modelo ASM1.

Esta propuesta está enfocada en presentar una caracterización práctica y detallada para posteriormente realizar procesos de simulación en plantas de tratamiento para optimizar los procesos y asistencia en el diseño de sistemas biológicos.

Ya que no están disponibles las muestras de las aguas residuales se emplea los valores predeterminados en la literatura, cabe recalcar que la caracterización de las fracciones de nitrógeno y fósforo no es fundamental ya que el mayor porcentaje de nitrógeno del afluente se encuentra en el amoníaco y la mayor concentración de fósforo se encuentra en forma de ortofosfato. Por esta razón solo se mencionará las fracciones de la DQO más importantes que se emplean como variables de los componentes para los sistemas de lodos activados como: Fracción fácilmente biodegradable (S_S), fracción lentamente biodegradable (X_S), fracción soluble no biodegradable (S_i) y fracción particulada no biodegradable (X_i).

Según Vázquez *et al* (2013) el método físico químico separar por procesos de filtración y floculación las partículas para posteriormente medirlas por métodos químicos.

El protocolo desarrollado por la Fundación Holandesa de Investigación Aplicada (STOWA) por su acrónimo en holandés, esta direccionado fundamentalmente en pruebas fisicoquímicas, de manera que este protocolo se emplea para caracterizar las fracciones solubles y particuladas, a la vez se emplea un análisis de DBO para caracterizar la fracción biodegradable de la DQO del influente (Roeleveld y Van Loosdrecht 2002).

Este protocolo está diseñado para trabajar con la modelación expresada en el modelo ASM1, ofreciendo pautas para el fraccionamiento de la DQO. Para la determinación de las constantes cinéticas y estequiométricas el modelo ASM1 presenta técnicas respirométricas que se fundamentan en el consumo biológico de oxígeno, es así que el consumo de oxígeno se vincula con el crecimiento y consumo de sustrato de la población microbiana, para posteriormente degradarlo y oxidarlo a CO₂. La dinámica que presenta el sistema de lodos activados se da por medio de muerte – regeneración, es decir una parte del sustrato que es consumido se emplea para conseguir energía, mientras que otra parte aporta a la creación de nueva biomasa, este parámetro está representado por la relación rendimiento biomasa / sustrato (Y_h) (Henze *et al* 2000).

La respirometría es una técnica muy rápida que suministra niveles de referencia de alta calidad para estimar parámetros cinéticos, sin embargo, precisa de un equipo especializado para su ejecución (Szaja *et al* 2015).

A continuación, se detalla el procedimiento propuesto para determinar las principales fracciones de la DQO, así como sus constantes cinéticas y estequiométricas, tomando aspectos como el muestreo, preparación de muestras y protocolo para caracterizar las fracciones.

11.4.1. Muestreo

Vázquez *et al* (2013) recomienda obtener muestras del influente, efluente y el canal de licor mixto, tomando muestras compuestas de 24 horas para la variabilidad semanal y una muestra de 2 h para la variabilidad diurna.

El influente debe prepararse para tomar alícuotas de 200 ml por intervalos de 30 minutos, receptando la muestra en un equipo adecuado, siguiendo los parámetros establecidos por los métodos estándar para recolección de muestras.

El efluente debe prepararse para tomar alícuotas de 100 ml por intervalos de 30 minutos. Mientras que las muestras de licor mixto se sugiere tomarlas de modo manual y puntual cada día del estudio.

Para el análisis de la variabilidad diurna es preciso considerar el día que se observe mayor carga, posteriormente recolectar las muestras en un intervalo de 30 minutos para conseguir muestras compuestas de cada 2 horas y otra muestra compuesta de 24 horas.

11.4.2. Tratamiento de muestras

11.4.2.1. Influyente y efluente

Posterior al tiempo de muestreo mencionado en el apartado anterior Según Sánchez, Ribes *et al* (2017) las muestras deben ser transportadas al laboratorio para su análisis con las medidas recomendadas por los métodos estándar para el transporte de muestras enfocado en su conservación, seguido se recomienda dejar sedimentar por un estimado de 2 horas para simular una sedimentación primaria. Transcurrido ese tiempo se precisa separar el sobrenadante y refrigerarlo mientras se analizan las muestras.

11.4.2.2. Licor mixto

Para una muestra puntual de licor mixto Sánchez, Ribes *et al* (2017) sugiere la cantidad de 4 litros que debe ser tomada cada día de muestreo desde el canal de recirculación de lodos, de la misma manera las muestras tomadas del licor mixto se deben trasladar al laboratorio para airearlas constantemente en un periodo de 24 horas, después se deja sedimentar para obtener una alícuota de sobrenadante la cual también se debe mantener en refrigeración. El sobrante de licor mixto se airea de nuevo para luego ser utilizado en pruebas respirométricas.

11.4.3. Fraccionamiento de la DQO por el método STOWA

A continuación, se detalla el procedimiento a realizar para calcular las fracciones de la DQO en base a la metodología propuesta por (Roeleveld Van Loosdrecht, 2002)

11.4.3.1. Determinación de la DQO_{total}

Todas las muestras obtenidas del agua residual del influente precisan estar pre sedimentadas, se puede emplear la determinación de la DQO_{total} por el método Hach de 0-1,500 mg/L. Este procedimiento se tiene que realizar de manera triplicada para obtener valores confiables.

$$DQO_{inf,tot} = S_s + S_i + X_s + X_l \quad (20)$$

De manera que

$$DQO_{inf,tot} = DQO_{inf,sol} + DQO_{inf,part} \quad (21)$$

11.4.3.2. Determinación de la $DQO_{soluble}$

La $DQO_{soluble}$ se analiza cuando la muestra esta filtrada por medio de una membrana de 0.1 μm de poro como lo define el protocolo de la STOWA, para una mejor exactitud de los resultados a obtener se sugiere realizar el análisis por triplicado de cada muestra.

$$DQO_{inf,sol} = S_S + S_i \quad (22)$$

11.4.3.3. Determinación de la fracción soluble no biodegradable S_i

Para caracterizar la fracción soluble no biodegradable (S_i) se realiza la medición de la DQO soluble del efluente, expresada en el apartado anterior. Además, se puede realizar la misma determinación empleando la muestra del sobrenadante del licor mixto, para esto, previamente se tiene que airear la muestra por un periodo de 24 horas. Se estima que pasadas las 24 horas la fracción fácilmente biodegradable (S_S) se consume por completo, por lo que al medir la DQO soluble se puede adquirir directamente S_i .

11.4.3.4. Determinación de la fracción soluble fácilmente biodegradable S_S

Para obtener la fracción soluble fácilmente biodegradable se emplea la fórmula para determinar la DQO soluble, de manera que

$$S_S = DQO_{inf,sol} - S_i \quad (23)$$

11.4.3.5. Determinación de la fracción particulada lentamente biodegradable X_S

Para la determinación de esta fracción previamente se determina la DQO biodegradable en función de la curva de DBO a través del tiempo.

$$DQO_b = S_S + X_S \quad (24)$$

11.4.3.5.1. Análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para calcular DQO_b

Se puede conocer la DBO a 2, 5, 7, 10 y 14 días a una temperatura de 20°C para las muestras obtenidas del influente, de la misma manera para la variabilidad diurna. Posterior a las mediciones de DBO se elabora una gráfica en función del tiempo para adaptar los datos en base a la ecuación de la curva de DBO

$$DBO_t = DBO_{última}(1 - e^{-k \cdot t}) \quad (25)$$

Así se puede obtener el valor de k y $DBO_{última}$ además se puede emplear un programa estadístico para realizar una regresión no lineal con el método de mínimos cuadrados. Con los datos obtenidos se puede calcular DQO_b implementando un factor de corrección f_{DBO} ya que cierto porcentaje de la DQO_b se transforma en fracción inerte con la lisis de la biomasa.

$$DQO_b = \frac{1}{1-f_{DBO}} DBO_{última} \quad (26)$$

Para el factor de corrección f_{DBO} se utiliza el valor de 0.15 expresado en el protocolo STOWA.

11.4.3.5.2. Cálculo de X_S

Con los datos obtenidos previamente se puede calcular la fracción particulada lentamente biodegradable, de manera que

$$X_S = DQO_b - S_S \quad (27)$$

11.4.3.6. Determinación de la fracción particulada no biodegradable X_i

Para determinar esta fracción se emplean valores ya conocidos previamente, por lo cual se despeja la siguiente fórmula

$$X_i = DQO_{inf,tot} - (S_S + S_i + X_S) \quad (28)$$

11.4.4. Parámetros cinéticos y estequiométricos en base al modelo ASM1

A continuación, se detallan los procedimientos y cálculos a realizar obtenidos de Henze, (1992).

11.4.4.1. Determinación del rendimiento heterotrófico Y_h

Se puede determinar empleando un reactor batch con agua filtrada ($0.45\mu m$), entonces se remueven alícuotas periódicamente para conocer la DQO soluble y DQO total, para así calcular el coeficiente estequiométrico

$$DQO_{Celular} = DQO_{total} - DQO_{soluble} \quad (29)$$

$$Y_h = \frac{DQO_{Celular}}{DQO_{Soluble}} \quad (30)$$

De esta manera se realiza el cálculo para cada intervalo de tiempo y obtener un promedio.

11.4.4.2. Determinación del coeficiente de decaimiento heterotrófico b_h

Se determina por medio de un reactor batch (5 L) de aireación continua y una temperatura de 20°C por un periodo de 5 a 7 días, para conocer el coeficiente de decaimiento heterotrófico se emplea la metodología propuesta por Vanrolleghem *et al* (1999). De manera que se llena los biorreactores con 700 mL de licor mezclado con adición de 10 mg/L de 1-alil-2-tiourea. Cada día se precisa realizar una prueba respirométrica del reactor con el objetivo de medir el nivel de r_{o_2} .

Posteriormente se grafica el logaritmo natural de r_{o_2} en relación al tiempo, la pendiente muestra el decaimiento tradicional b'_H por medio del cual se puede calcular b_h en base a los parámetros del modelo ASM1.

$$b_H = \frac{b'_H}{1 - Y_H(1 - f_p)} \quad (31)$$

Para f_p se utiliza el valor de 0.08 propuesto por Vanrolleghem *et al* (1999)

11.4.4.3. Determinación de la tasa máxima de crecimiento específico de la biomasa heterotrófica μ_h

Para conocer la tasa máxima de crecimiento específico de la biomasa heterotrófica se propone el método respirométrico de Kappeler y Gujer (1992). Para lo cual se agrega en cada uno de los reactores, 700 mL de agua residual pre sedimentada para que funcione a un nivel S/X alto como lo requiere la metodología. Se recomienda realizar análisis de forma triple.

Por lo tanto, para analizar la biomasa X_{h0} que se encuentra en el agua residual se adecua cada reactor a 10 mg/L de tiourea, de esta manera el respirómetro se conecta de manera continua por un estimado de 6 horas.

Por consiguiente, se calcula los valores promedio de r_{o_2} , modificando el respirograma exponencialmente, es así que la pendiente de la gráfica en función del tiempo se atribuye a la diferencia entre μ_h y b_h . Se procede a determinar μ_h restando el valor obtenido de b_h anteriormente.

11.4.4.4. Determinación de la biomasa heterotrófica inicial X_{h0}

Los datos que se obtienen anteriormente para el valor de μh se utilizan para calcular X_{h0} . Es así que mediante la curva de μh se evalúa la biomasa heterotrófica inicial con la fórmula expresada por Kappeler y Gujer (1992).

$$X_{h0} = r_{o2,0} \cdot \left[\left(\frac{1-Y_h}{Y_h} \right) \mu_h + (1 - f_p) b'_h \right]^{-1} \quad (32)$$

En la fórmula propuesta r_{o2} representa la tasa respirométrica en el tiempo 0.

11.4.4.5. Determinación de la materia orgánica fácilmente biodegradable S_S por respirometría

Se puede determinar esta fracción por una metodología propuesta por Ekama *et al* (1986). En la que considera una relación de S/X inicial bajo, para esto se utiliza 450 mL de agua residual y 250 mL de licor mixto, el cual debe ser lavado tres veces con agua destilada y re suspendido añadiendo 10 mg/L de tiurea. De igual manera se recomienda realizar esta prueba de manera continua triplicada, obteniendo las velocidades de consumo de oxígeno a través de r_{o2} de 2 a 3 horas continuas.

$$S_S = \frac{\Delta O_2}{1-Y_h} \quad (33)$$

11.5. Conclusiones

- El Protocolo desarrollado por la Fundación Holandesa de Investigación Aplicada (STOWA) presenta parámetros de fácil aplicación para determinar el fraccionamiento de la DQO, por lo cual es ampliamente utilizado ofreciendo resultados de alta confiabilidad.
- El modelo ASM1 presenta una serie de parámetros para el diseño, optimización y operación de las plantas de tratamiento de manera, mediante su aplicación se obtiene un porcentaje mayor de exactitud en las predicciones de diseño.
- Para determinar las constantes cinéticas y estequiométricas el modelo ASM1 recomienda emplear métodos respirométricos en condiciones ya establecidas para conseguir valores más exactos, información que se precisa obtener para una adecuada calibración de la metodología.

12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

12.1. Impactos técnicos

Cabe recalcar que la propuesta para caracterizar las aguas residuales se enfoca en obtener mayor conocimiento sobre los componentes presentes en el agua a tratar en base a los procesos biológicos, como el sistema de lodos activados considerados en los Modelos ASM, por lo cual se estima que al caracterizar de manera detallada el agua a tratar se optimizan los procesos en los sistemas biológicos, a la vez contribuye como una herramienta útil para el mejoramiento del diseño y simulación de los procesos a emplear, además permite un manejo fácil a nivel técnico de manera que se puedan modificar los criterios de operación en función de la calidad de agua a obtener.

12.2. Impactos sociales

El agua es uno de los recursos primordiales de la humanidad, así es que nace la necesidad de proteger dicho recurso, aunque el creciente aumento de la población, el desarrollo económico y el incremento de las actividades agrícolas e industriales causan mucha presión sobre este recurso, generando grandes cantidades de aguas residuales, con la propuesta de un protocolo o metodología para caracterizar las aguas residuales de manera detallada en función de aspectos como: tecnología disponible, origen de las aguas residuales y calidad del agua tratada que se pretende obtener, se brinda un mayor aprovechamiento al recurso hídrico a través de los procesos de tratamiento de aguas residuales para así eliminar la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua.

De esta manera al proporcionar un adecuado y eficiente tratamiento de aguas residuales la población se beneficia, ya que la Provincia de Cotopaxi al ser principalmente agrícola requiere emplear agua de buena calidad para riego. De manera que la salud de la población también se beneficia al consumir alimentos sanos, provenientes de la Provincia, asimismo las personas que viven a orillas de ríos y que emplean el agua de manera directa en actividades domésticas.

12.3. Impactos ambientales

Se considera que esta propuesta para caracterizar el fraccionamiento de la DQO de las aguas residuales en la Provincia de Cotopaxi contribuye a mejorar los sistemas de tratamiento de aguas ya existentes, de manera que, al optimizar estos sistemas se obtiene una mejor calidad de agua que pueda ser devuelta a los principales ríos de Cotopaxi para así no alterar de manera significativa el hábitat acuático.

Además, al potenciar el tratamiento biológico a emplear se puede tolerar cargas orgánicas más altas, adicionalmente gracias a los modelos ASM se puede calibrar el sistema en función del tipo de agua a tratar lo que proporciona un alto porcentaje de remoción de contaminantes.

12.4. Impactos económicos

De manera general al implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales evaluar los costos de inversión es una tarea compleja, ya que los costos varían en base al diseño, construcción y operación. Se estima que los costos más importantes a tomar en consideración son los costos de operación y mantenimiento, los cuales son fundamentales para garantizar un correcto desempeño del sistema.

Los modelos ASM toman en consideración el fraccionamiento de la DQO y la simulación de los procesos operativos para evaluar los límites máximos y mínimos de la carga contaminante que el sistema puede soportar, por lo que la simulación sirve como una herramienta útil para analizar costo – beneficio en relación con la tecnología disponible.

13. PRESUPUESTO

Tabla 16

Presupuesto para la elaboración del proyecto

RECURSOS	DESCRPCIÓN	UNIDADES	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
Humano	Investigador Tutor			
Tecnológico	Programa Mathcad	1	\$ 33,00	\$ 33,00
	Internet	12	\$ 18,00	\$ 216,00
Oficina	Resmas de papel	3	\$ 4,50	\$ 13,50
	Esferos	5	\$ 0,75	\$ 3,75
	Marcadores	3	\$ 0,90	\$ 2,70
Otros	Guía práctica de Mathcad	1	\$ 25,00	\$ 25,00
	Artículos científicos de paga	4	\$ 40,00	\$ 160,00
	Impresiones	320	\$ 0,15	\$ 48,00
	Anillados	3	\$ 20,00	\$ 60,00
	Empastado	2	\$ 15,00	\$ 30,00
	Subtotal		\$ 591,95	
	10 % de imprevistos		\$ 59,19	
	Total		\$ 651,14	

Elaborado por: Morella Real, 2020.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En la actualidad es indispensable realizar una caracterización del fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno ya que esta influye en el diseño de sistemas biológicos empleados en una planta de tratamiento de agua residual, con el fin de obtener un mayor porcentaje de remoción de carga orgánica presente en las aguas. Por lo cual los modelos de lodo activado que fueron desarrollados por la Asociación Internacional del Agua (IWA) han influenciado de manera significativa para mejorar el diseño de tratamientos biológicos, permitiendo predecir la degradación de materia orgánica, nitrificación y desnitrificación. A su vez posibilitan optimizar los procesos de eliminación biológica, evaluando componentes físicos, químicos y biológicos del agua residual.
- Pese a que el fraccionamiento de la Demanda Química de Oxígeno no es un tema nuevo, no existe una metodología estándar para determinar las fracciones debido a la variabilidad de la composición de las aguas residuales, sin embargo, se han establecido diversas metodologías que presentan procesos para evaluar las diferentes fracciones, en base al método ejecutado la sensibilidad de los contaminantes presentes en las aguas residuales puede variar significativamente entre cada metodología.
- La implementación de una metodología combinada (físico química y biológica), es una de las más aplicadas a nivel mundial, por lo tanto, se puede adaptar a las condiciones de tratamiento y caracterización que se lleva a cabo en la Provincia de Cotopaxi, a la vez el modelo ofrece la posibilidad de realizar procesos de calibración, modelación y simulación, lo cual posibilita optimizar los procesos biológicos dentro de la planta de tratamiento. De igual manera la aplicación del modelo ofrece la posibilidad de realizar diagnósticos, proyecciones, comparación de variantes y establecer cambios en la operación con el fin de mejorar las prácticas actuales.

Recomendaciones

- Es fundamental ampliar y orientar profesionales de ciencias ambientales sobre la importancia de la determinación de las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno y la modelación de los procesos biológicos para posteriormente aplicar estos parámetros para un proceso óptimo de tratamiento y desarrollar estudios de investigación.
- Para la elección y aplicación de una metodología para determinar las fracciones de la Demanda Química de Oxígeno es indispensable obtener información sobre parámetros como datos de diseño, datos de operación, caracterización del modelo hidráulico, caracterización del modelo de sedimentación y caracterización para el modelo biológico ya que estos aspectos influyen en la metodología a ejecutar, pese a esto el modelo ASM1 propone una metodología combinada entre físico química y biológica.
- Es de gran importancia llevar a cabo previamente análisis para calibrar el modelo ASM1, ya que estos parámetros no se encuentran en los rutinarios a evaluar para la caracterización del agua residual, sin estos análisis la calibración del modelo no será óptima. Por otro lado, una de las limitaciones del modelo es que está enfocado para aguas de origen municipal, por lo que, en aguas de origen industrial no se han desarrollado protocolos para su aplicabilidad.

15. REFERENCIAS

- Acosta, R. (2008). Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos. En R. Acosta, *Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos* (pág. 63). Brujas. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=g7YIShB-SXsC&pg=PA62&dq=Organismos+pat%C3%B3genos+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjCvdO1s7fqAhXvIOAKHfZOCNIQ6AEwBnoECAgQAg#v=onepage&q=Organismos%20pat%C3%B3genos%20en%20aguas%20residuales&f=false>
- Akcın, G., Alp, O., Gulyas, H., & Bust, B. (2 de Febrero de 2013). *Technische Universitat Hamburg*. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de Characteristic, analytic and samplig of wastewater: https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/documents/lesson_a1.pdf
- Ambarita, M., Lock, K., Boets, P., Everaert, G., Thi, H., Forio, M., . . . Goethals, P. (Marzo de 2016). Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologica*, 57. doi:0.1016/j.limno.2016.01.001
- Antúnez, A., & Guanoquiza, L. (8 de Febrero de 2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable*(19), 73 - 77. doi:10.24142/rvc.n19a4
- Arana, I., Balarezzo, V., Eraso, H., Pacheco, F., Ramos, C., Muzo, R., & Calva, C. (2016). Calidad del agua de un río andino ecuatoriano a través del uso de macroinvertebrados. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1), 69 - 70. Recuperado el 9 de Julio de 2020, de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662016000100068&lang=es
- Arcos, M., Ávila, S., Estupiñan, S., & Gómez, A. (12 de Diciembre de 2005). *ResearchGate*. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua: https://www.researchgate.net/publication/316949337_Indicadores_microbiologicos_de_contaminacion_de_las_fuentes_de_agua
- Ballard, S., Porro, J., & Trommsdorff, C. (2019). Hacia una empresa de agua y saneamiento urbano con bajas emisiones de carbono. En S. Ballard, J. Porro, & C. Trommsdorff, *Hacia una empresa de agua y saneamiento urbano con bajas emisiones de carbono* (pág. 28).

- Recuperado el 4 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=WjKZDwAAQBAJ&pg=PA28&dq=metano+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjNreKqlrXqAhXrQ98KHfgiCKgQ6AEwBHoECAIQAg#v=onepage&q=metano%20en%20aguas%20residuales&f=false>
- Banco Interamericano de desarrollo . (2018). *Proceso Regional de las Américas: Foro mundial del Agua 2018: Informe Regional América Latina y el Caribe*. doi:10.18235/0001028
- Baque, R., Simba, L., González, B., Sautunce, P., Díaz, E., & Cadme, L. (22 de Agosto de 2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(20), 110 - 113. doi:10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p
- Baquero, G., Lara, J., & Martelo, J. (2016). A simplified method for estimating chemical oxygen demand (COD) fractions. *Water Practice & Technology*, 11(4), 838 - 839. doi:10.2166/wpt.2016.089
- Borderías, M., & Roda, E. (2006). Medio Ambiente Urbano. En M. Borderías, & E. Roda, *Medio Ambiente Urbano* (pág. 408). Madrid. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=WgWUyDgN4iIC&pg=PA408&dq=plantas+y+animales+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjVtfSuo7fqAhWCmOAKHUg-CxwQ6AEwCHoECAkQAQAg#v=onepage&q=plantas%20y%20animales%20en%20aguas%20residuales&f=false>
- Buitrón, G., Reino, C., & Carrera, J. (7 de Marzo de 2018). *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales*. Recuperado el 28 de Julio de 2020, de Artículos y Libros: http://triton-cyted.com/?page_id=432
- Cabildo, M., Claramunt, R., Cornago, P., Escolástico, C., Esteban, S., Farrán, Á., . . . Sanz, D. (2012). Reciclado y tratamiento de residuos. En M. Cabildo, R. Claramunt, P. Cornago, C. Escolástico, S. Esteban, Á. Farrán, . . . D. Sanz, *Reciclado y tratamiento de residuos* (págs. 31 - 33). Madrid. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=jXEFxC3GiGQC&pg=PT50&dq=prote%C3%ADnas+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjiv6CLya_qAhXymOAKHSrXAgYQ6AEwBnoECAgQAQAg#v=onepage&q=prote%C3%ADnas%20en%20aguas%20residuales&f=false

- Cabildo, M., Cornago, M., Escolástico, C., Esteban, S., Lopez, C., & Sanz, D. (2004). Bases químicas del medio ambiente. En M. Cabildo, M. Cornago, C. Escolástico, S. Esteban, C. Lopez, & D. Sanz, *Bases químicas del medio ambiente* (pág. 105). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 4 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=MhFIAgAAQBAJ&pg=PT382&dq=Compuestos+t%C3%B3xicos+inorg%C3%A1nicos+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjgroqai7XqAhWdDt8KHZ-PC_UQ6AEwCHoECAkQA#v=onepage&q=Compuestos%20t%C3%B3xicos%20inorg%C3%A1nicos%20en%20a
- Cárdenas, G., & Sánchez, I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 73 - 74. Recuperado el 4 de Julio de 2020, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007
- Castells, X. (2009). Reciclaje de residuos industriales residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. En X. Castells, *Reciclaje de residuos industriales residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora* (pág. 175). Madrid. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=8yWSZEBqSXgC&pg=PA175&dq=definici%C3%B3n+s%C3%B3lidos+suspendidos+vol%C3%A1tiles&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj_2uuq_6rqAhUkU98KHbmFBp04ChDoATAAegQIABAC#v=onepage&q=definici%C3%B3n%20s%C3%B3lidos%20suspendidos%20vol%C3%A1
- Castillo, G. (2004). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. En G. Castillo, *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas* (pág. 18). México. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=GD7-N3154OIC&pg=PA18&dq=ensayos+de+toxicidad+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiChoir6rfqAhUqZN8KHb9YAYoQ6AEwAXoECAEQAg#v=onepage&q=ensayos%20de%20toxicidad%20en%20aguas%20residuales&f=false>
- Cedeño, H. (Febrero de 2020). Análisis de los parámetros de calidad del agua del efluente del río muerto para su posible reutilización del Cantón Manta, Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 5(2), 583 - 584. doi:10.23857/pc.v5i2.1299
- Chacón, M. (2016). Análisis físico y químico de la calidad del agua. En M. Chacón, *Análisis físico y químico de la calidad del agua* (pág. 70). Colombia. Recuperado el 2 de Julio de 2020,

de

https://books.google.com.ec/books?id=0hJ_DwAAQBAJ&pg=PT41&dq=transmitancia+del+agua&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjZhKXSqa_qAhWviOAKHeycAKkQ6AEwA3oECAQQA#v=onepage&q=transmitancia%20del%20agua&f=false

- Chu, K., Van, H., & Van Loosdrecht, M. (2003). Respirometric measurement of kinetic parameters: effect of activated sludge floc size. *Water Science and Technology*, 48(8), 61 - 67. doi:10.2166/wst.2003.0453
- COA. (2018). *Código Orgánico del Ambiente*. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Codigo-Organico-del-Ambiente.pdf?fbclid=IwAR0uabl_YAKKdHmPufuL3__84PbeztCcOsgmbu1r7NbM5jmrALFEdUBYw6s
- Cox, C. (2004). Statistical Distributions of Uncertainty and Variability in Activated Sludge Model Parameters. *Water Environment Research*, 76(7), 2672. Recuperado el 18 de Septiembre de 2020, de <https://www.jstor.org/stable/25045822>
- Drewnowski, J., Szelağ, B., Xie, L., Lu, X., Ganesapillai, M., Kanti, C., . . . Łagód, G. (Febrero de 2020). The Influence of COD Fraction Forms and Molecules Size on Hydrolysis Process Developed by Comparative OUR Studies in Activated Sludge Modelling. *Molecules*, 25(4), 1 - 3. doi:10.3390/molecules25040929
- Dulekgurgen, E., Dogruel, S., Karahan, O., & Orhon, D. (2006). Size distribution of wastewater COD fractions as an index for biodegradability. *Water Research*, 40(2), 273 - 282. doi:10.1016/j.watres.2005.10.032
- Duque, P., Heras, C., Lojano, D., & Vioria, T. (2018). Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos rotatorios. *Revista Ciencia UNEMI*, 11(8), 89. Recuperado el 11 de Julio de 2020, de <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/738/667>
- Ekama, G., Dold, P., & Marais, G. (1986). Procedures for Determining Influent COD Fractions and the Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems. *Water Science and Technology*, 18, 91 - 114. doi:10.2166/wst.1986.0062

- El Telégrafo. (23 de Marzo de 2019). Aguas servidas, mayor problema de Latacunga. *Diario El Telégrafo*. Recuperado el 10 de Julio de 2020, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional-centro/1/aguas-servidas-problema-latacunga>
- Espinosa, M., & Fall, C. (2015). Optimización de la producción de lodos en un sistema de lodos activados a través de la calibración del modelo ASM1. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 16(1), 94. Recuperado el 3 de Agosto de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432015000100009
- Fall, C., Cuenca, F., Ba, K., & Solís, C. (20 de Diciembre de 2005). Respirometry based evaluation of the fate and possible effects of antifreeze on activated sludge. *Journal of Environmental Management*, 80(1), 83 - 89. doi:10.1016/j.jenvman.2005.08.015
- Fall, C., Espinosa, M., Flores, N., Van Loosdrecht, M., & Hooijmans, C. (Noviembre de 2011). Stepwise Calibration of the Activated Sludge Model No. 1 at a Partially Denitrifying Large Wastewater Treatment Plant. *Water Environment Research*, 83(11), 2036 - 2037. doi:10.1002/j.1554-7531.2011.tb00270.x
- Fall, C., Flores, N. A., Espinoza, M. A., Vazquez, G., Loaiza, J., Van Loosdrecht, M. C., & Hooijmans, C. M. (2011). Divergence between respirometry and physicochemical methods in the fractionation of the chemical oxygen demand in municipal wastewater. *Water Environment Research*, 83(2), 162 - 171. doi:10.2175/106143010x12780288627931
- Fall, C., Loaiza, J., & Esparza, M. (2009). Full activated sludge model no. 1 calibration experience at a medium-size WWTP in Mexico. *Water Science and Technology*, 30(12), 3069 - 3070. doi:10.2166/wst.2009.747
- Fernández, E., & García, M. (2009). Gestión de la recarga artificial de acuíferos (M.A.R). En E. Fernández, & M. García, *Gestión de la recarga artificial de acuíferos (M.A.R)* (pág. 131). Madrid: Grafinat - Método Gráfico. Recuperado el 4 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=1e6WBAAAQBAJ&pg=PA131&dq=alcalinidad+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjt6MKw5rTqAhUxn-AKHxfyA5QQ6AEwCHoECAgQAg#v=onepage&q=alcalinidad%20en%20aguas%20residuales&f=false>
- Franquet, J. (2010). Agua que no has de beber 60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional. En J. Franquet, *Agua que no has de beber 60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional* (pág. 23).

- Recuperado el 2 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=8iBnHmzsvfgC&pg=PA23&dq=Pesticidas+y+productos+qu%C3%ADmicos+de+uso+agr%C3%ADcola+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi0yPaTjbDqAhVtj3IEHZp-Ca4Q6AEwAXoECAUQA#v=onepage&q=Pesticidas%20y%20productos%20qu%C3%AD>
- Galvín, R. (2000). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos Tratamiento y control de calidad de aguas. En R. Galvín, *Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos Tratamiento y control de calidad de aguas* (págs. 96, 99, 112). Díaz de Santos. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=jmzWDwAAQBAJ&pg=PA112&dq=hongos+en+las+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiatYu8lbfqAhWITt8KHairB6IQ6AEwAHoECAYQA#v=onepage&q=hongos%20en%20las%20aguas%20residuales&f=false>
- Gernaey, K., Van Loosdrecht, M., Henze, M., Lind, M., & Jorgensen, S. (Septiembre de 2004). Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: state of the art. *Environmental Modelling and Software*, 19(9), 766 - 769. doi:10.1016/j.envsoft.2003.03.005
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción mas limpia*, 7(2), 53 - 54. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Gonzaga, S., Castro, N., & López, G. (Enero de 2017). El abasto de agua potable y la salud comunitaria: Machala, Ecuador Estudio de Caso. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 220 - 222. Recuperado el 10 de Mayo de 2020, de El abasto de agua potable y la salud comunitaria: Machala, Ecuador Estudio de Caso: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100031
- Guanquiza, L., Capdet, K., & Borges, M. (Abril de 2019). Enfoque bioético en la gestión de las políticas ambientales para la conservación del Río Cutuchi, Cotopaxi, Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(1), 146 - 150. Recuperado el 22 de Junio de 2020, de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/259/284>

- Guerrero, N., Díaz, M., Urdanigo, J., Tayhing, C., Guerrero, R., & Yépez, Á. (8 de Enero de 2017). Uso del suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca El Sepanal, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 5(2), 2 - 9. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de <http://www.rccb.uh.cu/index.php/RCCB/article/view/156/265>
- Gutiérrez, C., & Moreno, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3), 97. Recuperado el 10 de Julio de 2020, de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>
- Guyer, P. (2019). Una introducción al tratamiento de aguas residuales Municipales. En P. Guyer, *Una introducción al tratamiento de aguas residuales Municipales* (págs. 8 - 9). California: The Clubhouse Press. Recuperado el 25 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=osC3DwAAQBAJ&pg=PA7&dq=pretratamiento+de+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwuj84GH8-nqAhXIY98KHVDgAj8Q6AEwBHoECAEQAg#v=onepage&q=pretratamiento%20de%20aguas%20residuales&f=false>
- Henze, M. (1992). Characterization of Wastewater for Modelling of Activated Sludge Processes. *Water Science and Technology*, 25(6), 1 - 15. Recuperado el 26 de Agosto de 2020, de <https://iwaponline.com/wst/article-abstract/25/6/1/27785/Characterization-of-Wastewater-for-Modelling-of?redirectedFrom=fulltext>
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., & Van Loosdrecht, M. (2000). Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. En M. Henze, W. Gujer, T. Mino, & M. Van Loosdrecht, *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. IWA Publishing. Recuperado el 5 de Agosto de 2020, de <https://iwaponline.com/ebooks/book/96/Activated-Sludge-Models-ASM1-ASM2-ASM2d-and-ASM3>
- Hernández, F., Margni, M., Noyola, A., Guereca, L., & Bulle, C. (12 de Noviembre de 2016). Assessing wastewater treatment in Latin America and the Caribbean: Enhancing life cycle assessment interpretation by regionalization and impact assessment sensibility. *Journal of Cleaner Production*, 2141. doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.068
- Hill, J., & Kolb, D. (1970). Química para el nuevo milenio. En J. Hill, & D. Kolb, *Química para el nuevo milenio* (pág. 333). México: Prentice Hall Hispanoamerica, S.A. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=ZM->

- qMxtLABUC&pg=PA333&dq=Bacterias+en+las+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiy5Obh_bbqAhWImuAKHbgeCPI4FBDoATAAegQIABAC#v=onepage&q=Bacterias%20en%20las%20aguas%20residuales&f=false
- Hulsbeek, J. J., Kruit, J., Roeleveld, P., & Van Loosdrecht, M. (2002). A practical protocol for dynamic modelling of activated sludge systems. *Water Science and Technology*, 45(6), 127 - 136. doi:10.2166/wst.2002.0100
- Ignatowicz, K. (11 de Diciembre de 2019). Analysis of COD Fractions in Raw Wastewater Flowing into Small and Large Wastewater Treatment Plants. *Journal of Ecological Engineering*, 20, 197. doi:10.12911/22998993/114092
- INEC. (2012). *Proyecciones y estudios demográficos*. Recuperado el 16 de Julio de 2020, de Sistema Nacional de Información: <https://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>
- Ingraham, J., & Ingraham, C. (1978). Introducción a la microbiología. En J. Ingraham, & C. Ingraham, *Introducción a la microbiología* (pág. 721). Reverté, S.A. Recuperado el 4 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=-dUEZSXaz2UC&pg=PA721&dq=Sulfuro+de+hidr%C3%B3geno+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi64L3Ak7XqAhXxc98KHW_GDooQ6AEwAXoECAMQAg#v=onepage&q&f=false
- Jeppsson, U. (1 de Febrero de 2001). *IEA Industrial Electrical Engineering and Automation*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2020, de A General Description of the IAWQ Activated Sludge Model No. 1: <https://www.iea.lth.se/sbr/>
- Jiménez, B. (2001). La contaminación ambiental en México causas, efectos y tecnología apropiada. En B. Jiménez, *La contaminación ambiental en México causas, efectos y tecnología apropiada* (págs. 65 - 136). México: Limusa. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA136&dq=Grasas,+grasas+animales+y+aceites+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjEvcDq96_qAhXtguAKHSYwDRwQ6AEwAXoECAyQAg#v=onepage&q=Grasas%20%20grasas%20animales%20y%20aceites%20en%20aguas%20r

- Kappeler, J., & Gujer, W. (1992). Estimation of Kinetic Parameters of Heterotrophic Biomass under Aerobic Conditions and Characterization of Wastewater for Activated Sludge Modelling. *Water Science and Technology*, 25(6), 125 - 139. doi:10.2166/wst.1992.0118
- La Hora. (29 de Octubre de 2016). Ecuador: 88% de las aguas residuales llega a los ríos. *La Hora*. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de https://lahora.com.ec/noticia/1101997377/ecuador-88_-de-las-aguas-residuales-llega-a-los-ros-
- La Hora. (26 de Febrero de 2019). El río Cutuchi en estado crítico. *La Hora*. Recuperado el 10 de Julio de 2020, de <https://lahora.com.ec/cotopaxi/noticia/1102225150/el-rio-cutuchi-en-estado-critico>
- Larriva, J., Arévalo, M., Gonzáles, O., Padrón, J., & Pauta, G. (Octubre de 2018). *Cinética de la remoción de DQO en humedales construidos de flujo sub - superficial horizontal aplicando el fraccionamiento de la materia orgánica*. Recuperado el 16 de Julio de 2020, de Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y Posgrados: https://www.researchgate.net/profile/Emilio_Salao-Sterckx/publication/328772795_Memoria_de_V_Congreso_REDU_realizado_en_la_Universidad_de_Cuenca_2017/links/5be35db2a6fdcc3a8dc64ea6/Memoria-de-V-Congreso-REDU-realizado-en-la-Universidad-de-Cuenca-2017.pdf#
- Lazcano, C. (2016). Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales. En C. Lazcano, *Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales* (págs. 261 - 263). Bogotá: Ecoc Ediciones Ltda. Recuperado el 24 de Junio de 2020, de https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/122526?fs_q=clasificaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas%20residuales&fs_edition_year=2020;2019;2018;2017;2016;2015;2014;2013;2012;2011;2010&prev=fs
- Ley orgánica de recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua. (2014). *Ley orgánica de recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua*. Recuperado el 27 de Junio de 2020, de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
- Llerena, P. (Julio de 2016). Comportamiento iónico pluvial en la Cuenca del Cutuchi durante invierno y verano 2013. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(6), 45 - 51. doi:10.29166/revfig.v1i1.45

- Loaiza, J., & Fall, C. (2010). Modelación del proceso de lodos activados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Noreste, Apodaca, N.L. *Ciencia - UANL*, 13(1), 46 - 54. Recuperado el 6 de Agosto de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3110982>
- López, C., Buitrón, G., García, H., & Cervantes, F. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales principios modelación y diseño. En C. López, G. Buitrón, H. García, & F. Cervantes, *Tratamiento biológico de aguas residuales principios modelación y diseño* (págs. 57 - 60). IWA Publishing. Recuperado el 3 de Agosto de 2020, de https://watermark.silverchair.com/wio9781780409146.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAIUwggJRBgkqhkiG9w0BBwagggJCM IICPgIBADCCAjcGCSqGSIB3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMkb1-bO7POGk4K2WyAgEQgIICCMANWu761FJE53IaJbvO9qM3Ndz00WT6xPOSu
- Lopez, M. (2017). Tratamiento de residuos urbanos o municipales. En M. Lopez, *Tratamiento de residuos urbanos o municipales* (pág. 85). Madrid: Editorial CEP S.L. Recuperado el 25 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=h8U-DwAAQBAJ&pg=PA85&dq=tratamiento+++terciario+de+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi5n-6HjOrqAhVhRN8KHSWFCmsQ6AEwBHoECAYQAg#v=onepage&q=tratamiento%20%20terciario%20de%20aguas%20residuales&f=false>
- López, S., & Calderón, S. (2017). Depuración de aguas residuales - UF1666. En S. López, & S. Calderón, *Depuración de aguas residuales - UF1666* (págs. 15 - 25). España: Elearning S.L. Recuperado el 26 de Junio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=9cJWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi07bC5sqDqAhWrY98KHbRODkkQ6AEwA3oECAMQAg#v=onepage&q=aguas%20residuales&f=false>
- Luna, V. (2006). Atlas de ciliados y otros microorganismos frecuentes en sistemas de tratamiento aerobio de aguas residuales. En V. Luna, *Atlas de ciliados y otros microorganismos frecuentes en sistemas de tratamiento aerobio de aguas residuales* (págs. 21 - 23). México. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=zqpbBITrwrMC&pg=PA9&dq=Microorganismos>

- +en+las+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjiiYWk6rbqAhVhUt8KHQuyCM8Q6AEwB3oECACQAg#v=onepage&q=Microorganismos%20en%20las%20aguas%20residuales&f=false
- M.I, N., & H.S, S. (2009). Analysis of the activated sludge model (number 1). *Applied Mathematics Letters*, 22(5), 629 - 630. doi:10.1016/j.aml.2008.05.003
- Machado, V., Tapia, G., D, G., Lafuente, J., & Baeza, J. (Noviembre de 2009). Systematic identifiability study based on the Fisher Information Matrix for reducing the number of parameters calibration of an activated sludge model. *Environmental Modelling & Software*, 24(11), 1274 - 1275. doi:10.1016/j.envsoft.2009.05.001
- Marín, R. (2003). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas. En R. Marín, *Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos tratamiento y control de calidad de aguas* (págs. 11 - 13). Madrid. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=k8blixwJzYUC&pg=PA11&dq=turbidez&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi_0_Kl2a3qAhWrmeAKHcfGAUQQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=turbidez&f=false
- Mayorga, E., & Carrera, D. (2015). *ResearchGate*. Recuperado el 23 de Junio de 2020, de Diseño de reactores biológicos para tratamiento de aguas de canales de riego: https://www.researchgate.net/publication/316668805_DISENO_DE_REACTORES_BIOLOGICOS_PARA_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_DE_CANALES_DE_RIEGO
- Metcalf, & Eddy, I. (1998). Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización. En Metcalf, & I. Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización* (pág. 53). España. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de https://drive.google.com/file/d/1I9e5HmrfWHSDikbVawmEDhNSeHCmu544/view?fbclid=IwAR3KWtHNO0HIHG_JpBCH871Cd6vcuDI94W-WTodvdr_mVPMH_EzMRLkReGQ
- Monod, J. (1947). *Kinetics of Bacterial Growth*. Nature. doi:10.1038/160105a0
- Muñoz, A., & Padilla, O. (2018). *ISAGEN*. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de Control ambiental: El control de COV en procesos industriales: <https://www.isagen.com.co/SitioWeb/delegate/documentos/publicaciones-tecnicas/2018/boletin-enero.pdf>

- Muñoz, V., & Álvarez, J. (2018). Bases de la Ingeniería Ambiental. En V. Muñoz, & J. Álvarez, *Bases de la Ingeniería Ambiental*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia Madrid. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=9ruGDwAAQBAJ&pg=PT320&dq=procesos+aerobios+en+el+tratamiento+biol%C3%B3gico+de+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjAibX4wezqAhVNT98KHd3IBLsQ6AEwBHoECAUQA#v=onepage&q=procesos%20aerobios%20en%20el%20tratamiento>
- Myszograj, S., Pluciennik, E., Jakubaszek, A., & Swietek, A. (17 de Mayo de 2017). COD Fractions - Methods of measurement and use in wastewater treatment technology. *Civil and environmental engineering reports*, 1. doi:10.1515/ceer-2017-0014
- Nemerow, N. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. En N. Nemerow, *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos* (pág. 157). Díaz de Santos. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=KDMjTWMEuaoC&pg=PA157&dq=algas+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjlhO-gmrfqAhVimuAKHRnXBiQQ6AEwAXoECAQQAg#v=onepage&q=algas%20en%20aguas%20residuales&f=false>
- Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (1 de Mayo de 2015). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Recuperado el 24 de Julio de 2020, de Pronatura: http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf
- ONU. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017*. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de Aguas Residuales: El recurso desaprovechado: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Orhon, D., & Artan, N. (1994). Modelling of Activated Sludge Systems. En D. Orhon, & N. Artan, *Modelling of Activated Sludge Systems* (págs. 18, 265). Technomic. Recuperado el 8 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=IFkeOoNy9uwC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Orhon+et+al.,+1997&ots=6Mvt0J3VBL&sig=yIqIqgW9HEddPLBaNV8SepMOXnc>
- Orhon, D., & Cokgor, E. (27 de Octubre de 2017). COD Fractionation in Wastewater Characterization - The State of the Art. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 68(3), 284 - 286. Recuperado el 8 de Julio de 2020, de

https://www.researchgate.net/publication/230057523_COD_Fractionation_in_Wastewater_Characterization-

The_State_of_the_Art#:~:text=COD%20fractionation%20involves%20identification%20of,biodegradable%20and%20slowly%20biodegradable%20fractions.

- Orhon, D., Babuna, F., & Karaham, O. (2009). Industrial Wastewater treatment by Activated Sludge. En D. Orhon, F. Babuna, & O. Karaham, *Industrial Wastewater treatment by Activated Sludge* (págs. 46 - 49). IWA Publishing. Recuperado el 25 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=epC4uhBN8xUC&pg=PA48&dq=Rapidly+Hydrolyzable+COD&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiq-qbZvuTqAhXwmOAKHSvvDtUQ6AEwAnoECAMQA#v=onepage&q=Rapidly%20Hydrolyzable%20COD&f=false>
- Orozco, Á. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. En Á. Orozco, *Bioingeniería de aguas residuales* (págs. 14 - 31). Bogotá. Recuperado el 4 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=t5w5EZf1VhMC&pg=PA31&dq=azufre+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjYyYHKiLXqAhWmiOAKHYRtDtMQ6AEwAXoECAYQA#v=onepage&q=azufre%20en%20aguas%20residuales&f=false>
- Pastor, L. (2006). Investigations on the Recovery of Phosphorus from Wastewater by Crystallization. En L. Pastor, *Investigations on the Recovery of Phosphorus from Wastewater by Crystallization* (pág. 1). Florida. Recuperado el 4 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=V3LMt2r_R7QC&pg=PA1&dq=f%C3%B3sforo+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjLh9i3gLXqAhUunOAKHUA0BGgQ6AEwCXoECAkQA#v=onepage&q=f%C3%B3sforo%20en%20aguas%20residuales&f=false
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., . . . Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 90. Recuperado el 9 de Julio de 2020, de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000200089&lang=es

- Petersen, B., Gernaey, K., Henze, M., & Vanrolleghem, P. (2002). Evaluation of an ASM1 model calibration procedure on a municipal–industrial wastewater treatment plant. *Journal of Hydroinformatics*, 4(1), 15 - 38. doi:10.2166/hydro.2002.0003
- Pluciennik, E., & Myszograj, S. (17 de Julio de 2019). New Approach in COD Fractionation Methods. *Water*, 1. doi:10.3390/w11071484
- Pluciennik, E., Jakubaszek, A., Myszograj, S., & Uszakiewicz, S. (2017). COD fractions in mechanical biological wastewater treatment plant. *Civil and environmental engineering reports*, 24(1), 207 - 217. Recuperado el 26 de Agosto de 2020, de <https://www.semanticscholar.org/paper/Cod-Fractions-In-Mechanical-Biological-Wastewater-P%20C5%82uciennik-Koropczuk-Jakubaszek/ac9c44c015cea2d7b5aa587033378a8cc73d4c81>
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica del oxígeno. *Industrial Data Revista de Investigación*, 17(1), 75. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Ramalho, R. (1996). Tratamiento de aguas residuales. En R. Ramalho, *Tratamiento de aguas residuales* (págs. 76 - 222). España: Reverté, S.A. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=30etGjzPXyWC&pg=PA76&dq=densidad+del+agua+residual&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj4KSfkq_qAhVShuAKHZdwCxcQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=densidad%20del%20agua%20residual&f=false
- Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2002). El agua en el Medio Ambiente muestreo y análisis. En R. Ramos, R. Sepúlveda, & F. Villalobos, *El agua en el Medio Ambiente muestreo y análisis* (págs. 69 - 71). México. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=b8l-xhcHPEYC&pg=PA69&dq=par%C3%A1metros+f%C3%ADsicos+de+las+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjxqdS9tKjqAhXEL-AKHwJ3CXQQ6AEwAXoECAkQAg#v=onepage&q=par%C3%A1metros%20f%C3%ADsicos%20de%20las%20aguas%20residuales>
- Rigola, M. (1990). Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales . En M. Rigola, *Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales* (pág. 27). España . Recuperado el 29 de Junio de 2020, de

<https://books.google.com.ec/books?id=fQcXUq9WFC8C&pg=PA27&dq=par%C3%A1metros+f%C3%ADsicos+de+las+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjxqdS9tKjqAhXEl-AKHwj3CXQQ6AEwAnoECAMQAg#v=onepage&q=par%C3%A1metros%20f%C3%ADsicos%20de%20las%20aguas%20residuales>

- Rodríguez, J., García, C., & Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura*, 19(46), 150. doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a03
- Roeleveld, P., & Van Loosdrecht, M. (2002). Experience with guidelines for wastewater characterisation in The Netherlands. *Water Science and Technology*, 45(6), 78 - 84. doi:10.2166/wst.2002.0095
- Rojas, M. (2015). Tipos de investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *Revista electrónica de Veterinaria*, 16(1), 5. Recuperado el 16 de Julio de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63638739004.pdf>
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. En G. Roldán, *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia* (pág. 1). Colombia: Universidad de Antioquia. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=ZEjgIKZTF2UC&pg=PA1&dq=temperatura+en+el+agua&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiA_IDRj6_qAhWumOAKHTB9AFAQ6AEwAHoECAAQA#g#v=onepage&q=temperatura%20en%20el%20agua&f=false
- Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. En G. Roldán, & J. Ramírez, *Fundamentos de limnología neotropical* (pág. 157). Colombia. Recuperado el 1 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=FA5Jr7pXF1UC&pg=PA157&dq=s%C3%B3lidos+sedimentables&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj4Z2DgavqAhWrmOAKHUw8CE0Q6AEwAnoECAMQAg#v=onepage&q=s%C3%B3lidos%20sedimentables&f=false>
- Sadecka, Z., Płuciennik, E., & Sieciechowicz, A. (2011). Modele biokinetyczne ASM. *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska*, 141(21), 113 - 125. Recuperado el 26 de Agosto de 2020,

- de <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPZ1-0070-0010>
- Sainz, J. (2005). Tecnologías para la sostenibilidad Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales. En J. Sainz, *Tecnologías para la sostenibilidad Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales* (pág. 39). Madrid. Recuperado el 30 de Junio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=r9aK7UttDU8C&pg=PA38&dq=definici%C3%B3n+s%C3%B3lidos+vol%C3%A1tiles&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjH1YiSkarqAhVITt8KHTTPCZkQ6AEwAnoECAQQAg#v=onepage&q=definici%C3%B3n%20s%C3%B3lidos%20vol%C3%A1tiles&f=false>
- Sánchez, A. (2011). Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. En A. Sánchez, *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable* (pág. 269). México. Recuperado el 30 de Junio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=L8v8CRDFm-oC&pg=PA269&dq=definici%C3%B3n+s%C3%B3lidos+suspendidos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjZztiG26rqAhUtc98KHyrCCR8Q6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=definici%C3%B3n%20s%C3%B3lidos%20suspendidos&f=false>
- Sánchez, J. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*(14), 121 - 122. doi:10.17163/lgr.n27.2018.08
- Sánchez, J., Ribes, J., Ferrer, J., & García, F. (2017). Obtención de los principales parámetros del agua residual urbana empleados en los modelos matemáticos de fangos activados a partir de una caracterización analítica simple. *Ingeniería y Región*(17), 33 - 35. Recuperado el 27 de Julio de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6662298>
- Sánchez, S., Pérez, L., Córdova, M., & Cabrera, D. (Marzo de 9 de 2020). Heavy metal contamination in the Cotopaxi and Tungurahua rivers: a health risk. *Environmental Earth Sciences*, 79(144), 2 - 12. doi:10.1007/s12665-020-8869-9
- Sans, R., & Ribas, J. (1989). Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. En R. Sans, & J. Ribas, *Sans, Ramón; Ribas, Joan* (pág. 77). Marcombo, S.A. Recuperado el 4 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=kumplOJs6T0C&pg=PA77&dq=ph+en+aguas+residuales&hl=es->

- 419&sa=X&ved=2ahUKEwji9Jvc27TqAhVJhOAKHfssDJsQ6AEwAnoECAEQAg#v=onepage&q=ph%20en%20aguas%20residuales&f=false
- Sozen, S., Cokgor, E., Orhon, D., & Henze, M. (1998). Respirometric analysis of activated sludge behaviour—II. Heterotrophic growth under aerobic and anoxic conditions. *Water Research*, 32(2), 476 - 488. doi:10.1016/s0043-1354(97)00210-8
- Spérandio, M., & Etienne, P. (2000). Estimation of wastewater biodegradable COD fractions by combining respirometric experiments in various So/Xo ratios. *Water Research*, 34(4), 1233 - 1234. Recuperado el 29 de Julio de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135499002419>
- Stachetti, G., Aelita, M., Martínez, N., & Cantou, G. (2007). Manual de Evaluación de Impacto ambiental de actividades rurales. En G. Stachetti, M. Aelita, N. Martínez, & G. Cantou, *Manual de Evaluación de Impacto ambiental de actividades rurales* (pág. 79). Recuperado el 30 de Junio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=lnnqaK9UCZAC&pg=PA79&dq=definici%C3%B3n+de+s%C3%B3lidos+totales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiq-7PbjarqAhXGTN8KHWFdDTIQ6AEwAXoECAUQA#v=onepage&q=definici%C3%B3n%20de%20s%C3%B3lidos%20totales&f=false>
- Szaja, A., Aguilar, J., & Lagód, G. (2015). Estimation of Chemical Oxygen Demand Fractions of Municipal Wastewater by Respirometric Method – Case Study. *Middle Pomeranian Scientific Society of the Environment Protection*(17), 289 - 299. Recuperado el 3 de Agosto de 2020, de <https://pdfs.semanticscholar.org/eb0e/30c74102c06257aa7c5b4a317dc1e9a1222e.pdf>
- Tchobanoglous, G., & Schroeder, E. (1985). Water quality: Characteristics, modeling, modification. En G. Tchobanoglous, & E. Schroeder, *Water quality: Characteristics, modeling, modification*. Obtenido de <https://www.osti.gov/biblio/5887635>
- Terneus, E., & Yáñez, P. (1 de Marzo de 2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 38 - 39. doi:10.17163/lgr.n27.2018.03
- Torske, M. (2019). *La realidad de las aguas servidas en Ecuador*. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de Yakunina: <http://www.yakunina.com/la-realidad-de-las-aguas-servidas-en-ecuador/>

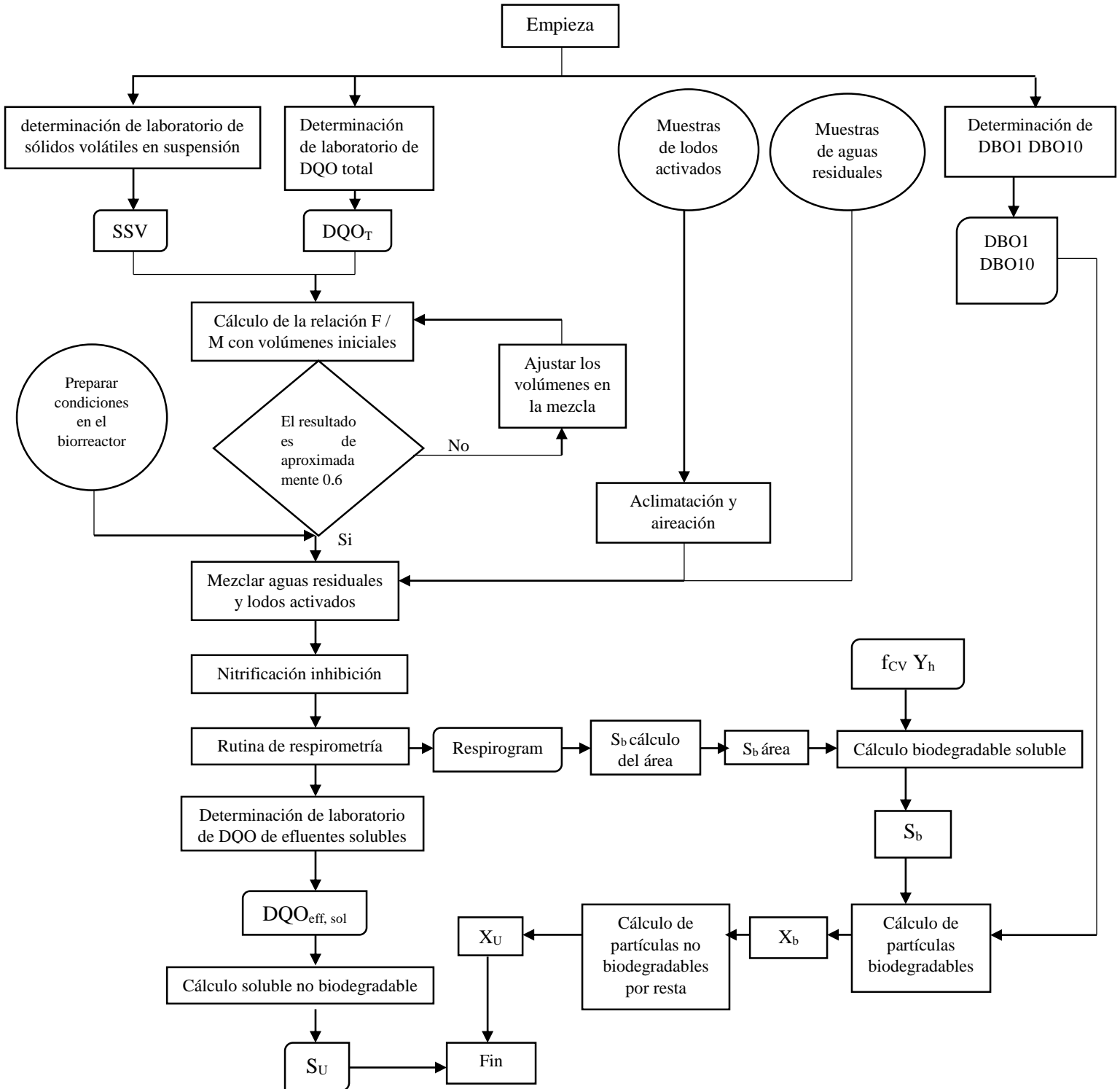
- Trapote, A. (2017). Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas. En A. Trapote, *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas* (pág. 19). Recuperado el 24 de Junio de 2020, de https://www.e-buc.com/portades/9788497172646_Fragment.pdf
- Universidad Técnica de Cotopaxi. (2020). Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Van Loosdrecht, M. C., Lopez, C. M., Meijer, S. C., Hooijmans, C. M., & Brdjanovic, D. (2015). Twenty-five years of ASM1: past, present and future of wastewater treatment modelling. *Journal of Hydroinformatics*, 17(5), 697 - 703. doi:10.2166/hydro.2015.006
- Vanrolleghem, P., Spanjers, H., Petersen, B., Gineste, P., & Takacs, I. (1999). Estimating (combinations of) Activated Sludge Model No. 1 parameters and components by respirometry. *Water Science and Technology*, 39(1), 195 - 214. doi:10.1016/s0273-1223(98)00786-0
- Vargas, J., Benitez, D., & Torres, A. (2012). Tipificación de fincas ganaderas en el piedemonte tropical de las provincias Cotopaxi y Los Ríos, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1(1), 4 - 9. Recuperado el 19 de Junio de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5240743>
- Vázquez, G., Ortega, R., & Esparza, M. (2013). Fraccionamiento de DQO del agua residual de Toluca por el protocolo STOWA. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(2), 22 - 33. Recuperado el 29 de Julio de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531982002.pdf>
- Velasco, G., Moncayo, J., & Chuquer, D. (2019). Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de Manta. *InfoAnalítica*, 7(1), 29. doi:10.26807/ia.v7i1.93
- Villaseñor, J. (1998). Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas . En J. Villaseñor, *Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas* (pág. 8). Universidad de Castilla - La Mancha. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=8Vlu05kqFEgC&pg=PA11&dq=materia+org%C3%A1nica+en+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjtyMvexa_qAhVtUd8KHV5ED4UQ6AEwAXoECAQQA#v=onepage&q=materia%20org%C3%A1nica%20en%20aguas%20residuales&f=false
- Villegas, L., & Binetti, C. (Noviembre de 1997). *Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. Recuperado el 29 de Junio de 2020, de Manual de caracterización de aguas residuales industriales:

<http://www.acodal.org.co/holland/memorias/Taller%20Vertimientos/MANUAL%20DE%20CARACTERIZACION%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20INDUSTRIALES.pdf>

- Wang, L., Ivanov, V., Tay, J.-H., & Hung, Y.-T. (2010). Environmental Biotechnology. En L. Wang, V. Ivanov, J.-H. Tay, & Y.-T. Hung, *Environmental Biotechnology* (pág. 480). Humana Press. doi:10.1007/978-1-60327-140-0
- Weijers, S., & Vanrolleghem, P. (1997). A procedure for selecting best identifiable parameters in calibrating activated sludge model no.1 to full-scale plant data. *Water Science and Technology*, 36(5), 69 - 79. doi:10.1016/s0273-1223(97)00463-0

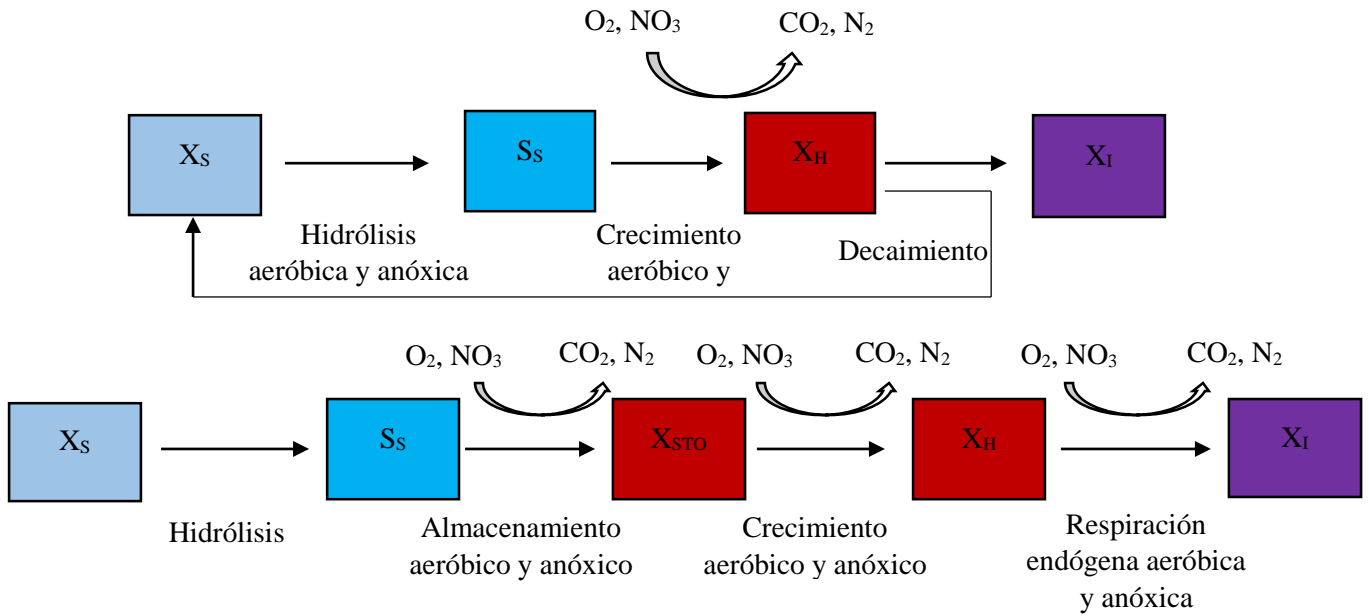
ANEXOS

Anexo No. 1. Diagrama de flujo del cálculo de la fracción DQO



Fuente: Baquero et al, 2016.

Anexo No. 2. Degradación de DQO en (a) ASM1 y (b) ASM3



Fuente: Van Loosdrecht et al, 2015.

Anexo No. 3. Aval de Traducción



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por la señorita egresada de la **CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES: REAL GAIBOR MORELLA MALU** cuyo título versa **“ESTADO DEL ARTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COMO APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI AÑO 2020”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente certificado de la manera ética que estime conveniente.

Latacunga, septiembre del 2020

Atentamente,


MSc. Alison Mena Barthelatty
DOCENTE CENTRO DE
IDIOMAS C.C. 0501801252



www.utc.edu.ec

Av. Simón Bolívar s/n Barrio El Ejido / San Felipe. Tel: (03) 2252348 – 2252307 - 2252208

Anexo No. 4. Hoja de Vida del Tutor

CURRICULUM VITAE

INFORMACIÓN PERSONAL



Nombres /Apellidos

José Luis Ágreda Oña

<i>Dirección</i>	Ecuador, San Gabriel, Provincia del Carchi, Calderón y 27 de Septiembre Quito, Av, Occidental y Vaca de Castro, Bloque Nono Dept. 401
<i>Teléfonos</i>	0986003679/062290451
<i>Correo electrónico</i>	jos.agreda@gmail.com/j_luisagreda@hotmail.com
<i>nacionalidad</i>	Ecuatoriana
<i>Fecha de nacimiento</i>	09-OCT-1987
<i>Género</i>	Masculino
<i>Campo de desempeño actual</i>	Educación Superior

EXPERIENCIA

Universidad Técnica de Cotopaxi	
Fecha	Desde el 10 de abril 2019-08 -presente
Cargo	Docente
Docente	<ul style="list-style-type: none"> • Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente. • Docente Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. • Docente Ruido, Vibraciones y Sistemas de Insonorización. • Coordinador Vinculación Carrera Medio Ambiente

Universidad Politécnica Estatal del Carchi	
Fecha	Desde el 2 de abril 2018-08 de febrero 2019

Cargo	Docente
Docente	Carrera de Ingeniería en Computación Investigación Académica Vinculación a la Sociedad

Agencia de regulación y control hidrocarburíferas (ARCH)	
Fecha	Desde el 1de septiembre 2014-31de marzo 2018
Cargo	Técnico de control y regulación
Actividades principales y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Control y regulación de la calidad y volumen de hidrocarburos líquidos derivados de petróleo y gas licuado (glp) así como de su infraestructura para la comercialización. • Control de responsabilidad ambiental y social en las diferentes fases de la industria hidrocarburífera • Gestión pública administrativa • Director subrogante regional norte 02/10/2017-16/10/2017

SCHULUMBERGER DEL ECUADOR S.A	
Fecha	23 de septiembre 2013 hasta el 30 de abril del 2014
Cargo	Drilling Fluid Engineer I (Diseño de Fluidos de Perforación)
Actividades principales y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de fluidos de perforación • Titulación Química • Manejo de laboratorio móvil para pruebas en campo de fluidos de perforación y de suelos provenientes del yacimiento petrolífero. • Análisis de suelos contaminados con petróleos para su remediación y posterior incorporación al ambiente

QMAX DEL ECUADOR S. A.	
Fecha	1ro octubre 2012 – 1ro de febrero del 2013
Cargo	Laboratorista
Actividades principales y responsabilidades	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas químicas y físicas de suelos contaminados con petróleos para su posterior tratamiento e incorporación al medio ambiente. • Desarrollo de proyecto de titulación en zeolitas como tamices moleculares para descontaminación de metales pesados en suelos provenientes de yacimientos petrolíferos. • Apoyo en la administración del laboratorio en procedimientos para el cumplimiento de la normativa legal vigente

EDUCACIÓN Y CAPACITACIONES

EDUCACIÓN

1.

Fecha	Noviembre 2014 – septiembre 2017
Posgrado	Magister en sistemas de gestión ambiental. (1079-2018-1930244)
Materias principales revisadas	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de gestión ambiental y responsabilidad social, • Descontaminación de agua, descontaminación de suelos, • Legislación ambiental, • Sistemas informáticos georeferenciales
Universidad	Universidad de las fuerzas armadas (ESPE), Sangolquí

2.

Fecha	Octubre 2005 -Agosto 2013
Título	Ingeniero en Petróleos (1001-14-1257655)

Materias principales revisadas	<ul style="list-style-type: none"> • Producción • Comercialización de Hidrocarburos • Hidráulica de fluidos • Tratamiento de suelos contaminados en base a métodos de tamices moleculares, • Legislación Ambiental
Universidad	Escuela Politécnica Nacional, Quito

CAPACITACIÓN

Fecha	17 de julio 2019
	Ponente en las primeras jornadas de difusión ambiental
Universidad	Universidad técnica de Cotopaxi
Fecha	5 de julio 2019
	Expositor de curso de 40 horas de plantas de tratamiento de aguas residuales
Universidad	Universidad técnica de Cotopaxi
Fecha	4 de julio 2015 hasta 10 de julio 2015
Field school	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental Managment • Intercambio de conocimientos e ideas para generar métodos de evaluación de ciclo de vida de los productos ofertados por la industria de ecuador • Gestión ambiental en minas de hidrocarburos.
Universidad	University of Saskatchewan, Saskatoon, Canadá

CUALIDADES PERSONALES

Lenguaje nativo	Español
Otros lenguajes	Inglés, writing:9/10 listening:8/10 speaking:8/10

Cualidades	<ul style="list-style-type: none"> • Puntual • Auto capacitación constante responsable • Liderazgo • Manejo de grupo de personas • Resultados en trabajo bajo presión
Conocimiento general, habilidades y competencia	Manejo de paquetes informáticos
	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión documental, • ISO 14001:2015(GESTIÓN AMBIENTAL), • Ciencias exactas • Manejo laboratorios ISO 17025:2005
Licencia de manejo	B, Sport Man

REFERENCIAS

Ing. José becerra, Gerente GUPICEMA C.A. Consultora Ambiental	gerardoecu@yahoo.es 0999002969
Mgs. Pablo Andrés Obando, docente EPN	pabloand-om@hotmail.com 0984588255
Mgs. Carlos Muñoz Director de Hidrocarburos Regional Santo Domingo	carlos.munoz@controlhidrocarburos.gob.ec 0994376345

Quito, 10/02/2018

La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, informa que AGREDA OÑA JOSE LUIS, con documento de identificación número 0401332101, registra en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador (SNIESE), la siguiente información:

Nombre: AGREDA OÑA JOSE LUIS
 Número de Documento de Identificación: 0401332101
 Nacionalidad: Ecuador
 Género: MASCULINO

Título de Tercer Nivel o Pregrado

Número de Registro	1001-14-1257655
Institución de Origen	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
Institución que Reconoce	
Título	INGENIERO EN PETROLEOS
Tipo	Nacional
Fecha de Registro	2014-01-03
Observaciones	

Título de Cuarto Nivel o Posgrado

Número de Registro	1079-2018-1930244
Institución de Origen	UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS (ESPE)
Institución que Reconoce	
Título	MAGISTER EN SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL
Tipo	Nacional
Fecha de Registro	2018-02-07
Observaciones	

IMPORTANTE La información proporcionada en este documento es la que consta en el SNIESE, que se alimenta de la información proporcionada por las instituciones del sistema de educación superior, conforme lo disponen los artículos 129 de la Ley Orgánica Superior y 19 de su Reglamento. El reconocimiento/registro del título no habilita al ejercicio de las profesiones reguladas por leyes específicas, y de manera especial al ejercicio de las profesiones que pongan en riesgo de modo directo la vida, salud y seguridad ciudadana conforme el artículo 104 de la Ley Orgánica de Educación Superior. Según la Resolución RPC-SO-18-No.256-2016

En el caso de detectar inconsistencias en la información proporcionada, se recomienda solicitar a la institución de educación superior que emitió el título, la rectificación correspondiente. Para comprobar la veracidad de la información proporcionada, usted debe acceder a la siguiente dirección:

GENERADO: 10/02/2018 1.38 PM

www.senescyt.gob.ec

Documento firmado electrónicamente

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN






REPÚBLICA DEL ECUADOR

LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

EN NOMBRE DE LA REPÚBLICA Y POR AUTORIDAD DE LA LEY,
HACE NOTORIO QUE EL SEÑOR

José Luis Agreda Oña

DESPUES DE CURSAR SUS ESTUDIOS, EN MODALIDAD PRESENCIAL,
SEGÚN LAS DISPOSICIONES LEGALES,
APROBÓ LAS PRUEBAS DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTES,
SEGÚN CONSTA EN EL LIBRO DE TITULACIONES, FOLIO 7983, N°21123
EN FE DE LO CUAL SE LE CONFIERE EL PRESENTE

TÍTULO DE

INGENIERO EN PETRÓLEOS

DE CONFORMIDAD CON LOS PRECEPTOS DE LA LEY Y DE LOS REGLAMENTOS,
INCORPORACIÓN E INVESTIDURA EFECTUADA EN SESIÓN SOLEMNE DEL 29 DE NOVIEMBRE DE 2013.
DADO EN LA CIUDAD DE SAN FRANCISCO DE QUITO, DISTRITO METROPOLITANO, A 29 DE NOVIEMBRE DE 2013.


Ing. Alfonso Espinosa Ramón
RECTOR


Ing. Vinicio Melo G., MSc.
DECANO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA EN GEOLOGÍA
Y PETRÓLEOS


Ab. Alexander Ortiz Raza
SECRETARIO GENERAL



E SCIENTIA HOMINIS SALUS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Nº 0021107



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y
VINCULACIÓN CON LA COLECTIVIDAD

UNIDAD DE GESTIÓN DE
POSTGRADOS

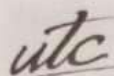
CERTIFICADO DE EGRESAMIENTO

El Centro de Posgrado de la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE, CERTIFICA, que el maestrante AGREDA OÑA JOSE LUIS con cédula de ciudadanía No. 0401332101 conforme certifica el Coordinador de Carrera, aprobó todas las materias obligatorias y optativas necesarias; y, cumplió con los requisitos legales y formales, para su egresamiento como alumno de la MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTION AMBIENTAL PROMOCIÓN XIII. Por tal razón se le considera EGRESADO.

Se emite este certificado en Sangolquí - Ecuador, a 07 de Julio del 2016

AB. ALFONSO VILLAFUERTE
SECRETARIO - ABOGADO
POSTGRADOS

DRA. AMPARO MARTINEZ PHD
DIRECTORA DEL CENTRO
DE POSGRADOS



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



ASESORÍA
JURÍDICA

CONTRATO DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS OCASIONALES
UTC-CSO-FCAREN-00070-2019

En la ciudad de Latacunga, a los treinta días del mes de abril del año dos mil diecinueve, comparecen: por una parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en su condición de Rector y por tanto Representante Legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, a quien se lo denominará "LA UNIVERSIDAD"; y por otra, el Msc. José Luis Agreda Oña, con cédula de ciudadanía número 040133210-1, a quien se le denominará "EL CONTRATADO". Los comparecientes son legalmente capaces para contratar y obligarse.

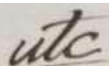
CLÁUSULA PRIMERA: ANTECEDENTES. a).- La Universidad Técnica de Cotopaxi es una Institución Educativa de Nivel Superior, de derecho público, autónoma, con personería y patrimonio propio, creada mediante Ley promulgada en el Registro Oficial número 618, de 24 de enero de 1995, regulada por la Constitución de la República del Ecuador, la Ley Orgánica de Educación Superior, el Reglamento General a dicha Ley y por sus propios Estatuto y Reglamento General. b).- Mediante Resolución Nro. 1.2 de fecha 18 de marzo de 2019, el Honorable Consejo Universitario, aprueba el proceso de selección de docentes ocasionales para el presente periodo académico... c).- Mediante oficio N° VAI-00106-2019, de fecha 05 de abril de 2018, suscrito por la Ing. MBA. Idalia Pacheco Tigselema, Vicerrectora Académica y de Investigación, dirigido al Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez, Rector, remite el informe final del proceso de selección para personal académico ocasional correspondiente al periodo académico marzo-agosto 2019. d).- Con Memorando N° RI-372A-2019, de fecha 05 de abril del 2019, suscrito por el Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez, Rector dirigido al Eco. Juan De la Cueva, Director de Talento Humano mediante el cual notifica los ganadores del proceso de selección del personal académico ocasional para el periodo académico marzo-agosto 2019. e).- Mediante Oficio UATH-0131-2019, de fecha 24 de abril de 2019, suscrito por el Econ. Juan de la Cueva, Director de la Unidad de Talento Humano, dirigido al Ing. Oscar Obando, Director Financiero, solicita extienda certificación presupuestaria de la disponibilidad de recursos económicos para la contratación del personal docente, bajo la modalidad de Servicios Ocasionales. f).- Mediante Oficio No. DF-P-055-2019, de fecha 30 de abril de 2019, suscrito por el Ing. Oscar Obando, Director Financiero, dirigido al Eco. Juan de la Cueva, Director de la Unidad de Talento Humano, informa que existe disponibilidad presupuestaria en la partida 510510 Servicios Personales por Contrato, por un valor de \$ 227.822.40 según cálculos efectuados por la Dirección a su cargo, cuyo valor incluye beneficios de ley. g).- Mediante Oficio UATH-0161A-2019, de fecha 30 de abril de 2019, suscrito por el Econ. Juan de la Cueva S., Director de Talento Humano, dirigido al Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero, Rector, informa que los docentes cumplen con el perfil profesional y académico requerido para cada Facultad, por lo que considera procedente su contratación para el periodo 2019, por lo que solicita se autorice la elaboración de los contratos. h).- Mediante Memorando RI-504A-2019, de fecha 30 de abril de 2019, suscrito por el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero, Rector de la Universidad Técnica de Cotopaxi, dirigido al Dr. Lucas Guanoquiza, Director de Asesoría Jurídica, remite informe favorable para la contratación de los docentes bajo la modalidad de docentes ocasionales y servicios profesionales para las Facultades, Extensión La Maná y Centros de la Universidad Técnica de Cotopaxi, correspondiente al periodo marzo-agosto de 2019.

CLÁUSULA SEGUNDA.- OBJETO DEL CONTRATO.- Con los antecedentes expuestos, la Universidad Técnica de Cotopaxi, procede a la contratación de servicios lícitos y personales del Msc. José Luis Agreda Oña, para que se desempeñe en condición de Docente a tiempo completo, con 40 horas clase a la semana, de conformidad con el distributivo elaborado por la Decana de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, en la Carrera de Medio Ambiente sin perjuicio que colabore por necesidad institucional en otra u otras Carreras, en sus campus La Matriz, Salache (CEASA), y Extensión La Maná, tanto en la Facultad señalada como en las otras Facultades, debiendo sujetarse además a los reglamentos internos y disciplinarios de la Institución y a los horarios que establezca la misma.

CLÁUSULA TERCERA.- DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES A CUMPLIR.- El Contratado desempeñará la docencia a favor de la Universidad, todo su conocimiento, experiencia, y profesionalismo, para lo cual desarrollará las siguientes actividades: Impartir clases teórico-prácticas, preparación de clases, seminarios, talleres, entre otros, diseño y elaboración de libros, material didáctico, guías docentes, syllabus; orientación y acompañamiento a través de tutoría presenciales, individuales o grupales, visitas de campo y docencia en servicios; dirección, seguimiento y evaluación de prácticas y pasantías preparación, elaboración, aplicación y calificación de exámenes, trabajos y prácticas; dirección y tutoría de trabajos finales previos a la obtención del título en distintos niveles de formación, con excepción de tesis doctorales o de maestría de investigación, labores en actividad de educación continua y otras de vinculación con la sociedad, participación en colectivos académicos de docencia; realizar la investigación requerida para el proceso de aprendizaje estudiantil; realizar actividades de gestión y/o planificación académica de conformidad a lo establecido en el distributivo académico aprobado por los órganos competentes de la Universidad.

CLÁUSULA CUARTA.- PLAZO DE DURACIÓN.- El presente contrato tendrá un plazo de vigencia desde el 08 de abril de 2019 hasta el 31 de julio de 2019, de acuerdo a lo establecido por el señor Director de Talento Humano, en u oficio referido en el literal g) de la cláusula primera de antecedentes, sin perjuicio de que por necesidad institucional se pueda modificar los días establecidos.

Una vez concluido el plazo de duración del presente contrato, éste terminará sin necesidad de otro requisito, ni notificación alguna al docente para la conclusión de los efectos jurídicos existentes entre las partes, de conformidad a lo establecido en el literal a) del artículo 146 del Reglamento a la Ley Orgánica de Servicio Público, entendiéndose que no existe compromiso entre las partes para su renovación.



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI

ASESORÍA
JURÍDICA

CLÁUSULA QUINTA.- LA POSIBILIDAD DE SUBROGAR O ENCARGAR A PUESTOS.- De conformidad con el inciso sexto del artículo 143 del Reglamento General a la Ley de Orgánica de Servicio Público, el Contratado podrá subrogar o encargarse puestos de aquellos comprendidos dentro de la escala del nivel jerárquico superior, cumpliendo con los requisitos y perfiles para el puesto a subrogar o encargarse.

CLÁUSULA SEXTA.- REMUNERACIÓN.- La Universidad pagará al Contratado por sus servicios ocasionales, una remuneración mensual unificada de MIL OCHOCIENTOS DIEZ DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (\$ 1.810,00 USD), a cargo de la partida presupuestaria 510510. En el evento de pagos proporcionales de la remuneración se lo cancelará hasta el día efectivamente trabajado de conformidad a lo que dispone el artículo 147 del Reglamento de la LOSEP, conforme el Registro de Control de Asistencia Docente de la Universidad.

CLÁUSULA SÉPTIMA.- TERMINACIÓN DEL CONTRATO EN CUALQUIER MOMENTO.- El presente contrato terminará en cualquier momento, por incurrir en alguna de las causales establecidas en el artículo 207 de la Ley Orgánica de Educación Superior. Por resolución unilateral del Rector de la Universidad Técnica de Cotopaxi, conforme el artículo 146 del Reglamento de la LOSEP, por faltas establecidas en el Estatuto, reglamentos, incumplimiento sus deberes y obligaciones establecidas en el contrato, Reglamento General de la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, demás Reglamentos Internos, disposiciones e instrucciones que impartan autoridades académicas y administrativas, además de las normas de control del desempeño para el docente universitario.

CLÁUSULA OCTAVA.- EVALUACIÓN DEL DOCENTE.- La Universidad, procederá a la evaluación del docente periódicamente en su trabajo y desempeño académico, lo cual servirá para la acreditación de este Centro de Educación Superior.

CLÁUSULA NOVENA.- EXCEPCIONES: EL CONTRATADO.- No ingresará al escalafón del docente universitario durante la vigencia de su contrato de servicios ocasionales, modalidad de contratación que no le otorga estabilidad ni permanencia en la Universidad, no se le concederá licencia sin remuneración y comisión de servicios con remuneración para efectuar estudios regulares de postgrado determinadas en los artículos 28 letra b); y 30 inciso final de la Ley Orgánica del Servicio Público, tampoco podrá prestar sus servicios en otra institución del sector público mediante comisiones de servicio con o sin remuneración a tiempo completo conforme lo establecen los artículos 30 y 31 de la mencionada Ley, no se le otorgará permiso para estudios regulares según lo determinado en el inciso primero del artículo 33 de la citada norma, en concordancia con el artículo 92 del Reglamento de Escalafón para Docentes e Investigadores del sistema de Educación Superior.

CLÁUSULA DÉCIMA.- DECLARACIÓN.- El Contratado señala que no consta registrado con impedimento legal para el desempeño de cargo público.

CLÁUSULA DÉCIMA PRIMERA.- DERECHOS DE AUTOR: EL CONTRATADO.- En el ejercicio de sus actividades, al suscribir el presente contrato cede y transfiere a favor de la Universidad los derechos de autor y conexos establecidos en el Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que se desarrolle en relación a la docencia e investigación.

CLÁUSULA DECIMA SEGUNDA.- PROPIEDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LOS DOCUMENTOS.- Todos los informes, documentos y en general toda la información que resultaren conocidas por EL CONTRATADO con motivo del presente contrato, serán de propiedad exclusiva de LA UNIVERSIDAD; así mismo, EL CONTRATADO tendrá la obligación de mantener la más estricta confidencialidad de la información técnica, comercial y financiera perteneciente a LA UNIVERSIDAD, ya sea por venir inscrita en cualquier material físico, o en el sentido de resultar conocida por EL CONTRATADO como consecuencia, directa o indirecta, de los servicios objeto del presente contrato, consecuentemente se obliga a no hacer, no divulgar de las actividades materia de este contrato a terceras personas que puedan afectar la estructura de los proyectos su ejecución o administración. Se deja expresa constancia que el contratado se encuentra obligado una vez concluida la relación contractual a entregar con acta de entrega la documentación que genere o recibiere por su cargo, so pena de iniciarse las acciones legales correspondientes.

CLÁUSULA DECIMA TERCERA.- JURISDICCIÓN.- Para el caso de controversias derivada de la presente contratación, las partes se someten a una de las Unidades Judiciales de lo Contencioso Administrativo con sede en la ciudad de Quito y al trámite establecido en el Código Orgánico General de Procesos, en atención a lo que dispone el artículo 103 del Código Orgánico Administrativo y artículo 217 del Código Orgánico de la Función Judicial.

Los comparecientes aceptan el total contenido de las cláusulas que preceden y para constancia firman.

Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez
RECTOR DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE COTOPAXI

Msc. José Luis Agreda Oña
EL CONTRATADO
C.C. N°. 040133210-1.

Latacunga - Ecuador

Av. Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido / San Felipe. Tel: 033 2252346 - 2252307 - 2252205



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

Ley No. 2006-36 Publicada en el Segundo Suplemento del Registro Oficial No. 244 del 5 de abril del 2006

Tulcán, 22 de marzo de 2019

La suscrita Dra. Rocío Angélica Montenegro A., Jefa de Talento Humano de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, a petición del interesado, en forma legal:

CERTIFICA:

Que el Msc. **AGREDA OÑA JOSE LUIS**, portador de la cédula de ciudadanía número 040133210-1, prestó sus servicios en calidad de Docente Ocasional en la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, durante el siguiente periodo académico:

Cargo	Periodo Académico	Módulos impartidos
Docente Ocasional 1 Tiempo Completo	1 de abril de 2018 hasta 31 de julio de 2018	Geometría, Algebra Lineal, Matemáticas Discretas
Docente Ocasional 1 Tiempo Completo	1 de octubre de 2018 hasta el 8 de febrero de 2019	Algebra Lineal, Geometría,

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente.

Atentamente,

Dra. Rocío Montenegro A.

JEFA DE TALENTO HUMANO

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



RM/kv

Av. Universitaria y Antisana Telfs: (06) 2224-079 / 2224-080 Fax ext.: 1313
www.upec.edu.ec e-mail: info@upec.edu.ec

UPEC



AGENCIA DE REGULACION Y CONTROL HIDROCARBURIFERO

CERTIFICA:

Que, **AGREDA OÑA JOSÉ LUÍS**, con cédula de ciudadanía No. 0401332101, presta sus servicios desde el 01 de septiembre del 2014 hasta la actualidad en la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero en La Agencia Regional de Control Hidrocarburífero Norte como Técnico Regional En Control Y Fiscalización.

El Sr. **AGREDA OÑA JOSÉ LUÍS**, puede hacer uso de la presente certificación como a bien tuviere.

[Handwritten signature]

Ing. Marcela Navarrete Narvaez

Quito, 19 de octubre de 2015

COORDINADORA DE GESTION DE TALENTO HUMANO

Elaborado por: Jacho Calderon Alex

Schlumberger del Ecuador, S.A.
Av. 12 de octubre y Francisco Salazar
Edificio Expoentary PB
Quito, Ecuador
Tel +593 2 2979400 ext. 1437
Fax +593 2 2979995 ext. 1280

Schlumberger

No CRT_14_610_CP

Quito, 14 de Julio de 2014

Señores
A QUIEN INTERESE
Quito - Ecuador

A petición verbal del interesado, señor **JOSE LUIS AGREDA ONA**, portador de la cédula de identidad No. **0401332101**, me permito **CERTIFICAR** que el mencionado señor trabajo para la empresa Schlumberger del Ecuador S.A. desde el **23 DE SEPTIEMBRE DE 2013** hasta el **30 DE ABRIL DE 2014**, desempeñando el cargo de **INGENIERO DE CAMPO DS**.

Cualquier información adicional, por favor comunicarse con el Departamento de Recursos Humanos, al número telefónico 593 2 2979400, extensión 1342.

Atentamente,



Ximena Molina
Personnel Representative - Ecuador
SCHLUMBERGER DEL ECUADOR S.A.

SCHLUMBERGER DEL ECUADOR
RECURSOS HUMANOS



CERTIFICADO

Quito, 19 de Septiembre del 2013

EL AREA DE LABORATORIO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN DE LA EMPRESA QMAX ECUADOR S. A. , CERTIFICA QUE EL SEÑOR **JOSÉ LUIS AGREDA OÑA**, ESTUDIANTE DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DE LA FACULTAD DE GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS HA TRABAJADO EN NUESTRA EMPRESA DESDE EL 1 DE OCTUBRE DEL 2012 HASTA EL 1 DE FEBRO DEL 2013, ADEMÁS EN NUESTRAS INSTALACIONES REALIZÓ EL PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN PETRÓLEOS TITULADO "OPTIMIZACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE POLISILICATO DE SODIO Y POTASIO, ZEOLITA, CARBÓN ACIVADO, LIGNINA NATURAL Y DESHIDRATANTE PARA EL TRATAMIENTO DE CORTES Y RIPIOS DEL CAMPO YANAQUINCHA ESTE".

EL SEÑOR JOSÉ LUIS AGREDA OÑA PUEDE HACER USO DEL PRESENTE CERTIFICADO DE LA MANERA LEGAL QUE MÁS CONVENGA A SUS INTERESES

Atentamente,

Ing. Andrea Chávez

Jefa del Laboratorio de Fluidos de Perforación Qmax Ecuador S.A.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Centro de Educación Continua
Dirección de Lingüística e Intercambios Culturales

Sufficiency in English Certificate

The Sufficiency in English Certificate is hereby conferred on

Jose Luis Agreda Oña

who has successfully passed all requirements of the Dirección de Lingüística e Intercambios Culturales del Centro de Educación Continua de la Escuela Politécnica Nacional.



Quito, March 24, 2012

Henry Jany Guech
Director

Andres Parvules
General Academic Coordinator

Ernesto Sempul
Academic Coordinator



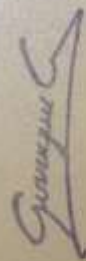
Ingeniería
Ambiental

CERTIFICADO

A: José Luis Agreda

Por haber participado como EXPOSITOR del CURSO - TALLER DE DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO, evento realizado por la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica de Cotopaxi, del 19 de junio al 05 de julio del 2019 con una duración de 40 HORAS

Latacunga, 5 de julio del 2019.



Mg. Giovana Parra Gallardo
Decana FACULTAD-CAREN

Registro: F14223857



Escuela de la Experiencia



M.Sc. Patricio Clavijo Cevallos
Director de la Carrera de
Ingeniería Ambiental UTC



UTC

Interciencia



Ingeniería
Ambiental

CERTIFICADO

A: **JOSE LUIS ÁGREDA OÑA**

Por su participación como **PONENTE** en las: "Jornadas de Difusión Ambiental", evento realizado por la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en la Casa de la Cultura Núcleo de Cotopaxi, los días 15, 16 y 17 de Julio del 2019.


Mg. Giovanna Parra Gallardo
Decana FACULTAD-CAREN
Distrito de la Escuela de Caren

Registro 516

Latacunga, 17 de julio del 2019.




M.Sc. Patricio Clavijo Quevallos
Director de la Carrera de
Ingeniería Ambiental UTC



The University of Saskatchewan International Office

Hereby awards this Certificate to

José Luis Agreda Oña

Student of Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Quito, Ecuador
 Upon completion of the

**“University of Saskatchewan
 Environmental Management Field School 2015”**

July 4, 2015 to July 10, 2015



DIANE MARTZ, DIRECTOR, INTERNATIONAL
 RESEARCH AND PARTNERSHIPS

JULY 10, 2015



Anexo No. 5. Hoja de Vida de la estudiante

HOJA DE VIDA



DATOS PERSONALES

<i>Nombres y apellidos</i>	<i>Morella Malu Real Gaibor</i>
<i>Cédula de identidad</i>	1753620150
<i>Edad</i>	23 años
<i>Nacionalidad</i>	Ecuatoriana
<i>Estado Civil</i>	Soltera
<i>Lugar y fecha de nacimiento</i>	Riobamba, 29 de Enero de 1997
<i>Dirección domiciliaria</i>	Pérez Pareja y Nueva España, Ciudad de Machachi, Cantón Mejía
<i>Teléfonos</i>	0995512901
<i>Correo electrónico</i>	malurealgaibor@outlook.com

DESCRIPCIÓN

Soy una persona amable, trabajadora, dedicada y con muchas ganas de aprender y mejorarme como persona, me gustaría formar parte de este grupo laboral para poner en práctica mis conocimientos, desarrollarme profesionalmente y aportar con actividades productivas. Con toda motivación pretendo dar lo mejor de mí y contribuir con mi esfuerzo.

FORMACIÓN ACADÉMICA

Año: 2008

Ciudad: Machachi / Cantón Mejía

Año: 2014

Ciudad: Machachi / Cantón Mejía

Año: 2020

Título: Educación Primaria

Institución: Escuela Fiscal Mixta Isabel Yánez

Título: Bachiller en Ciencias

Institución: Unidad Educativa Machachi

Título: Egresada de la carrera de Ingeniera en Medio Ambiente

Ciudad: Latacunga / Cantón Latacunga

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

CURSOS REALIZADOS

- Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, del 22 al 24 de noviembre del 2017, con una duración de 40 horas.
 - Taller de Diseño de Plantas de Tratamiento realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, del 19 de junio al 05 de julio del 2019, con una duración de 40 horas.
 - Diseño, Construcción y Gestión de Rellenos Sanitarios, realizado en las instalaciones del Centro de Reciclaje Romerillos, Ecuador, con una duración de 24 horas.
-

SEMINARIOS REALIZADOS

- Seminario de Capacitación en Calidad Ambiental, realizado en la ciudad de Latacunga, Ecuador el 15 de septiembre del 2016.
- III Seminario Científico Internacional de Cooperación Universitaria para el Desarrollo Sostenible – Ecuador, realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, del 22 al 24 de noviembre del 2017, con una duración de 40 horas.
- Estado de Conservación del Cóndor Andino en Ecuador y el del oso de anteojos en Ecuador, realizado en la ciudad de Latacunga, Ecuador el 01 de marzo del 2018.
- Los Recursos Hídricos en la provincia de Cotopaxi, realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, el 22 de marzo del 2018.
- I Seminario Internacional en Fiscalización, Seguimiento y Control Ambiental, realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, con el apoyo de la Asesoría de Desarrollo Nacional ADN Consultoría y Servicios C.A, del 02 al 04 de mayo del 2018, con una duración de 40 horas.
- I Jornadas de Difusión Ambiental, realizado en la Casa de la Cultura Núcleo de Cotopaxi, Ecuador, del 15 al 17 de Julio del 2019, con una duración de 40 horas.

PRÁCTICAS PRE PROFESIONALES

Realizadas en el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mejía, en la Dirección de Gestión Ambiental y Riesgos, con una duración de 480 horas.

REFERENCIAS PERSONALES

- Ing. Jorge Ignacio Sandoval Bolaños 0980654492
- Ing. Juan David Guanochanga Moreno 0960109392
- Ing. David Bladimir Real Gaibor 0995002690