



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DESCOMPOSICIÓN
ANAERÓBICA MEDIANTE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE
FLUIDOS DEL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE COTOPAXI, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA
DE COTOPAXI, PERIODO 2022”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieros en Medio Ambiente

Autor:
Caiza Quispe Yajaira Katerine
Zambrano Cárdenas Julio Bladimir

Tutor:
Ágreda Oña José Luis

LATACUNGA – ECUADOR

Septiembre 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Caiza Quispe Yajaira Katerine, con cédula de ciudadanía No. 0503709222 y Zambrano Cárdenas Julio Bladimir, con cédula de ciudadanía No. 0503190399, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “Análisis y Simulación del Comportamiento Hidráulico del Sistema de Descomposición Anaeróbica mediante Dinámica Computacional de Fluidos del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Periodo 2022”, siendo el Ing. José Luis Ágredda Oña, Mg. Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 01 de septiembre del 2022

Yajaira Katerine Caiza Quispe
Estudiante
CC: 0503709222

Julio Bladimir Zambrano Cárdenas
Estudiante
CC: 0503190399

Ing. José Luis Ágredda Oña, Mg.
Docente Tutor
CC: 0401332101

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 **CAIZA QUISPE YAJAIRA KATERINE**, identificada con cédula de ciudadanía **0503709222** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. 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 “Análisis y Simulación del Comportamiento Hidráulico del Sistema de Descomposición Anaeróbica mediante Dinámica Computacional de Fluidos del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Periodo 2022” la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2016 – Agosto 2016

Finalización de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de junio del 2022

Tutor: Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña.

Tema: “Análisis y Simulación del Comportamiento Hidráulico del Sistema de Descomposición Anaeróbica mediante Dinámica Computacional de Fluidos del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Periodo 2022”

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 tenor en la ciudad de Latacunga, al día 01 del mes de septiembre del 2022.

Yajaira Katerine Caiza Quispe
LA CEDENTE

Ing. Cristian Tinajero Jiménez, Ph.D.
LA CESIONARIA

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 **ZAMBRANO CÁRDENAS JULIO BLADIMIR**, identificado con cédula de ciudadanía **0503190399** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. 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. - EL 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 “Análisis y Simulación del Comportamiento Hidráulico del Sistema de Descomposición Anaeróbica mediante Dinámica Computacional de Fluidos del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Periodo 2022”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2017 - Agosto 2017

Finalización de la carrera: Abril 2022 – Agosto 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 3 de junio del 2022

Tutor: Ingeniero Mg. José Luis Ágredda Oña.

Tema: “Análisis y Simulación del Comportamiento Hidráulico del Sistema de Descomposición Anaeróbica mediante Dinámica Computacional de Fluidos del Campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Periodo 2022”

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, **EL 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 **EL 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:

- f) 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.
- g) La publicación del trabajo de grado.
- h) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.

- i) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- j) 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 **EL 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 **EL 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 **EL 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 tenor en la ciudad de Latacunga, al 01 día del mes de septiembre del 2022.

Julio Bladimir Zambrano Cárdenas
EL CEDENTE

Ing. Cristian Tinajero Jiménez, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA MEDIANTE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS DEL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022”, de Caiza Quispe Yajaira Katerine y Zambrano Cárdenas Julio Bladimir, 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, 01 de septiembre del 2022

Ing. José Luis Ágreda Oña, Mg.

DOCENTE TUTOR

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, los postulantes: Caiza Quispe Yajaira Katerine y Zambrano Cárdenas Julio Bladimir, con el título del Proyecto de Investigación: “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA MEDIANTE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS DEL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022”, han 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, 01 de septiembre del 2022

Lector 1 (Presidente)
Ing. Vladimir Ortiz Bustamante, Mg.
CC: 0502188451

Lector 2
Ing. Matius Mendoza Poma, Mg.
CC: 1710448521

Lector 3
Prof. Joseline Ruiz Depablos, MSc.
CC: 1758739062

AGRADECIMIENTO

.

A Dios por darme salud, fuerza y valentía para continuar cada paso de esta maravillosa etapa, demostrando ser ejemplo de constancia y perseverancia, por todas las cosas buenas que me permitieron sonreír y las malas que me ayudaron a crecer, a mis padres por haberme forjado con principios y valores, a mis tías Alexandra y Gloria por haberme brindado la oportunidad de trabajar y poder llegar el día de hoy a cumplir mis metas propuestas, a todas las personas que en algún momento fueron parte de mi vida universitaria y me brindaron apoyo incondicional.

Yajaira Katerine Caiza Quispe

AGRADECIMIENTO

Esta tesis, como el resultado de mi formación, se la debo a mi familia, a los que están y los que prematuramente nos dejaron, que no me alcanzaría esta página para detallar sus nombres, cualidades y virtudes, en mi corazón siempre estará presente el apoyo que recibí de ustedes, más bien le doy gracias a Dios por mi vida y por la suya, por haberlos puesto en mi camino para ayudarme a construir mis éxitos, sin duda son una bendición. Por toda la enseñanza y sabiduría indudablemente me ayudaron a crecer como persona y profesional.

Julio Bladimir Zambrano Cárdenas

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a cumplir mis metas propuestas, a mis Padres Mercedes y Tomas, a mi hermana Genesis, a mi familia y amigos quienes han sido parte de mi arduo sacrificio.

Yajaira Katerine Caiza Quispe

DEDICATORIA

A mi madre que ha sido el mayor soporte y apoyo en todo el duro trayecto para conseguir mis metas y objetivos, que ha sido también el mejor ejemplo de sacrificio, dedicación y perseverancia que me ha dado fortaleza para seguir adelante.

Julio Bladimir Zambrano Cárdenas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA MEDIANTE DINÁMICA COMPUTACIONAL DE FLUIDOS DEL CAMPUS SALACHE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022”

AUTORES: Caiza Quispe Yajaira Katerine
Zambrano Cárdenas Julio Bladimir

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se llevó a cabo un diagnóstico general del sistema con el que cuenta la Universidad Técnica de Cotopaxi para tratar las aguas residuales del campus Salache, por tal razón se estableció como objetivo principal, simular el comportamiento hidráulico a través de un modelo computacional de fluidos (CFD) en el sistema de descomposición anaeróbica de dicho campus. En cuanto a la metodología aplicada para efectuar el análisis, fue necesario aplicar métodos de modelación computacional de fluidos en donde se aplican técnicas de pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento (software SALOME, OpenFoam y ParaView). Para lo cual también fue necesario obtener información sobre las variables que influyen en el modelamiento, como fue el caso del caudal de ingreso al sistema (Q), de los valores de oxígeno disuelto (OD) y demanda química de oxígeno (DQO). Estos dos últimos valores se obtuvieron mediante análisis de laboratorio, y en campo se obtuvo el caudal de ingreso utilizando el método volumétrico de manera directa en una caja de revisión cercana al sistema de saneamiento, tomando valores cada hora durante ocho horas en un día y tres días en una semana, obteniendo así valores de caudal instantáneo entregado y de caudal medio. Posteriormente para el modelado y diseño de las mallas de cada una de las etapas del sistema se utilizó software Salome, para lo cual los datos y dimensionamientos que se obtuvieron de los planos y la memoria técnica que fueron de vital importancia para este proceso. Seguido de esto, para la simulación computacional del fluido en OpenFoam, se utilizó valores predeterminados, la mayoría de ellos en base a ecuaciones de Navier Stokes que dan los fundamentos principales sobre continuidad y momento. Para los valores de transporte se usaron solucionadores en OpenFoam con el método RASS que se usa exclusivamente para flujos turbulentos. Para visualizar los resultados fue necesario utilizar un software de post-procesamiento en este caso ParaView, en el cual fue posible observar la dinámica del sistema con relación a las dos variables que se eligieron para el análisis. Con respecto al parámetro de velocidad (u) y tomando en cuenta al bajo caudal de ingreso, los cortocircuitos fueron más evidentes durante los primeros minutos de llenado de la etapa 1, y posteriormente fue tomando un aspecto menos turbulento y con menos presencia de vórtices. Así mismo, en relación al parámetro de paso del agua (alpha_{water}), se tuvo como resultado un tiempo de llenado lento en las etapas 2 y 3, afectando así directamente al Oxígeno disuelto presente en el agua residual y a la vez reduciendo la eficiencia del tratamiento. Se concluyó que el diseño del sistema está sobre dimensionado para las condiciones del campus Salache, ya que fue evidente que el caudal era insuficiente para cumplir con las expectativas que se plantearon durante el diseño y construcción del sistema de descomposición.

Palabras clave: anaeróbico, CFD, desnitrificación, materia orgánica, modelaje ASM1.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES FACULTY**

THEME: "ANALYSIS AND SIMULATION OF THE HYDRAULIC BEHAVIOR OF THE ANAEROBIC DECOMPOSITION SYSTEM THROUGH OF COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS OF THE SALACHE CAMPUS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI, LATACUNGA CANTON, COTOPAXI PROVINCE, PERIOD 2022".

AUTHORS: Caiza Quispe Yajaira Katerine
Zambrano Cárdenas Julio Bladimir

ABSTRACT

In the present research project, a general diagnosis of the system used by the Technical University of Cotopaxi to treat wastewater from the Salache campus was carried out, for this reason, the main objective was to simulate the hydraulic behavior through a computational fluid model (CFD) in the anaerobic decomposition system of the campus. Regarding to the methodology applied to perform the analysis, it was necessary to apply computational fluid modeling methods where pre-processing, processing and post-processing techniques are applied (SALOME, OpenFoam and ParaView software). For which it was also necessary to obtain information on the variables that influence the modeling, such as the flow rate into the system (Q), of the values dissolved oxygen (DO) and chemical oxygen demand (COD) values. These last two values were obtained by laboratory analysis, and in the field the inflow was obtained using the volumetric method directly in a check box near the sanitation system, taking values every hour for eight hours in a day and three days in a week, thus obtaining values of instantaneous flow delivered and average flow. Subsequently, for the modeling and design of the meshes of each of the stages of the system, Salome software was used, for which the data and dimensioning obtained from the plans and the technical report were of vital importance for this process. Following this, for the computational simulation of the fluid in OpenFoam, default values were used, most of them based on Navier Stokes equations that give the main fundamentals on continuity and momentum. For the transport values we used solvers in OpenFoam with the RASS method which is used exclusively for turbulent flows. To visualize the results it was necessary to use a post-processing software, in this case ParaView, in which it was possible to observe the dynamics of the system in relation to the two variables chosen for the analysis. With respect to the velocity parameter (u) and taking into account the low inlet flow rate, the short circuits were more evident during the first minutes of filling stage 1, and later it was taking a less turbulent aspect and with less presence of vortices. Likewise, in relation to the water passage parameter (alphawater), the result was a slow filling time in stages 2 and 3, thus directly affecting the dissolved oxygen present in the wastewater and at the same time reducing the efficiency of the treatment. It was concluded that the system design was oversized for the conditions of the Salache campus, since it was evident that the flow rate was insufficient to meet the expectations that were raised during the design and construction of the decomposition system.

Keywords: Anaerobic, CFD, Denitrification, Organic matter, ASM1 modeling.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	v
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vii
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
DEDICATORIA	xi
DEDICATORIA.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	3
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
5. OBJETIVOS	4
5.1. Objetivo General.....	4
5.2. Objetivo Específico.....	4
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	6
7.1. Contaminación hídrica	6
7.2. Calidad de agua	6
7.3. Definición de aguas residuales.....	6
7.4. Características de las aguas residuales.	7
7.4.1. Características físicas.....	7
7.4.2. Características químicas.....	8

7.4.3.	Características biológicas.....	12
7.5.	Tratamiento de aguas residuales	13
7.5.1.	Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales.	13
7.6.	Sistemas Anaeróbicos	15
7.7.	Simulación CFD	16
7.8.	Marco legal	16
7.8.1.	Constitución de la Republica del Ecuador.....	16
7.8.2.	Código Orgánico Integral Penal	17
7.8.3.	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	18
7.8.4.	Ley Orgánica del Sistema Nacional de Salud.....	18
7.8.5.	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.	19
7.8.6.	Ley de Gestión Ambiental	20
7.8.7.	Plan Nacional del Buen Vivir.....	20
7.8.8.	Reglamento de Aplicación de la Ley de Aguas (Publicado en el Registro Oficial EE-1 del 20 de marzo del 2003).....	20
7.8.9.	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)	21
8.	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.	21
9.	METODOLOGÍAS.....	21
9.1.	Área de estudio.....	21
9.1.2.	Investigación Bibliográfica.	24
9.2.	Fase técnica	24
9.2.1.	Aforo de caudal.....	24
9.2.2.	Análisis DQO.....	25
9.2.3.	Análisis OD.....	26
9.2.4.	Modelado ASM1.....	26
9.3.	Técnica experimental	29
9.4.	Métodos	29
9.4.1.	Método Inductivo	29
9.4.2.	Método Deductivo	29
9.4.3.	Método Analítico.....	29
9.4.4.	Herramienta para análisis de resultados	30

9.4.5.	Salome	31
9.4.6.	OpenFOAM	32
9.4.7.	ParaView	34
10.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	34
10.1.	Diagrama unifilar de la vista superior del SDA	34
10.2.	Visita in-situ	34
10.3.	Aforo del Caudal	36
10.4.	Modelado computacional.	37
10.5.	Simulaciones CFD	39
10.6.	Resultados del método ASM1.	43
11.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	46
11.1.	Impacto técnico:	46
11.2.	Impacto ambiental:	46
11.3.	Impacto económico:.....	46
11.4.	Impactos sociales	46
12.	PRESUPUESTO.....	47
13.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
14.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
15.	ANEXOS	57
15.1.	Anexo No. 1. Planos del diseño del SDA.	57
15.2.	Anexo No. 2. Visita in-situ del área de estudio.....	59
15.3.	Anexo No. 3. Toma de caudal.	60
15.4.	Anexo No. 4. Tomo de muestra y resultado de OD.....	61
15.5.	Anexo No. 5. Toma de muestra y resultados de DQO.....	62
15.6.	Anexo No. 6. Modelado del sistema de descomposición anaerobia	63
15.7.	Anexo No. 7. Características del diseño de los mallados en Salome	63
15.8.	Anexo No. 8. Matriz para la aplicación del modelado ASM1.....	73
15.9.	Anexo No. 9. Variables orgánicas (Ss y Xs) para el modelo ASM1.	74
15.10.	Anexo No. 10. Memoria técnica	75
15.11.	Anexo No. 11. Aval del Traductor	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto.....	3
Tabla 2. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados.....	5
Tabla 3. Instrucciones para la toma y preservación de la muestra	25
Tabla 4. Variables de estado del modelo ASM1	26
Tabla 5. Estructura de las carpetas de OpenFoam.....	33
Tabla 6. Cálculo del caudal promedio	37
Tabla 7. Presupuesto para la elaboración del proyecto	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Niveles de tratamiento de aguas residuales	13
Figura 2. Mapa de ubicación del campus Salache	23
Figura 3. Componentes del modelo ASM1	27
Figura 4. Procesos del modelo ASM1	28
Figura 5. Fracciones de DQO de los lodos activados.	29
Figura 6. Arquitectura del software Salome.....	32
Figura 7. Diagrama unifilar del sistema de descomposición anaerobia	34
Figura 8. Etapas del Sistema de Digestión Anaerobia.	35
Figura 9. Revisión del tanque séptico.....	35
Figura 10. Zona de descarga del agua tratada	36
Figura 11. Malla del tanque de distribución.....	38
Figura 12. Malla del Tanque séptico.	38
Figura 13. Malla del filtro de flujo ascendente.....	38
Figura 14. Comportamiento del fluido por el tanque de distribución.	40
Figura 15. Comportamiento de la velocidad de paso por el tanque de distribución.	40
Figura 16. Comportamiento del fluido en el tanque séptico.....	41
Figura 17. Comportamiento de la velocidad de paso por el tanque séptico.....	42
Figura 18. Comportamiento del fluido por el filtro de flujo ascendente.	42
Figura 19. Comportamiento de la velocidad de paso en el filtro de flujo ascendente	43
Figura 20. Variables orgánicas para el modelo ASM1	43
Figura 21. Tiempo de asimilación de sustrato rápidamente biodegradable.	45
Figura 22. Tiempo de asimilación el sustrato lentamente biodegradable.	45

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Análisis y simulación del comportamiento hidráulico del sistema de descomposición anaeróbica mediante dinámica computacional de fluidos del campus Salache de la Universidad Técnica de Cotopaxi, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, periodo 2022”

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. José Luis Ágreda Oña.

Estudiantes: Srta. Caiza Quispe Yajaira Katherine - Sr. Zambrano Cárdenas Julio Bladimir

LECTOR 1: Msc. Vladimir Ortiz

LECTOR 2: Msc. Matius Mendoza

LECTOR 3: Msc. Joseline Ruiz.

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 de la Carrera:

Manejo y conservación del recurso hídrico.

Línea de Vinculación de la Facultad:

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

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En Ecuador el interés por la conservación del medio ambiente ha sido en aumento, por lo que una de las medidas que se ha tomado ha sido la implementación de Leyes, Ordenanzas y acuerdos que permitan que las personas, empresas, fabricas, instituciones educativas y demás se sometan a la regulación de sus descargas líquidas, sólidas y gaseosas.

En la actualidad, se convirtió en una necesidad tratar las aguas contaminadas desechadas por el uso diario en el consumo humano, esto debido a dos factores, prevenir la contaminación de afluentes y ríos, a los que regularmente se les cargan todas estas descargas de desechos líquidos, contaminados mayormente, por metales pesados como por ejemplo, el Cadmio (Cd), el Sodio (Na) y el Arsénico (As) así como material biológico y desechos sólidos que acrecientan el problema; o también, para ser reciclada para un nuevo uso. El consumismo y la actividad diaria dependen principalmente del uso y consumo del agua (H₂O), lo que evidentemente genera un consumo excesivo y, por ende, desperdicio. Esto ha conducido a la sociedad a buscar maneras para mitigar el impacto negativo que generan los vertimientos de aguas y efluentes contaminados (Moreno Yate & Hernández Marín, 2021).

Matcalf & Eddie (1995), indica que varios autores sostienen que el objetivo fundamental del tratamiento de la AR es proteger la salud, promover el bienestar de las personas y proteger el medio ambiente. Para otros autores, el objetivo es modificar las características del agua para que el efluente tratado cumpla con los requisitos establecidos por la legislación, sea vertido en un receptor sin causar impactos adversos sobre el ecosistema o en otras Actividades.

Debido al crecimiento de la población universitaria en el campus de Salache y la necesidad de tratamiento de aguas residuales, la universidad se vio en la necesidad de diseñar un sistema de descomposición anaeróbica para el tratamiento de aguas residuales, siendo una opción muy práctica de uso ya que representan un bajo costo, siendo de gran beneficio para la calidad de vida de la población.

Sin embargo, debido a aspectos financieros, desconocimiento o falta de reconocimiento de tecnologías alternativas de bajo costo, no se optó un correcto funcionamiento, razón por la cual esta investigación se realiza con el propósito de analizar las condiciones del sistema con el que cuenta la planta y su funcionalidad.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 1.

Beneficiarios del Proyecto.

BENEFICIARIOS DIRETOS		BENEFICIARIOS INDIRECTOS
Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Ambiental	661	Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales
Docentes	73	
Personal Administrativo	10	
Personas de Servicio CEASA	15	
Total:	759	

Nota: Datos tomados de la Universidad Técnica de Cotopaxi (2022).

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La contaminación del agua por descargas residuales es una preocupación mundial, las principales causas de la contaminación se deben a las altas tasas de crecimiento de la población que no cuentan con una red adecuada para la recolección de agua desgastada, constituyendo un peligro que amenaza a la humanidad y a los seres vivos.

La huella ecológica generada por los humanos debido a sus diversas operaciones tanto domésticas como industriales a lo largo del planeta, ha permitido poner en evidencia la relación que existe entre la contaminación del medio ambiente y la afectación de la salud en los seres humanos. Siendo, el vertido directo de aguas residuales sin tratar al medio ambiente, uno de los principales focos de peligro debido a la cantidad de microorganismos que se encuentran contenidos en dichas aguas (Bofill-Mas et al., 2005).

Actualmente, los malos manejos de las aguas residuales vienen causando diversas problemáticas ambientales y sociales que afectan a la población en general, ya que la contaminación de los afluentes es una situación de alto impacto de carácter generalizado.

Para mitigar este tipo de realidades, es muy importante el buen manejo del agua usada diariamente para el beneficio de la población en general, a través de la creación de sistemas de reducción del impacto que ayuden a disminuir la huella que genera el verter aguas residuales domésticas sin su respectivo tratamiento y en espacios no adecuados o aptos para estas disposiciones.

Por estas razones, hace aproximadamente cuatro años, en el campus Salache se diseñó y construyó un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante degradación anaeróbica de materia orgánica, de esta manera pretendiendo reducir el impacto ambiental, principalmente a los cauces de río aledaños al campus.

Pero en el transcurso de estos cuatro años en que el sistema de degradación anaeróbica (SDA) ha estado presente en el campus, no han existido pruebas de su funcionalidad o de la eficiencia del tratamiento de dicho sistema. Dado de que la población estudiantil y la infraestructura del campus ha ido en aumento. Por esta razón ya existía una necesidad de aclarar estas dudas y evaluar su funcionalidad.

Por ello cabe mencionar que, entre los problemas más relevantes que se pueden presentar en estos sistemas, están principalmente las fallas en alguna de las etapas del tratamiento por falta de mantenimiento, también un tiempo de retención hídrica (TRH) demasiado bajo a demasiado elevado que afecta directamente a la presencia de oxígeno disuelto (OD), otra de las condiciones que puede afectar al sistema, es si este tiene un caudal (Q) que no sea constate, o sea, que no esté ecualizado. Estas dos últimas condiciones se hacen presente cuando el sistema ha sobrepasado sus capacidades o cuenta con un diseño deficiente.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Simular a través de un modelo computacional de fluidos, el comportamiento hidráulico de un sistema de descomposición anaeróbico del campus Salache, mediante el cual se obtendrá información relevante para una posterior optimización del sistema.

5.2. Objetivo Específico

- Caracterizar los parámetros del efluente del sistema de tratamiento y su geometría mediante software y análisis de laboratorio.

- Elaborar un modelo y malla tridimensional de las unidades operacionales del sistema de tratamiento para la simulación computacional del comportamiento hidráulico del sistema.
- Analizar los resultados de la investigación para establecer estrategias técnicas de mejora en el sistema.

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

Tabla 2.

Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados.

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
O.1.- Caracterizar los parámetros del efluente del sistema de tratamiento y su geometría mediante software y análisis de laboratorio.	Investigación bibliográfica sobre estudios realizados sobre CFD. Toma de muestras Análisis de laboratorio	Conocimiento sobre el funcionamiento de software. Resultados de laboratorio de las muestras	Comparación entre artículos científicos que avalen los resultados obtenidos
O.2.- Elaborar un modelo y malla tridimensional de las unidades operacionales del sistema de tratamiento para la simulación computacional del comportamiento hidráulico del sistema.	Diseño del tanque séptico y filtro de flujo ascendente mediante el software Salome y elaboración de malla tridimensional. Añadir las unidades operacionales del sistema mediante el software OpenFoam. Corrida de simulación de fluidos mediante el software Para View.	Uso de guías de aplicación de los sistemas CFD para el diseño y análisis de sistemas de tratamiento de aguas residuales	Obtener el modelo idóneo del sistema en base a las unidades operacionales actuales.
O.3.- Analizar los resultados de la investigación para establecer estrategias	Estudio del análisis y las simulaciones establecidas Recopilación de los resultados obtenidos	Recomendaciones para mejorar el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.	Análisis e interpretación de resultados.

técnicas de mejora de los análisis de
en el sistema. laboratorio

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Contaminación hídrica

Es la presencia de sustancias químicas, tóxicas o en el agua, que alteran sus propiedades naturales y las inutilizan, es decir, no son aptas para el consumo o pueden afectar al suelo y otras aguas.(Uriarte, 2021).

Según Roldán (2020) menciona en el tiempo actual, diversas actividades, así como fenómenos naturales, causan contaminación en diferentes rincones del mundo.

Las consecuencias y los efectos de tal contaminación ponen en peligro la supervivencia de muchos seres vivos, tanto de nuestra especie como de todos aquellos animales, plantas, microorganismos que necesitan agua para existir.

7.2. Calidad de agua

La calidad del agua se ve afectada por diversos factores como el uso del suelo, la producción industrial y agrícola, el tratamiento que se le aplica antes de su vertido en cuerpos de agua y la propia cantidad en los ríos los lagos. A nivel mundial, menos del 10 % del agua tratada en los países en desarrollo. Muchos países están en mejor situación con una cifra cercana al 20%, considerando ambos vertidos: urbanos e industriales. Esto sin embargo significa que la gran mayoría del líquido vertido en ríos, lagos o mares sin ningún tratamiento previo, provocando su contaminación y por lo tanto el agua disponible para su uso. (Senior, 2015).

7.3. Definición de aguas residuales

La Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) menciona que las aguas residuales son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por las actividades humanas y que, por su calidad, requieren un tratamiento previo antes de ser o vertidas a un agua natural, en el sentido de recargar el acuífero o vertido al alcantarillado. Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas o disueltas, las mismas que se pueden clasificar en:

- **Convencionales:** se refiere a solidos suspendidos y coloidales, materia orgánica, nutrientes y microorganismos.

- **No convencionales:** refractarios, volátiles, surfactantes, metales, sólidos y disueltos.
- **Emergentes:** de naturaleza química como medicinas, detergentes y antibióticos, etc.

7.4. Características de las aguas residuales.

Las sustancias residuales que aparecen durante la purificación pueden estar presentes en forma disuelta, en suspensión en un denominado intermedio coloidal, pueden ser de naturaleza orgánico o mineral.

En el caso de los minerales, estas sustancias provienen de los minerales que formaban parte integrante del agua suministrada; en el caso de las sustancias orgánicas, confieren propiedades indeseables al líquido residual cuando los microorganismos asociados a las aguas, alimentándose de materia orgánica muerta, atacan a estos orgánicos, los destruyen o los estabilizan parcialmente por una de descomposiciones, con aparición de malos olores y apariencia desagradable (Rodríguez, 2017).

7.4.1. Características físicas.

Está ligado a la calidad del agua doméstica y está generalmente ligado al aspecto del agua, el color o su turbidez, su temperatura y en particular el sabor y el olor (Granja et al., 2013).

7.4.1.1 Temperatura.

La temperatura es un indicador de cuya calidad influye el comportamiento de otros indicadores de la calidad de los recursos hídricos, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables físico-químicas (Gesta Agua, 2020).

7.4.1.2 Turbidez.

La turbidez del agua es debida a la presencia de sólidos en suspensión que reducen su transparencia. La Fundación Nacional de Salud (2013), nos dice que también puede ser causado por la presencia de algas, plancton, materia orgánica y muchas otras sustancias además del zinc, hierro, manganeso y el resultado del proceso natural de erosión o desechos industriales domésticos.

7.4.1.3 Color.

El agua residual suele tener un color grisáceo. Sin embargo, a medida que aumenta el tiempo de transporte en los sistemas de alcantarillado y se desarrollan condiciones más cercanas a las anaeróbicas, el color de las aguas residuales cambia de gris a gris oscuro y finalmente se vuelve

negro (Bravo et al., 2010).

7.4.1.4 Sólidos.

Analíticamente, los sólidos totales se definen como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103° y 105°C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en mg/lit y constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro (Bravo et al., 2010).

7.4.1.5 Olor.

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El olor más peculiar del agua residual séptica es debido a la presencia de sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamientos (Fanola et al., 2008).

7.4.2. Características químicas.

7.4.2.1 Materia orgánica.

La materia orgánica del agua está compuesta por miles de componentes: partículas macroscópicas, coloides o macromoléculas disueltas. La caracterización de la materia orgánica disuelta en agua residual es fundamental para establecer sus condiciones y tasas de contaminación del agua. (Rivas et al., 2015).

7.4.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno.

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO5). Su determinación está ligada a la medida del oxígeno consumido por los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (R. García, 2014).

7.4.2.3 Demanda química de oxígeno.

Esta es la necesidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica en el agua, este es un problema de gran importancia que exige una solución inminente ya que afecta claramente los recursos naturales esto. Es cada vez más común que en las aguas residuales domésticas e industriales, encontremos una gran cantidad de contaminantes que no pueden ser tratados con los métodos convencionales conocidos, los cuales requieren de una tecnología específica para su tratamiento. (López, 2018).

7.4.2.4 Carbono orgánico total.

Es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos no volátiles. Es el material obtenido de la descomposición de las plantas, el crecimiento bacteriano y las actividades metabólicas de los organismos vivos, o de compuestos químicos (Godoy, 2021).

7.4.2.5 Demanda total de oxígeno.

Indica la cantidad de O₂ requerido para la oxidación completa de los contaminantes de un vertido. Además de las especies carbonadas, compuestos de nitrógeno y azufre con carácter reductor, como NH₃ y H₂S, también contribuyen a la DTO (Harris, 2004).

7.4.2.6 Demanda teórica de oxígeno.

Según (Lecca et al., 2014) menciona que la Demanda teórica de oxígeno es la cuantificación estequiométrica del oxígeno requerido para oxidar completamente un determinado compuesto a partir de su fórmula química. DTeO es la cantidad teórica de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de un desecho hasta dióxido de carbono y agua.

7.4.2.7 Potencial Hidrógeno (PH).

La actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas a este respecto. Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales. Aparte del efecto directo, el pH tiene un efecto indirecto, influenciando la toxicidad de algunas sustancias, especialmente de aquellas en las que, la toxicidad depende del grado de disociación (Pérez et al, 2005).

7.4.2.8 Cloruros.

Son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es

variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250mg/l de NaCl. Un alto contenido de cloruros en el agua para uso industrial, puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras (Universidad Continental, 2019).

7.4.2.9 Alcalinidad.

La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH producido por la adición de ácidos (R. García, 2014).

7.4.2.10 Nitrógeno.

El nitrógeno puede encontrarse disuelto en el agua en diversos estados de oxidación: nitrógeno amoniacal (NH_4^+ - NH_3), nitrato (NO_3^-) o nitrito (NO_2^-). No obstante, el más habitual es estado de oxidación del nitrógeno amoniacal que también corresponde al estado de oxidación del nitrógeno orgánico. La mayor parte del nitrógeno orgánico se hidroliza a nitrógeno amoniacal (Carrera, 2017).

7.4.2.11 Fósforo.

Se puede encontrar en tres formas distintas: fósforo orgánico (especies particulada), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas). La eliminación de este nutriente también se relaciona con el control de la eutrofización, ya que el fósforo es el nutriente limitante en la mayoría de los sistemas de agua fresca (Oyarzo, 2007).

7.4.2.12 Azufre.

Se puede encontrar en tres formas distintas: fósforo orgánico (especies particulada), ortofosfatos y polifosfatos (especies disueltas). La eliminación de este nutriente también se relaciona con el control de la eutrofización, ya que el fósforo es el nutriente limitante en la mayoría de los sistemas de agua fresca (Oyarzo, 2007).

7.4.2.13 Compuestos tóxicos.

Algunos componentes de las aguas residuales son muy tóxicos para los organismos y microorganismos, y por ello, son de gran importancia en cuanto al vertido y tratamiento. Si se hace un vertido indiscriminado sobre masas de agua receptoras, pueden destruir la biota acuática o acumularse en ella, afectando a la cadena alimentaria y pudiendo llegar al hombre.

Su efecto sobre las plantas de tratamiento biológico puede ser drástico, al morir por contaminación los microorganismos que lo realizan, y paralizarse, por tanto, los procesos (Beltran, 2020).

7.4.2.14 Metales pesados.

Estas sustancias tóxicas tienden a persistir indefinidamente en el medio ambiente, comprometiendo el bienestar y equilibrio no solo de la fauna y la flora existente en dicho ecosistema sino también la salud de las personas residentes en las comunidades aledañas, mediante su acumulación e ingreso a la cadena trófica (García Villegas et al., 2011).

Algunos de los siguientes se pueden encontrar en las aguas residuales confiriéndoles un carácter tóxico: cobre, cromo, boro, plomo (causante de saturnismo y acumulación en moluscos), plata (puede producir argüiria), arsénico (melanodermia del pie y acumulación en mariscos), antimonio (efecto cancerígeno), bario (efectos sobre el corazón, vasos sanguíneos y nervios), flúor (fluorosis) y selenio produce cáncer y caries). Algunos metales como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, se encuentran como elementos trazas en muchas aguas, y son necesarios para la vida biológica. Pero cuando alcanzan altas concentraciones, pueden resultar tóxicos, inhabilitando el agua para ciertos usos y acumulándose en organismos acuáticos. El cadmio se acumula y produce anomalías en hígado y riñón (Beltran, 2020).

7.4.2.15 Oxígenos disueltos.

El oxígeno disuelto es un indicador usado para evaluar la salud de un sistema acuático, debido a que la hipoxia y anoxia tienen un efecto significativo ecológico (Breitburg, 2002).

Es necesario para la vida de todos los organismos aerobios. Por ello, el crecimiento incontrolado de organismos y microorganismos en el seno de las aguas, puede conducir a su agotamiento. La presencia de oxígeno evita el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en el agua. Por ello, sus niveles son indicativos del nivel de calidad de las aguas (Beltran, 2020).

7.4.2.16 Sulfuro de hidrógeno.

Uno de los compuestos que contribuye en gran medida a la generación de malos olores es el sulfuro de hidrógeno, que resulta como producto natural de la descomposición anaerobia de la materia orgánica, muy frecuentemente encontrado en drenajes y en plantas de tratamiento de aguas residuales y de lodos de desecho (Mancilla, 2014).

Se forma por descomposición anaerobia de la materia orgánica azufrada, o por reducción de sulfatos y sulfitos minerales. Es un gas incoloro, inflamable, con un olor característico muy desagradable. Si el agua residual contiene hierro, se combina con él, dando sulfuro de hierro que origina un color negro en el agua (Beltran, 2020).

7.4.2.17 Metano.

Es el principal subproducto de la degradación anaeróbica de la materia orgánica en las aguas residuales. Es un hidrocarburo incoloro e inodoro de alto valor como combustible. Aunque no suele encontrarse en grandes niveles, debido a que cantidades muy pequeñas de oxígeno impiden su formación, es necesario tener precaución ante el gran peligro de explosión que supone su alta combustibilidad. En aquellos lugares de las conducciones y alcantarillas donde pueda producirse, es necesaria una ventilación adecuada (Beltran, 2020).

7.4.3. Características biológicas.

Las características biológicas “incluyen el conocimiento de los principales microorganismos presentes en aguas superficiales y aguas residuales, así como los que intervienen en el tratamiento y los organismos utilizados como indicadores de contaminación. Los grupos de microorganismos principales que se encuentran tanto en aguas superficiales como residuales se pueden clasificar en protistas, plantas y animales” (Buitrago, 2017).

Dependiendo de su composición y concentración, las aguas residuales pueden contener gran cantidad de organismos. Para que estos organismos se desarrollen en el medio dependen de la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere unos valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse (Beltran, 2020).

7.4.3.1 Bacterias.

Se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares los *Escherichia coli*, organismo común de heces humanas, miden de orden de 0.5 micras de ancho por dos micras de largo. Las bacterias trabajan en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. Los coliformes se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos (Arocutipa Lorenzo, 2013).

Pueden ser de origen fecal o bacteriano involucrados en el proceso de biodegradación, tanto en naturaleza como en plantas de tratamiento de aguas residuales. Las bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona

elimina diariamente de 100.000 a 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias (Beltran, 2020).

7.5. Tratamiento de aguas residuales

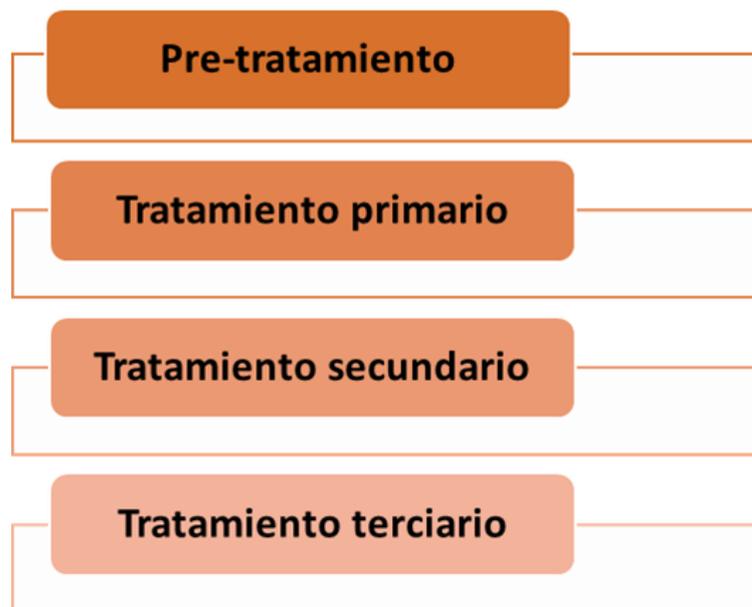
Según OEFA (2014) las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Beltran, 2020).

El proceso habitual de tratamiento de aguas residuales domésticas se dividirá en las siguientes etapas: Pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

7.5.1. Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales.

Figura 1.

Niveles de tratamiento de aguas residuales.



7.5.1.1 Pre-tratamiento.

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual, se pretende con el pre-tratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las maquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora (Moreno, 2018).

7.5.1.1.1. Desbaste.

Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja. De esta forma, el desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes de la reja en:

- Desbaste fino: con separación libre entre barrotes de 10-25mm.
- Desbaste grueso: con separación libre entre barrotes de 50-100mm.

En cuanto a los barrotes, estos han de tener unos espesores mínimos según sea:

- Reja de gruesos: entre 12-25mm.
- Reja de finos: entre 16-12mm.

También tenemos que distinguir entre los tipos de limpieza de reja igual para finos que para gruesos: rejas limpieza manual, rejas limpieza automática (Beltran, 2020).

7.5.1.1.2. Desaceitado y desengrasado. El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores (Moreno, 2018).

7.5.1.1.3. Desarenador.

La separación de los sólidos por gravedad se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos del líquido que es la fase continua y el de las partículas, las cuales constituyen la fase discreta. Para que se produzca la separación entre el líquido y los sólidos pueden seguirse dos caminos: aquellas partículas que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante. Se puede pues utilizar la sedimentación o la flotación para separar del agua residual los sólidos en suspensión presentes en ella (Moreno, 2018).

7.5.1.2 Tratamiento primario.

Los tratamientos primarios preparan las aguas residuales para su tratamiento biológico, eliminan ciertos contaminantes y reducen las variaciones del caudal y concentración de las aguas que llegan a la planta.

Esta etapa se encarga de la remoción de parte de los sólidos pesados (arenilla) que trabaja únicamente con las fuerzas de la gravedad, el tratamiento primario prosigue la reducción de sólidos disueltos, turbidez y parte de la materia orgánica y sedimentar partículas más finas que vienen con el agua (polvo y tierra), por otro lado, también cumple la función de enviar un caudal

de agua constante a las demás unidades, es posible además la eliminación de una pequeña fracción de contaminación bacteriológica (Lapeña, 1989).

7.5.1.2.1. Sedimentador.

La separación de los sólidos por gravedad se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos del líquido que es la fase continua y el de las partículas, las cuales constituyen la fase discreta. Para que se produzca la separación entre el líquido y los sólidos pueden seguirse dos caminos: aquellas partículas que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante (Moreno, 2018).

7.5.1.2.2. Coagulación y floculación.

Los procesos de coagulación-floculación facilitan el retiro de los sólidos suspendidos y de las partículas coloidales. Algunas veces existe la confusión entre estas dos por el hecho que frecuentemente ambas operaciones se realizan de forma simultánea. En ese sentido, se define a la coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración (Moreno, 2018).

7.5.1.3 Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario más común es un tratamiento biológico anaeróbico seguido de una decantación secundaria en un tratamiento biológico, las bacterias y otros microorganismos destruyen y metabolizan la materia orgánica solubles y coloidales, la DQO y la DBO a valores de 100 mg/l la velocidad de degradación depende de que se hallen presente los microorganismos adecuados (Lapeña, 1989).

7.5.1.3.1. Tratamiento terciario.

Para Rigola (1999), los tratamientos terciarios completan el tratamiento de las aguas residuales cuando se necesita una depuración mayor de la conseguida con los tratamientos primarios y secundarios. La filtración se utiliza para eliminar los sólidos que puedan haber sido arrastrados a la salida del decantador secundario, además de sus aplicaciones en tratamientos especiales. Como medio de filtración se puede emplear arena, grava, antracita, otro material adecuado, o una combinación de ellos (Lapeña, 1989).

7.6. Sistemas Anaeróbicos

La aplicación de sistemas anaeróbicos en el tratamiento de aguas residuales, resulta ser una

opción muy conveniente para usar, puesto que representan un bajo costo tanto en operación como en producción, a su vez este método produce biogás, el mismo que puede ser usado como fuente de energía disponible, lo que la convierte en una opción amigable para el planeta. Este sistema requiere de temperaturas que oscilan entre los 25 y 38 °C, lo que limita la ejecución de este recurso para áreas de climas templados, contrastando con lo útil y eficiente que resulta en climas tropicales o subtropicales (García et al., 2010).

7.7. Simulación CFD

Las simulaciones CFD permiten realizar criterios de diseño previos a la cimentación de instalaciones con el fin de compararlos con la medición de las construcciones reales para evaluar los proyectos sin derroche de dinero en representación de prototipos (Valdez, Tula, Pelissero, & Haim, 2015).

El CFD es una técnica de bajo costo y alta velocidad para evaluar sistemas de ingeniería que son difíciles de simular en un laboratorio o en condiciones de campo. CFD es capaz de producir un prototipo virtual y un buen ejemplo de esto es su aplicación al diseño de clarificadores secundarios compactos y más eficientes para las plantas de lodos activados tradicionales (Hispagua, 2010). Este modelo computacional, tiene algunos inconvenientes al comprender los principios subyacentes, como la forma en que se construyen los códigos, los conceptos de turbulencia y su modelado, los requisitos de los datos de entrada, la precisión e interpretación de los datos de salida y de los recursos computacionales necesarios (AquaEnviro, 2015).

7.8. Marco legal

7.8.1. Constitución de la Republica del Ecuador

Según la Constitución de la Republica del Ecuador, indica en el Título VII: Régimen del buen vivir, Capitulo Segundo: Biodiversidad y recursos naturales,

Art. 14. “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*...”.

Art. 15. “El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua”.

Art. 71. “La naturaleza.... tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y proceso evolutivos...”.

Art. 95.- La constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizara un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
3. El Estado garantizará la participación activa y permanentes de las personas, comunes, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.
4. en caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, estas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Art. 276. “Establece que el régimen de desarrollo tendrá entre sus objetivos el de: “Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural...””.

Art. 281. “La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente.....”.

Art. 395. La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:” Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales...”

Art. 415. “... Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos...”.

7.8.2. Código Orgánico Integral Penal

Artículo 251.- Delitos contra el agua. - La persona que, contraviniendo la normativa vigente, contamine, desee o altere los cuerpos de agua, vertientes, fuentes, caudales ecológicos, aguas naturales afloradas o subterráneas de las cuencas hidrográficas y en general los recursos hidrobiológicos o realice descargas en el mar provocando daños graves, será sancionada con una pena privativa de libertad de tres a cinco años.

Artículo 256.- Definiciones y normas de la Autoridad Ambiental Nacional. - La Autoridad Ambiental Nacional determinará para cada delito contra el ambiente y la naturaleza las definiciones técnicas y alcances de daño grave. Así también establecerá las normas relacionadas con el derecho de restauración, la identificación, ecosistemas frágiles y las listas de las especies de flora y fauna silvestres de especies amenazadas, en peligro de extinción y migratorias.

7.8.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Art. 136.- Ejercicio de las competencias de gestión ambiental.- De acuerdo con lo dispuesto en la Constitución, el ejercicio de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, que tendrá a su cargo la defensoría del ambiente y la naturaleza a través de la gestión concurrente y subsidiaria de las competencias de este sector, con sujeción a las políticas, regulaciones técnicas y control de la autoridad ambiental nacional, de conformidad con lo dispuesto en la ley.

Art. 209.- Destino. - El destino de estas transferencias estará orientado al desarrollo humano y protección de la naturaleza y el ambiente, sin que esto implique la evasión de las responsabilidades de prevención, mitigación y reparación de los daños ambientales y sociales, en concordancia con las políticas, y normatividad ambiental; además de las sanciones correspondientes.

Art. 431.- De la gestión integral del manejo ambiental. - Los gobiernos autónomos descentralizados de manera concurrente establecerán las normas para la gestión integral del ambiente y de los desechos contaminantes que comprende la prevención, control y sanción de actividades que afecten al mismo.

7.8.4. Ley Orgánica del Sistema Nacional de Salud

Capítulo II: De los desechos comunes, infecciones, especiales y de las radiaciones ionizantes y no ionizantes.

Art. 103.- Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias.

Los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, deben ser tratados técnicamente previo a su eliminación y el depósito final se realizará en los sitios especiales establecidos para el efecto por los municipios del país.

Para la eliminación de desechos domésticos se cumplirán las disposiciones establecidas para el efecto.

Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir estas disposiciones.

7.8.5. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

Artículo 18.- Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua.

l) Establecer mecanismos de coordinación y complementariedad con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en lo referente a la prestación de servicios públicos de riego y drenaje, agua potable, alcantarillado, saneamiento, depuración de aguas residuales y otros que establezca la ley.

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.

Del capítulo III: Derechos de la naturaleza, Art. 64.- Conservación del agua.

La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida.

El la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramientos y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, paramos, humedales y manglares;
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad:
- c) La preservación de la dinámica del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico:
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,
- e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

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.

7.8.6. Ley de Gestión Ambiental

La Ley de Gestión Ambiental establece que la Autoridad Ambiental Nacional la ejerce el Ministerio del Ambiente, instancia rectora, coordinadora y reguladora del sistema nacional descentralizado de Gestión Ambiental; sin perjuicio de las atribuciones que en el ámbito de sus competencias y acorde a las Leyes que las regulan, ejerzan otras instituciones del Estado.

7.8.7. Plan Nacional del Buen Vivir

Uno de los objetivos del Plan Nacional de Buen Vivir es el de mejorar la calidad de vida de la población y dentro de sus lineamientos se hace referencia a la necesidad de generar un bienestar social, desarrollando el acceso de servicios básicos como es la dotación de agua potable óptima para uso y consumo humano, conexiones domiciliarias, eliminación de excretas a través de un sistema de alcantarillado y un sistema de tratamiento de aguas residuales que son resultado de la actividad humana, procurando que se cumpla con la Normativa Ambiental vigente.

7.8.8. Reglamento de Aplicación de la Ley de Aguas (Publicado en el Registro Oficial EE-1 del 20 de marzo del 2003).

Este Reglamento establece los procedimientos y la forma de ejecutar las acciones relacionadas con el uso del recurso agua. Establece varias disposiciones legales relacionadas directamente con el recurso agua, las mismas que tienen relación con acciones que se deben ejecutar para evitar la contaminación del agua.

Art. 89: Para los efectos de aplicación del Art. 22 de la Ley de Aguas, se considerará como agua contaminada toda aquella que presente deterioro de sus características físicas, químicas o biológicas, debido a la influencia de cualquier elemento o materia sólida, líquida, gaseosa, radioactiva o cualquiera otra sustancia y que den por resultado la limitación parcial o total de ellas para el uso doméstico, industrial, agrícola, de pesca, recreativo y otros.

Art. 90: Para los fines de la Ley de Aguas, se considera “cambio nocivo” al que se produce por la influencia de contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos, por el depósito de materiales o cualquier otra acción susceptible de causar o incrementar el grado de deterioro del agua, modificando sus cualidades físicas, químicas o biológicas, y, además, por el perjuicio causado a corto o largo plazo, a los usos mencionados en el artículo anterior.

Art. 91: Todos los usuarios, incluyendo las municipalidades, entidades industriales y otros, están obligados a realizar el análisis periódico de sus aguas/efluentes, para determinar el grado

de contaminación. Si los análisis acusaren índices superiores a los límites determinados, el usuario causante queda obligado a efectuar el tratamiento correspondiente, sin perjuicio de las sanciones previstas en el artículo 77 de la Ley de Aguas.

7.8.9. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes:

Recurso agua, es una norma que tiene como objetivo la preservación y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua.

- a) Los límites permisibles, disposición y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado:
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

8. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.

¿Los resultados que se obtengan del modelamiento CFD de las diferentes etapas, permitirá proponer alternativas de mejoramiento en el sistema de descomposición anaeróbica implementado en el campus Salache?

A partir de los resultados que se obtengan del modelamiento CFD y del análisis de los mismos, se podrán plantear mejoras, tanto estructurales como en la eficiencia del tratamiento. Por consiguiente, asegurar un correcto tratamiento de las aguas residuales producidas en el campus y evitar así afectaciones a cuerpos de agua dulce cercanos.

9. METODOLOGÍAS

9.1. Área de estudio

La Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se encuentra ubicada al Suroeste de la provincia de Cotopaxi, en el Cantón Latacunga a 1.9 km de la E35 en el barrio Salache bajo en la parroquia Eloy Alfaro.

Altitud: entre los 2.683 y 4.563

Longitud: S 1°0' Y S 1°0'

Latitud: W 78°45' y W 78°30'

9.2. Fisiología

La fisiografía de CEASA corresponde al típico altiplano de la sierra y es dependiente de una amplia zona plana, la cual se extiende hacia el norte hasta las estribaciones del nudo de Tiopullo. Hacia el sur experimenta una débil pendiente, describiendo sinuosidades las que dan origen a diferentes niveles de terraza. Al occidente limita con las estribaciones de la colina Alpamalag (Laverde Mora, 2014).

9.2.1.1 Temperatura

La temperatura tomada de los datos de la estación RUMIPAMBA-SALCEDO M004, el sector presenta una temperatura media máxima multianual de 14,1° C. Se observa que no existe una mayor variación entre los promedios de cada mes (Laverde Mora, 2014).

9.2.1.2 Precipitación

Se registra una precipitación media anual de 621,3 mm, con un promedio mensual de 51,8mm. Los meses más lluviosos son de noviembre hasta mayo, mientras que los meses de menor precipitación son desde junio hasta octubre. La precipitación máxima que se aprecia en la zona corresponde al mes de abril de 94,3 mm y una mínima de 19,3 mm en el mes de agosto (Laverde Mora, 2014)

9.2.1.3 Humedad relativa

La humedad relativa multianual en la zona es de 76,4 %. La humedad relativa es la relación porcentual entre la humedad absoluta (peso en gramos del vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire) y la cantidad de vapor que contendría el metro cúbico de aire si estuviese saturado a cualquier temperatura (Laverde Mora, 2014).

9.2.1.4 Viento

Presenta los siguientes datos de velocidad media del viento en el periodo analizado. En el estudio se detalla información sobre la velocidad mayor observada. En el área de influencia los vientos que predominan provienen del norte al sureste, en tanto que los otros son irregulares. Durante el periodo 2006 – 2010 la velocidad media observada es de 4,7 km/h (Laverde Mora, 2014).

9.2.1.5 Uso de suelo

En esta zona de vida, el uso de la tierra está condicionado a la disponibilidad de riego, profundidad y contenido de materia orgánica del suelo y por supuesto a la pendiente.

9.2.1.6 Hidrología

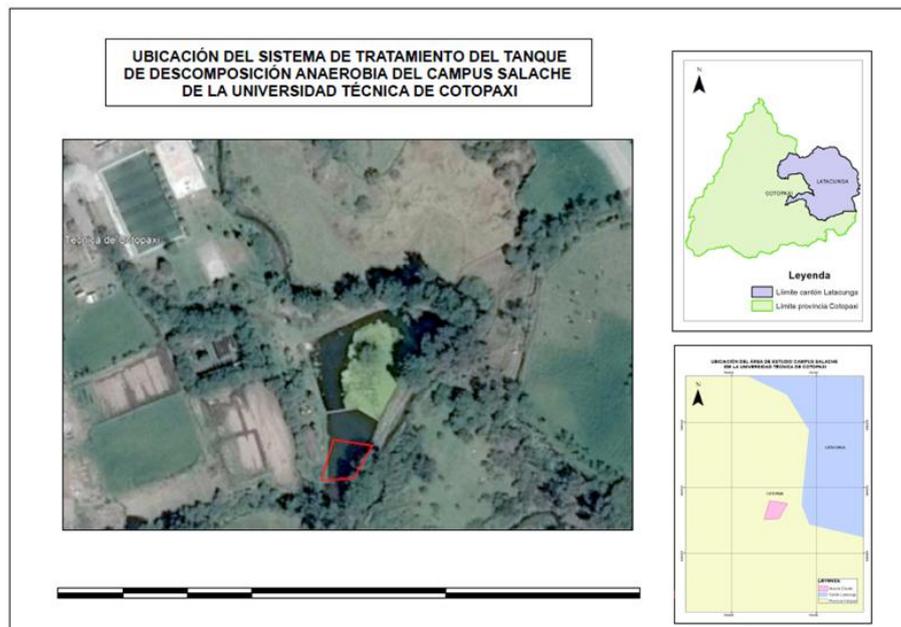
El predio del CEASA se encuentra en la microcuenca del río Salache - Isinche, que está incluida el para de drenaje natural de la subcuenca del río Cutuchi, que a su vez forma parte de la cuenca alta del río Pastaza. Esta área es parte de la cuenca del río Amazonas, vertiente del Océano Atlántico. A través de la brecha del Agoyán recibe esta zona, la influencia de las corrientes aéreas que caracterizan el amazónico. Por el predio también cruza el canal de riego Latacunga-Salcedo-Ambato (Benavides, 2013).

9.2.1.7 Suelos

En el campus existen dos tipos de suelo, en la parte baja el suelo franco areno arcilloso y en la parte alta limo arcilloso. Según (Benavides, 2013) los suelos de esta área se encuentran formados por un enorme depósito de lahares, procedentes del volcán Cotopaxi, integrado especialmente por bosques dentro de una matriz areno – arcillo. Según la tesis de Benavides (2013), estos se caracterizan por ser suelos de tipo profundos, medios y superficiales; las texturas van de franco – areno y hasta franco arcilloso. El pH varía de neutro a ligeramente alcalino. El contenido de materia orgánica va de bajo a medio (Laverde Mora, 2014)

Figura 2.

Mapa de ubicación del campus Salache.



En este proceso investigativo se aplicaron diferentes técnicas de investigación nos permitirá la ejecución adecuada de nuestros objetivos planteados.

Para cumplir con los demás objetivos planteados, se realizaron salidas de campo de manera regular con el fin obtener información del estado físico del SDA. Así lograr obtener datos relevantes que servirían para dar un mejor contraste de los resultados poniendo en perspectiva la situación actual de dicho sistema y su eficiencia.

9.2.2. Investigación Bibliográfica.

Esta investigación se utilizará para el análisis de la información recopilada en el apartado de fundamentación teórica, facilitando la identificación del problema de estudio y estableciendo conocimientos necesarios acerca de los diferentes modelos a aplicar y cada una de sus variables.

9.3. Fase técnica

Esta etapa consiste en visitas in-situ al área de estudio en donde se aplicará la técnica de observación directa para obtener información de las características físicas y estructurales del SDA del campus.

Aquí también se aplicarán técnicas de muestreo para obtener datos de importancia para llevar a cabo este estudio.

9.3.1. Aforo de caudal.

El estudio del caudal es muy importantes, definido como el volumen del fluido que atraviesa una sección recta de una conducción por unidad de tiempo. La unidad de caudal es el metro cubico por segundo (m^3/s) (Pérez et al., 2013).

La medida de caudal, que también se denomina aforo, puede desarrollarse de diferentes formas y su elección depende de la finalidad del seguimiento, de la facilidad de acceso o del tiempo disponible y, bien seguro, de las características de la superficie que se pretende medir (Agudelo, 2018).

Las características del sitio y las condiciones ambientales al momento de su realización también son fundamentales para definir cómo se realizará la medición de caudal en ese preciso momento. Para tener una mayor exactitud se deberá repetir la operación 5 veces y se tomará el promedio del tiempo obtenido. Es común utilizar la denominación Q para caudal como se ve en la ecuación (García Ortiz, 2019).

Ec 1.

$$Q = \frac{v}{t}$$

En donde:

Q = caudal

v = velocidad

t = tiempo

Dentro de los diferentes métodos el volumétrico se emplea por lo general para caudales muy pequeños, riachuelos, siendo el método más exacto y se requiere de un recipiente lo suficientemente grande para coleccionar el agua y que pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito.

9.3.2. Análisis DQO

Para obtener resultados más precisos y confiables del análisis DQO, la muestra se tomó siguiendo los protocolos y consideraciones de preservación expuestos por el laboratorio que fue designado para dicho análisis.

Tabla 3.

Instrucciones para la toma y preservación de la muestra.

Parámetro	Envase	Preservante	Instrucciones para la toma y preservación de muestras
DQO	100 ml P/VA	3 gotas de ácido sulfúrico	Para el análisis del DQO se toma la muestra en el envase de 100 ml, se deja un pequeño espacio (cuello del frasco) para colocar 3 gotas de ácido sulfúrico. Se coloca el ácido sulfúrico sobre la muestra, inmediatamente se cierra el frasco con la contratapa y tapa. Se mantiene con hielo las muestras hasta llegar al laboratorio.

Nota. Datos obtenidos del Laboratorio de Calidad de Agua y Sedimentos (2022).

Se realizó un muestreo manual del efluente más cercano al SDA mediante toma de una muestra simple y preservada siguiendo la cadena de custodia, con el fin de determinar sus características físico-químicas la muestra fue tomada en un recipiente de cristal ámbar, rotuladas, adición de preservante, en este caso ácido sulfúrico (H₂SO₄) ver figura. 7, empacadas en un contenedor refrigerado y enviadas al laboratorio para su respectivo análisis.

9.3.3. Análisis OD

Toda la vida acuática depende de la disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua. Mientras que los organismos terrestres viven en una atmósfera compuesta aproximadamente de un 20% de oxígeno, los organismos acuáticos sobreviven con una cantidad de oxígeno considerablemente menor. La solubilidad del oxígeno en agua dulce varía entre 14.6 mg.l-1 a 0°C hasta aproximadamente 7 mg/L a 35°C bajo una presión de 760 mmHg (García Ortiz, 2019).

La concentración de oxígeno disuelto en agua está determinada por la ley de Henry, que describe la relación de equilibrio entre la presión parcial de oxígeno atmosférico y la concentración de oxígeno en agua. Otros factores que influyen la concentración de oxígeno disuelto en agua son: la presión atmosférica (y por lo tanto la altitud sobre el nivel del mar), el contenido de sales en el agua, y la temperatura del agua (Sawyer et al., 2003).

9.3.4. Modelado ASMI.

Este modelado está representado de una forma general y simplificada con la capacidad de predicciones realistas de sistemas que involucran a la oxidación de materia carbonosa, nitrificación y desnitrificación. Las variables de estado necesarias para el modelado ASMI se observan en la **Tabla 4**.

Tabla 4.

Variables de estado del modelo ASMI.

Variables de estado del ASMI		
S_i	Orgánicos solubles inertes	g DQO/ m^3
S_s	Substrato soluble rápidamente biodegradable	g DQO/ m^3
X_i	Sustrato orgánico inerte particulado	g DQO/ m^3
X_s	Sustrato particulado lentamente biodegradable	g DQO/ m^3
X_{BH}	Biomasa activa heterótrofa	g DQO/ m^3
X_{BA}	Biomasa activa autótrofa	g DQO/ m^3
X_{II}	Materia particulada inerte producto del decaimiento	g DQO/ m^3
S_o	Oxígeno disuelto	g DQO/ m^3
S_{NOI} y S_{NOA}	Nitritos y nitratos	g N/ m^3
S_{NH}	Nitrógeno amoniacal libre y ionizado	g N/ m^3
S_{ND}	Nitrógeno orgánico soluble biodegradable	g N/ m^3
X_{ND}	Nitrógeno orgánico particulado biodegradable	g N/ m^3
A_{ALK}	Alcalinidad	u. molares

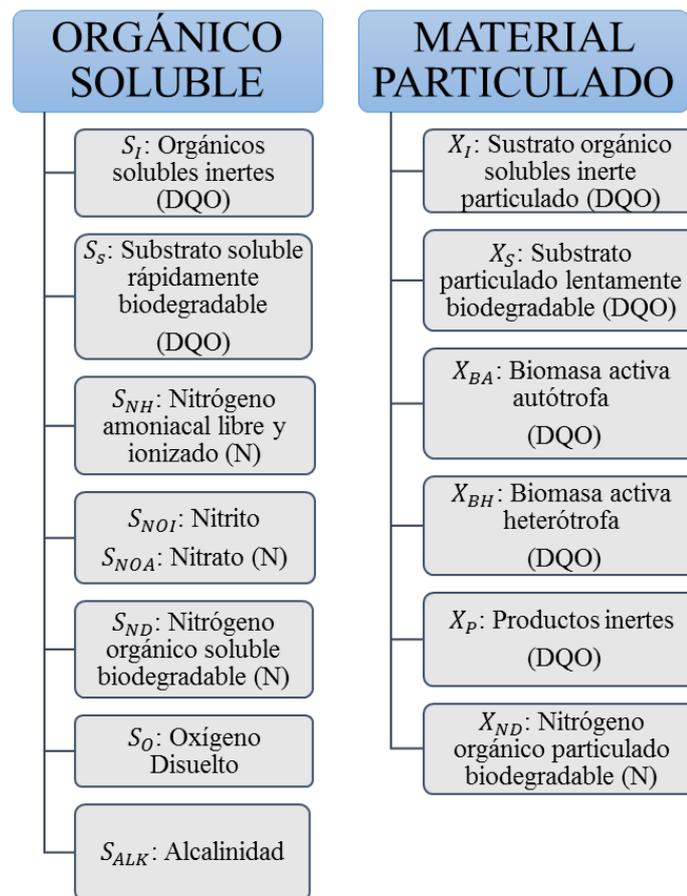
Nota. Nos muestras las variables de estado necesarias para la aplicación del modelo.

Fuente:Loaiza Navía (2007).

El modelo tiene una notación matricial definida por 13 componentes que se deriva en 7 de materia orgánica soluble y 6 material particulado, las cuales están representadas en la **Figura 3**.

Figura 3.

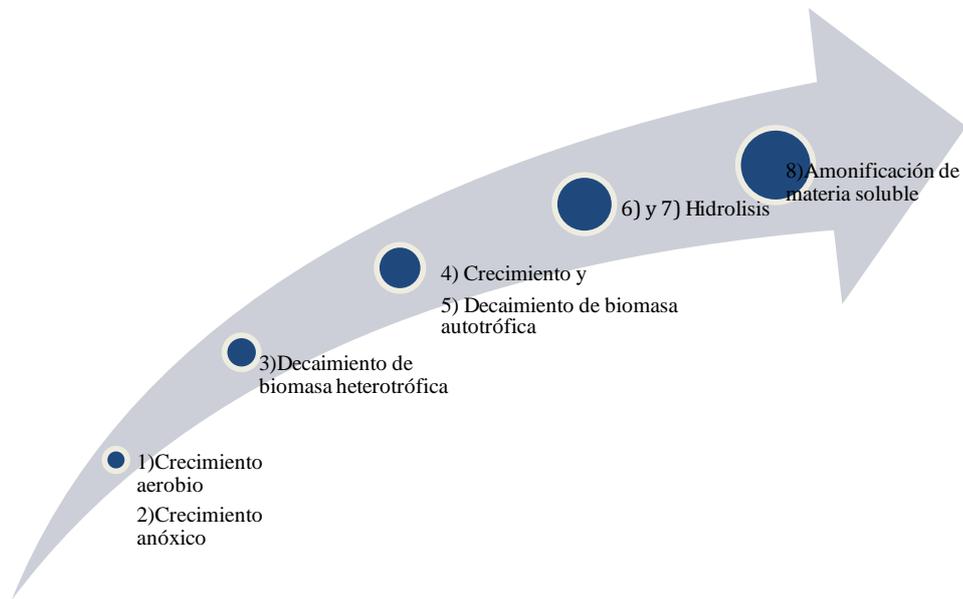
Componentes del modelo ASM1.



Nota. Se muestran los componentes que se utilizan en el modelo ASM1, Fuente: Espinosa Rodríguez (2010).

Los primeros 7 componentes están relacionados con el materia orgánica y el oxígeno y la alcalinidad medido del lodo, los siguientes 6 componentes están relacionados con la DQO y la nitrificación contenida en las partículas.

El modelo aplica la DQO como componente gracias a este parámetro, es posible realizar la masa. La materia orgánica contenida en las aguas residuales, por medio de la DQO, se divide en biodegradable, no biodegradable y fracción de biomasa (Espinosa & Rodríguez, 2015).

Figura 4.*Procesos del modelo ASM1.***Nota.** Principales procesos para el modelado según el modelo ASM1.

Fuente: Espinosa & Rodríguez (2015)

La DQO biodegradable describe el sustrato de crecimiento de la biomasa heterótrofa, que genera oxidación carbonosa y desnitrificación.

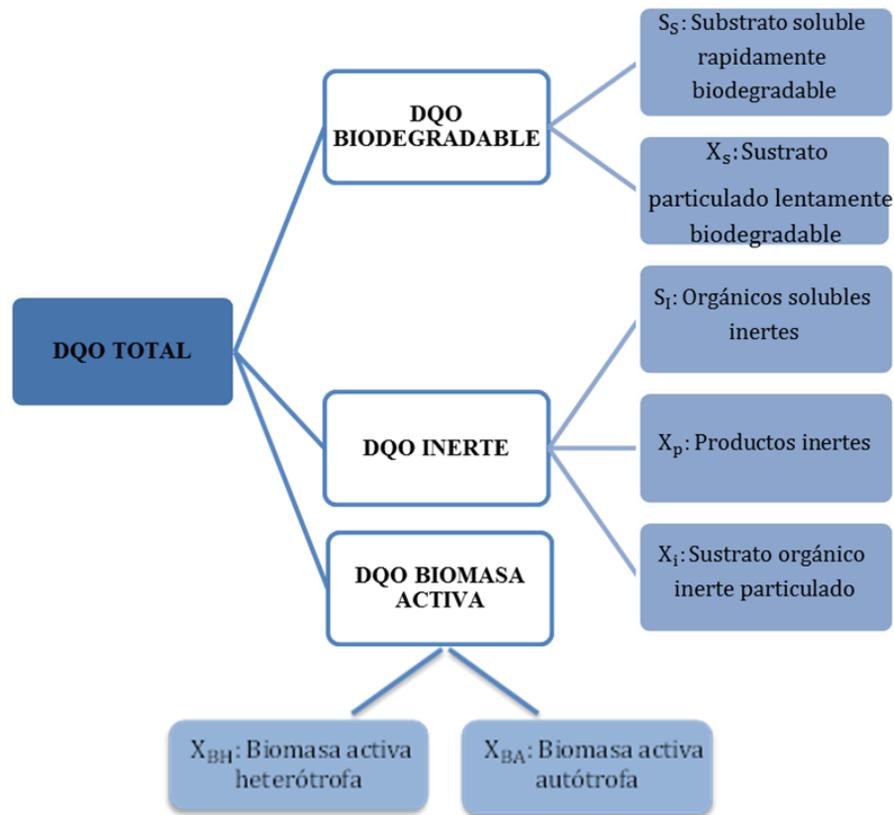
La DQO carbonácea está compuesta por las fracciones biodegradable y no biodegradable y la fracción de biomasa activa como se muestra en la Figura 4.

La fracción biodegradable se divide en una fracción biodegradable rápida y una fracción biodegradable lenta (S_s soluble y X_s particulada respectivamente).

La fracción no biodegradable consta de la fracción soluble inerte y una fracción de partículas inertes (S_i y X_i respectivamente), que no se alteran durante el proceso. Su eliminación se realiza a través del efluente sedimentado y en la purga de lodos (Loaiza Navía, 2007).

Figura 5.

Fracciones de DQO de los lodos activados.



Nota. Fuente: Jácome & Suarez (2021)

9.4. Técnica experimental

9.5. Métodos

9.5.1. Método Inductivo

Este método nos proporcionó la idea de un análisis ordenado, coherente y lógico para determinar un diagnóstico real y plantear las recomendaciones de solución a la problemática actual en los aspectos ambientales.

9.5.2. Método Deductivo

Permitió identificar la funcionalidad del sistema, para analizar y realizar recomendaciones de tratamiento de las aguas residuales.

9.5.3. Método Analítico

Este método permitirá analizar la eficiencia de los procesos hidráulicos para el correcto funcionamiento del sistema.

9.5.4. Herramienta para análisis de resultados

9.5.4.1 Modelado CFD.

Los software CFD son herramientas matemáticas e informáticas utilizadas para predecir o analizar fenómenos físicos o físico-químicos que se producen en un flujo de fluido dentro de un volumen predefinido, o fuera de él, y que pueden vincularse a la acción de factores tales como dispersión, difusión, convección, interacción con el medio externo, en los límites de contorno y turbulencia (Passos et al., 2016). Hay tres pasos involucrados en la realización de un análisis CFD. El primero incluye los cálculos previos, donde se realiza la formulación del problema, incluyendo la generación de geometrías, la definición de las ecuaciones que rigen el caso de estudio, las condiciones de contorno y la generación del volumen finito malla. El segundo paso es el principal del modelado, consiste en la resolución numérica de las ecuaciones que rigen el problema. El tercer paso es el análisis de los resultados, estos resultados corresponden al valor de las variables de campo determinadas en cada punto de la malla. Una parte importante de este paso es la representación de las variables que gobiernan el flujo, para obtener un resultado rápido y agradable. Parte del análisis también incluye la comparación de resultados obtenidos con estudios previos, resultados experimentales y resultados tabulados existentes en la normativa.

9.5.4.2 Formulación de la matemática de los CFD

9.5.4.2.1. Fase simple ecuaciones de Navier Stokes.

Las ecuaciones rectoras de la dinámica de fluidos son ecuaciones de Navier Stokes de continuidad y cantidad de movimiento. Estas ecuaciones describen cómo se relacionan la temperatura, la velocidad, presión y la densidad de un fluido en movimiento. La ecuación de continuidad **Ec. 2**, presentada en la forma Euleriana de la ley de conservación de masa, describe un fenómeno de transporte de partículas que no se crean ni se destruyen. En la ecuación de momento **Ec. 3**, los términos de la izquierda representan la aceleración del fluido, el primer término corresponde al término temporal. Mientras que los términos de la derecha corresponden a la gradiente de presión, tensiones viscosas y otras fuerzas corporales respectivamente.

Ec 2.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0$$

Ec 3.

$$\rho \left(\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot (UU) \right) = -\nabla P + \nabla \tau + fb$$

Donde:

ρ = Densidad

U = Vector de velocidad

P = Presión

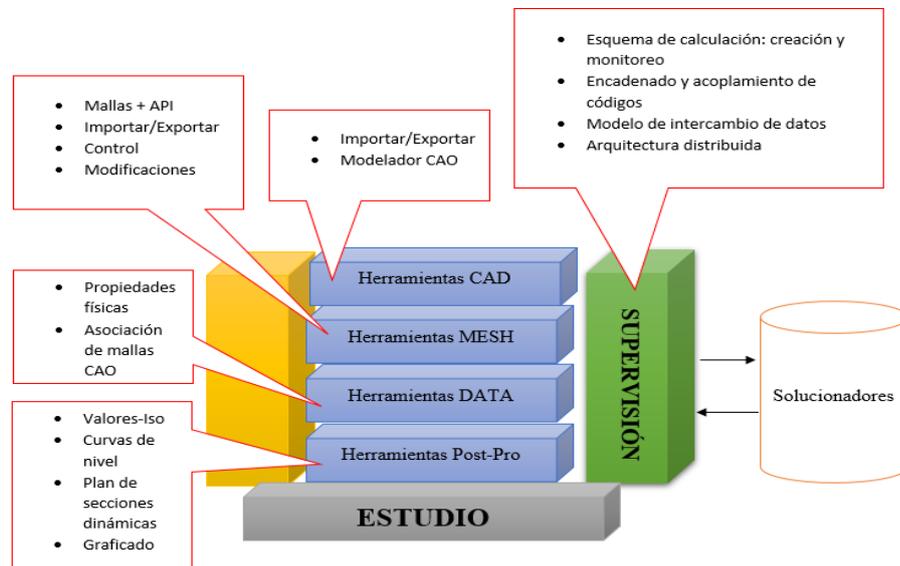
τ = Esfuerzo viscoso

9.5.4.2.2. *Flujo turbulento.*

El modelado de turbulencia es un intento de una serie de ecuaciones diferenciales parciales para calcular el flujo turbulento, basado en aproximaciones apropiadas de las ecuaciones de Navier-Stokes. Por lo tanto, un enfoque común es resolver en términos de valores medios de las variables de interés y luego introducir un modelo de cierre de turbulencia para aproximar cantidades de menor escala. Estos valores medios promediados en el tiempo se obtienen a partir de la descomposición de Reynolds en para obtener un conjunto de ecuaciones similar al RANS (Alfonsi, 2009).

9.5.5. *Salome*

La arquitectura SALOME se basa en la tecnología CORBA utilizando un modelo de sistema distribuido de aplicaciones. SALOME combina varios componentes de software, que están contruidos de tal manera que permiten integrar solucionadores y algoritmos de mallado existentes junto con la especificación de propiedades físicas para un dominio dado. La originalidad de este enfoque es que los diversos componentes deben cooperar dinámicamente y ser configurables.

Figura 6.*Arquitectura del software Salome.*

Nota. Información tomada del manual de SALOME (2018).

Otra pieza fundamental de la arquitectura SALOME es el uso del Lenguaje de Definición de Interfaz (IDL). IDL, que especifica las interfaces entre los componentes de CORBA, es fundamental para garantizar la independencia del lenguaje de CORBA. Debido a que las interfaces descritas en IDL se pueden asignar a cualquier lenguaje de programación, las aplicaciones y los componentes de CORBA son, por lo tanto, independientes de los lenguajes utilizados para implementarlos.

9.5.6. OpenFOAM

OpenFOAM® es un paquete de código abierto gratuito, este software CFD es distribuido por OpenCFD Ltd y OpenFOAM Foundation bajo la licencia GPL. Proporciona al usuario un conjunto de herramientas de C++ personalizable para desarrollar solucionadores numéricos, generación de mallas y utilidades de procesamiento previo y posterior para una amplia gama de problemas de dinámica computacional de fluidos.

La principal ventaja de OpenFOAM es que su código fuente se adapta a las necesidades de los usuarios y permite estudiar fácilmente el funcionamiento interno. OpenFOAM se lanzó para distribución gratuita en 2004 y se actualiza profesionalmente cada seis meses para incluir desarrollos patrocinados por clientes y contribuciones de la comunidad. Para ayudarlo, hay

guías de usuario, una guía de programador, foros de usuarios y tutoriales. Además, OpenFOAM es compatible con paquetes de procesamiento y post-procesamiento que también son de código abierto (Ahern, 2017).

9.5.6.1 Estructura de OpenFOAM.

En la estructura del archivo para cada caso a modelar, son tres los archivos necesarios para poder realizar el cálculo, los cuales se indican en la **Tabla. 5**.

Tabla 5.

Estructura de las carpetas de OpenFoam.

Carpeta	Archivos	Descripción
0/ Contiene las condiciones iniciales y de contorno para las variables que el solver necesita.	*P	Presión
	U	Velocidad
	K	Energía cinética turbulenta
	Épsilon	Velocidad de disipación
	Nut	Viscosidad cinética
Constant/ Archivos relacionados con cantidades constantes, como la información del mallado de la geométricas, las propiedades y parámetros que establecerán la conducta del fluido.	Polimesh/	Contiene todos los archivos referentes al mallado (boundary points, faces, neighbour, owner)
	G	Aceleración de la gravedad (se utiliza cuando el modelo considera la dirección z)
	transportProperties	Parámetros de ingreso para configurar los modelos de velocidad, modelos no-Newtonianos, selección de modelo y propiedades del fluido.
	turbulenceProperties	Selección del modelo de turbulencia y parámetros
System/ Se encuentran todos los archivos que manipularan y controlaran el solucionador y otras herramientas dinámicas para la simulación.	ControlDict	Contiene los controles que están relacionados con el tiempo de la simulación (paso de tiempo, intervalo de salida, entre otros). Contiene también la programación del tiempo de registro de la información con la que correrá la simulación.
	fvSchemes	Se delimitan los esquemas para la discretización del volumen finito
	fvSolutions	Controles relacionados con el solucionador, los algoritmos para la resolución, los límites de tolerancia del caso y factores de relajación.

*Los archivos que contenga la carpeta dependerán del tipo de variables que utilicen el solucionador y el modelo de turbulencia aplicado.

Nota. Información tomada de (Andrade, 2021)

9.5.7. ParaView

Es una aplicación de visualización y análisis de datos multiplataforma de código abierto. Los usuarios de ParaView pueden crear rápidamente visualizaciones para analizar sus datos utilizando técnicas cualitativas y cuantitativas y la exploración de datos se puede realizar de forma interactiva en 3D o mediante programación utilizando las capacidades de procesamiento por lotes de. El software fue desarrollado para analizar conjuntos de datos extremadamente grandes utilizando recursos informáticos de memoria distribuida (Montoya, 2017).

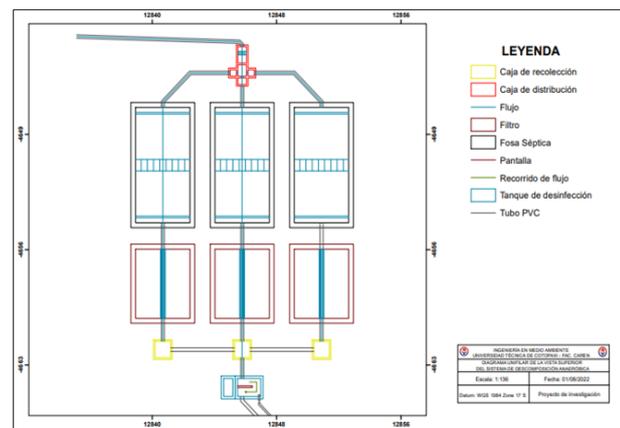
10. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

10.1. Diagrama unifilar de la vista superior del SDA

Para realizar el diagrama unifilar del SDA se utilizó el software ArcGIS 10.8, toma de coordenadas in-situ y la guía de los planos obtenidos en el departamento de planificación de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Figura 7.

Diagrama unifilar del sistema de descomposición anaerobia.



10.2. Visita in-situ

Dentro del diseño metodológico de este proceso de investigación, el primer paso correspondió al de recolección de información y caracterización del área donde se encuentra ubicado el sistema de degradación anaeróbica, realizando un análisis del funcionamiento de las etapas, teniendo en cuenta la geomorfología del terreno y una inspección preliminar en campo, como se puede observar en el mapa de ubicación en la **Fig. 2**, el terreno es aledaño al río Isinche en donde se vierten las aguas de descarga provenientes del sistema de descomposición anaeróbica.

De la misma manera, mediante las visitas técnicas, se definieron los puntos de muestreo y el punto más cercano al ingreso del sistema para la toma de caudal.

Figura 8.

Etapas del Sistema de Digestión Anaerobia.



Se realizaron inspecciones etapa por etapa para verificar que el estado físico de cada una de ellas, en donde a primera vista de la parte exterior no es evidente el mal estado del sistema. En cuanto al revisar el interior de cada etapa (**Fig. 8.**) se aprecia muy claramente que hay excedentes de sedimentos, raíces que invaden casi en su totalidad el interior del sistema, lo cual nos muestra la falta de mantenimiento.

Figura 9.

Revisión del tanque séptico.



Así mismo, para verificar si en ese momento el sistema se encontraba en funcionamiento y si era posible tomar muestras del agua tratada, por lo que se visitó la zona de descarga la mima que no presentaba ninguna evidencia de estar descargando ya que el área se encontraba totalmente seca, por lo que se asumió que el sistema no contaba con un caudal constante al ingreso del mismo.

Figura 10.

Zona de descarga del agua tratada.



10.3. Aforo del Caudal

Para el aforo de caudal se realizó mediante el método volumétrico, en donde, se utilizó un recipiente de 10 litros y se midió la velocidad de llenado con respecto al tiempo. Los datos obtenidos se analizaron matemáticamente para obtener un caudal instantáneo y una media del volumen entregado, ver **Tabla 6**.

Las mediciones se realizaron directamente en el afluente de ingreso más cercano al sistema, ya que este no contaba con un caudal de ingreso por deficiencias en la línea de alcantarillado debido a la falta de mantenimiento continuo que se evidencio en la visita in-situ.

Al momento de obtener el valor del caudal promedio, se asume de que el dicho valor es insuficiente para las dimensiones del SDA. Por lo tanto, se revisó la memoria técnica del dimensionamiento que se obtuvo en el departamento de planificación, así, verificando que para el cálculo del caudal se considera la fórmula de “Población Futura”, véase en **Anexo No. 10**.

Tabla 6.*Cálculo del caudal promedio.*

HORA	Q INSTANTANEO	VOLUMEN ENTREGADO
T	m3/h	m3
0	0	0,0000
1	0,9216	0,4608
2	1,0933	1,0075
3	1,2429	1,1681
4	1,2657	1,2543
5	1,7863	1,5260
6	1,926	1,8562
7	1,719	1,8225
8	1,5969	1,6580
9	1,1088	1,3529
10	1,1667	1,1378
11	1,5087	1,3377
12	1,486	1,4974
13	1,242	1,3640
14	1,2549	1,2485
15	1,0166	1,1358
16	0,9604	0,9885
17	0,9763	0,9684
18	1,1782	1,0773
19	1,4133	1,2958
20	1,3194	1,3664
21	1,1224	1,2209
22	1,3305	1,2265
23	1,193	1,2618
24	1,1847	1,1889
		30,4213
Qm	1,27	m3/h
	0,000352098	m3/s

10.4. Modelado computacional.

Las mallas de las distintas etapas del sistema del sistema anaeróbico se construyeron con e programas SALOME 9.3.0, en tres dimensiones y basándose en elementos tetraédricos, presentando mayor densidad en los puntos con mayor relevancia (condiciones de borde,

entrada, salida y proximidades a la pared de los tanques como se muestra en las **Figuras.11, 12 y 13**).

Figura 11.

Malla del tanque de distribución.

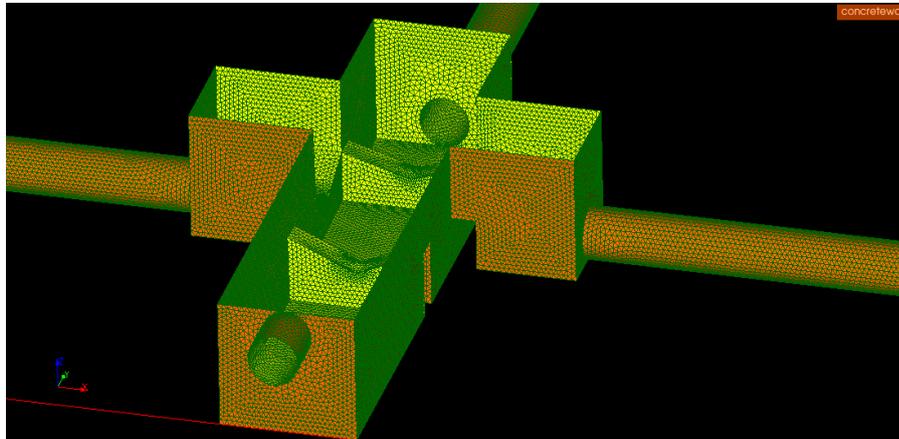


Figura 12.

Malla del Tanque séptico.

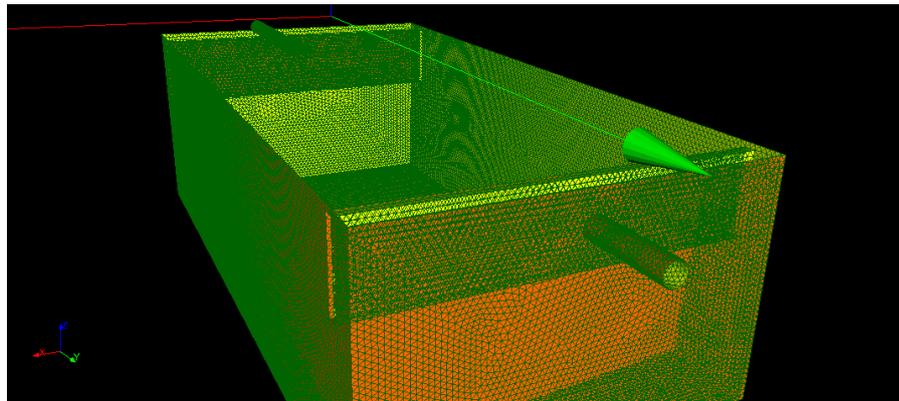
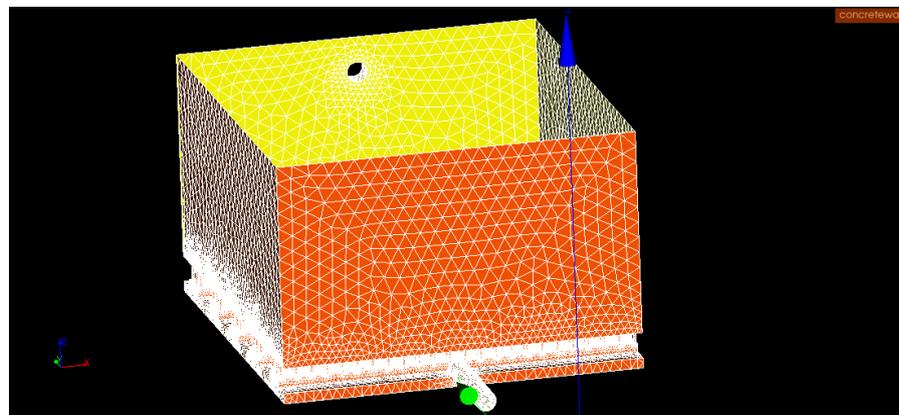


Figura 13.

Malla del filtro de flujo ascendente.



10.5. Simulaciones CFD

Cabe mencionar que para este análisis se consideró que existe un caudal constante ya que los softwares lo asimilan así. También en el sistema de descomposición no existe una etapa que nos ayude con esta condición por lo que los caudales de ingreso son variables dándonos así condiciones desfavorables.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, para conocer el comportamiento hídrico de las distintas etapas se empleó la modelación CFD, manteniendo numéricamente los volúmenes de los tanques llenos para de esta manera establecer condiciones de estado estacionario, es decir, con un volumen de aguas constante dentro de los mismos.

Se colocaron las vías de entrada y salida con sus caudales correspondientes dependiendo el caso de cada uno (tanque de distribución y sedimentador primario, tanque séptico y filtro anaeróbico de flujo ascendente). Los cálculos se realizaron a partir de un flujo de entrada de $0,000352098 \text{ m}^3/\text{s}$ para el tanque de distribución ya que ese es el que recibe el caudal máximo de ingreso del sistema de alcantarillado. Para el tanque séptico y el filtro anaerobio se colocó un flujo de ingreso de $0,000117366 \text{ m}^3/\text{s}$ ya que existen tres tanques de cada etapa. Estos valores de caudal, se tomaron a partir del método volumétrico en donde los valores históricos se tomaron en tres días de una semana durante 8 horas cada día.

Una vez que se obtuvieron los datos necesarios para la simulación, se procede a ingresarlos en las carpetas de las condiciones físicas de funcionamiento a las que se somete el sistema. Entre los archivos más importantes están: condiciones de borde, de inicio y caudal (carpeta 0), solucionadores RASS, condiciones de transporte, la malla de cada etapa y la gravedad (carpeta constant) y las condiciones del tiempo de inicio y fin de la simulación (carpeta system), esto se puede apreciar más detallado en la tabla 5.

Una vez que se realiza el pre-procesamiento (SALOME) y el procesamiento (OpenFoam) de las diferentes condiciones del sistema, obtenemos archivos en donde se ubican los datos tratados y listos para realizar su debido post-procesamiento (ParaView).

Al abrir los archivos en el software de post-procesamiento, nos dan todas las condiciones físicas que se pueden simular y analizar.

Para este estudio se analizaron las condiciones que consideramos importantes para definir si el sistema cuenta con la capacidad de realizar correctamente el tratamiento de las aguas residuales.

Para cual se escogieron dos condiciones: el comportamiento del fluido al ingresar en las diferentes etapas (alpha.water) y el comportamiento de la velocidad del fluido (U).

Considerando que para el taque de distribución se utilizó un tiempo de llenado de una hora y un flujo constante de entrada, se observó que el caudal es suficiente para llenar dicho tanque y ser distribuido a las siguientes etapas como se muestra en la **fig. 14**.

Por otro lado, con respecto a las velocidades de paso del caudal, se puede ver que las velocidades nos son muy altas, de esta manera contribuye a la sedimentación ya que esta etapa también es considerada un sedimentador de partículas mayores a 0.5cm. Como se puede apreciar en la **fig. 15**, las velocidades más altas se encuentran en las salidas del tanque ya que estas tuberías cuentan con una ligera inclinación debido a que los ingresos de las otras etapas se encuentran unos centímetros más abajo.

Figura 14.

Comportamiento del fluido por el tanque de distribución.

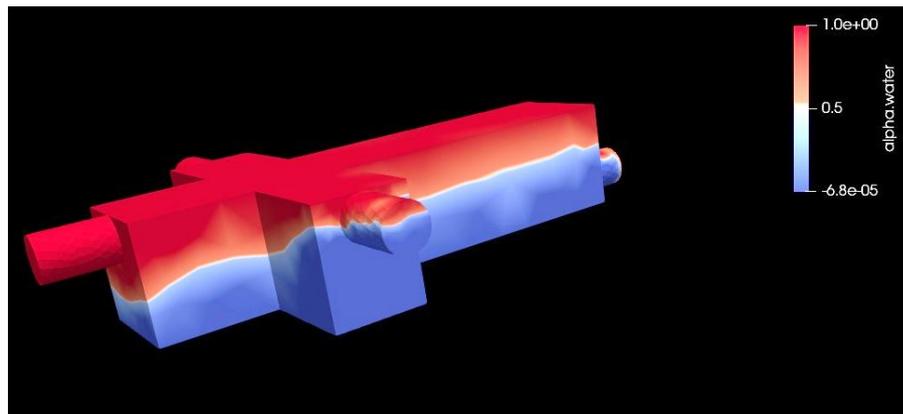
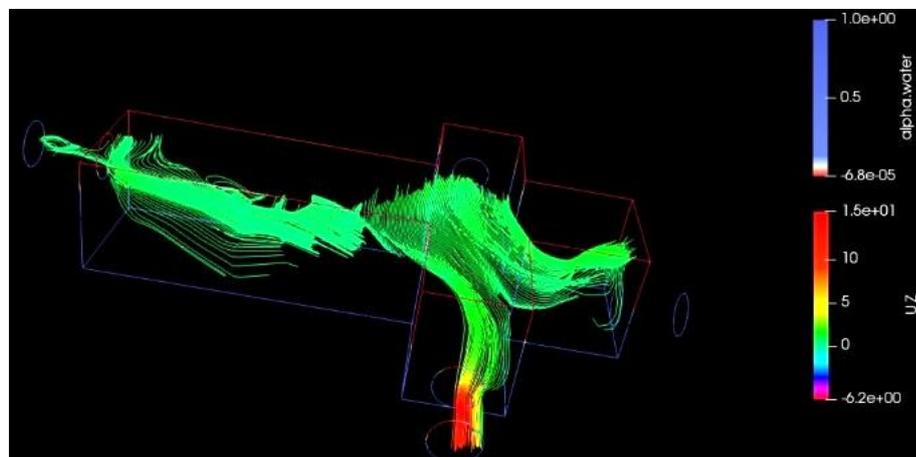


Figura 15.

Comportamiento de la velocidad de paso por el tanque de distribución.



Para la etapa del tanque séptico se utilizó el caudal de ingreso dividido para tres, por la razón que a partir de aquí cada etapa consta de tres tanques cada una, y un tiempo de llenado de dos horas. Este tanque también es un sedimentador primario por lo que necesita velocidades de paso bajas para tener un adecuado funcionamiento.

Como nos muestra la **fig. 16**, vemos que el tiempo de llenado no es suficiente para el caudal y tratándose de un sistema anaeróbico, esto puede causar pérdidas importantes en las características físico-químicas del agua y que posteriormente resultaría en un deficiente tratamiento de las aguas residuales obteniendo solamente lodos en mal estado.

Por la misma razón de no tener un tanque séptico lleno, no se puede apreciar el comportamiento de las velocidades del caudal en el mismo, debido a la ausencia del fluido en la **fig. 17**, no se puede apreciar ninguna línea de velocidad que nos pueda dar información sobre su comportamiento.

Figura 16.

Comportamiento del fluido en el tanque séptico.

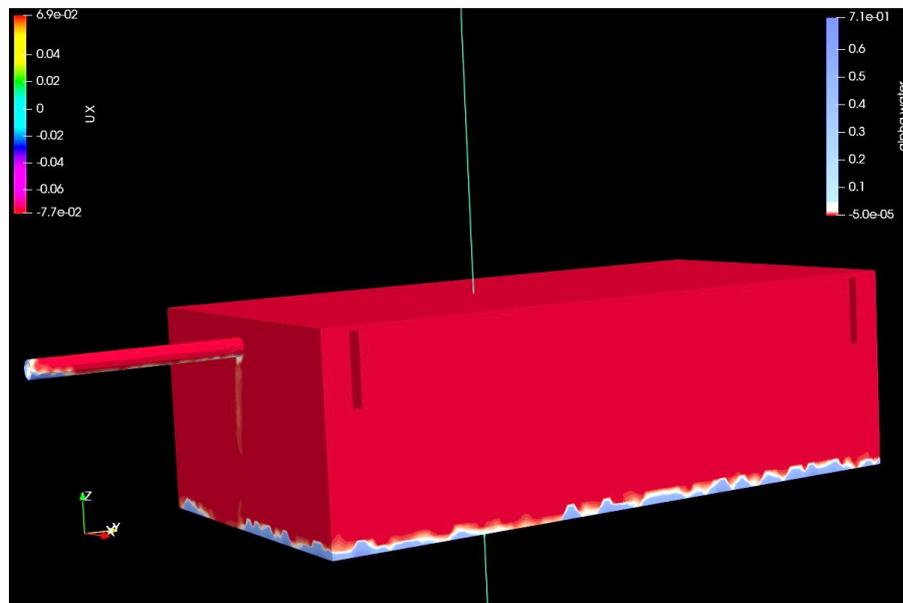
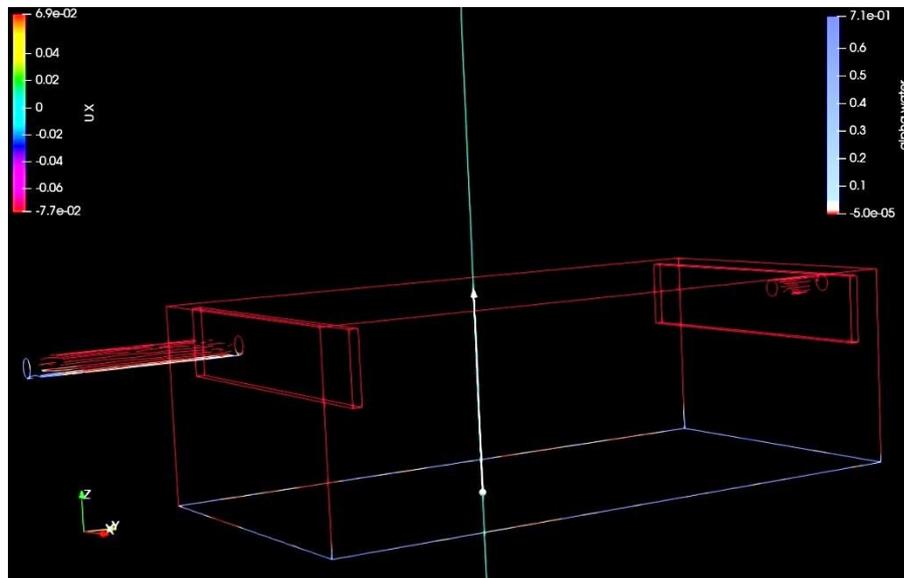


Figura 17.

Comportamiento de la velocidad de paso por el tanque séptico.



Como se ha dicho anteriormente, el caudal es alarmantemente bajo para este sistema, por lo que, para obtener resultados más relevantes en esta etapa se optó por ampliar el tiempo de simulación, pasando de 2 horas a 10 horas. Así, de esta manera se pudo apreciar claramente en la **fig. 18**, como actúa el paso del fluido por el filtro de flujo ascendente.

Con respecto a la velocidad de paso, se vio que al iniciar el llenado del tanque el fluido se comportó de manera turbulenta, en donde fue posible apreciar vórtices y cortocircuitos esto hasta llegar al nivel de las losetas. A partir de ahí, el único punto en donde se identificaron aumentos en la velocidad fue en la salida del tanque. Como muestra la **fig.19**, las velocidades son menos evidentes y teniendo las condiciones adecuadas para un adecuado tratamiento.

Figura 18.

Comportamiento del fluido por el filtro de flujo ascendente.

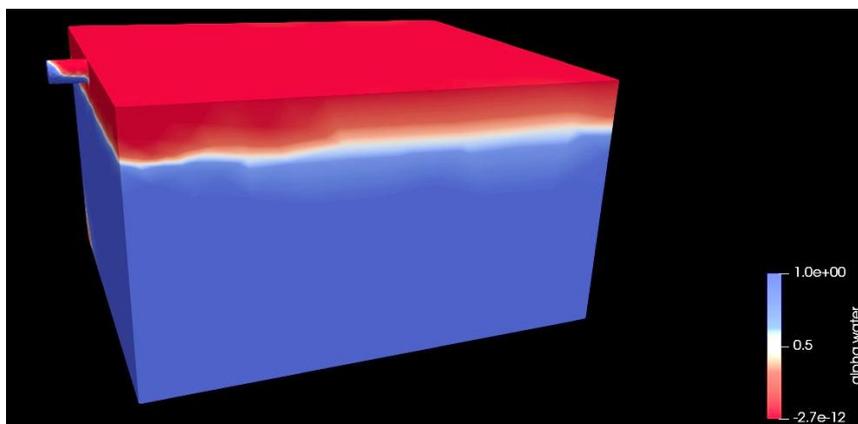
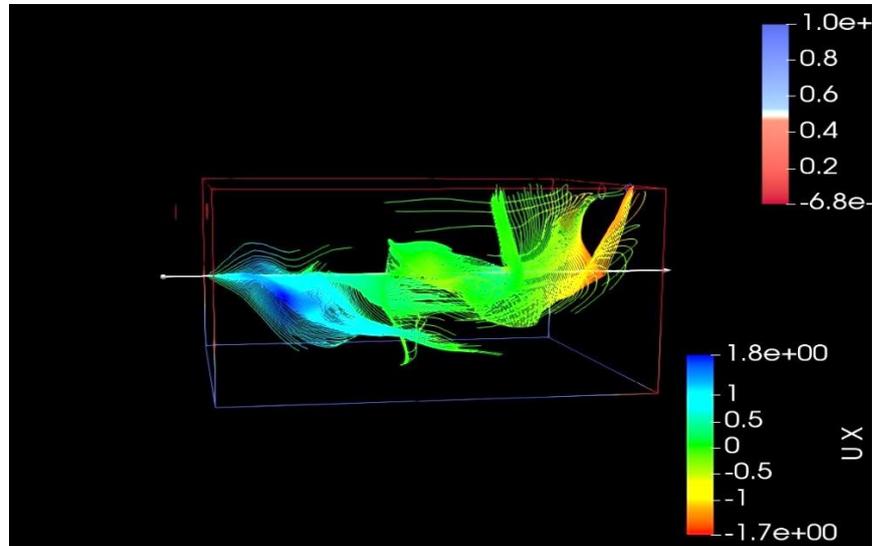


Figura 19.

Comportamiento de la velocidad de paso en el filtro de flujo ascendente.



10.6. Resultados del método ASM1.

Para obtener los valores teóricos para el sustrato rápidamente biodegradable (S_s) y de el sustrato lentamente biodegradable (X_s), fue necesario recurrir a estudios similares con los que se pudo llegar a valores estimados como se muestra en la **fig. 20**. Así también se obtuvo un valor de oxígeno disuelto de $0.19 \text{ gO}^2/\text{m}^3$ y un valor de DQO de 127 mg/l .

Figura 20.

Variables orgánicas para el modelo ASM1.

Organic Variables			
si	soluble inert organic material	gCOD/m ³	85.7
ss	readily biodegradable substrate	gCOD/m ³	2111.1
xi	particulate inert organic material	gCOD/m ³	993.6
xs	slowly biodegradable substrate	gCOD/m ³	183.6
xbh	active heterotrophic biomass	gCOD/m ³	0.0
xba	active autotrophic biomass	gCOD/m ³	0.0
xu	unbiodegradable particulates from cell de...	gCOD/m ³	0.0
xsto	internal cell storage product	gCOD/m ³	0.0

Nota: Parámetros obtenidos mediante Influent Advisor. Fuente: Artos Belalcázar & Constante Cervantes (2020).

De esta manera, para poder estimar el tiempo en que la materia orgánica termine de asimilar el OD presente en el agua residual y empezar el proceso de desnitrificación, fue necesario basarse en la metodología ASM1 ya que esta nos muestra los diferentes lineamientos a seguir para realizar los cálculos necesarios, ver **Anexo No. 8**. Cabe mencionar que la metodología ASM1 se encuentra estrechamente ligada a las ecuaciones de Navier Stokes.

Una vez que se obtuvieron todos los valores de las variables y ayudándonos del software MathCad, se establecieron las fórmulas para obtener así el valor del tiempo aproximado que necesitaría el sistema para la degradación.

De esta manera en las **Ec. 4 y 5**, se calculó el tiempo en el que el sistema tardaría en consumir el OD del sustrato rápidamente biodegradable (Ss) el cual se puede ver reflejado en las **Fig. 21 y 22**, nos muestran que, en los dos casos, en menos de 5 días todo el OD ha sido consumido y toda la materia se ha degradado.

Ec 4.

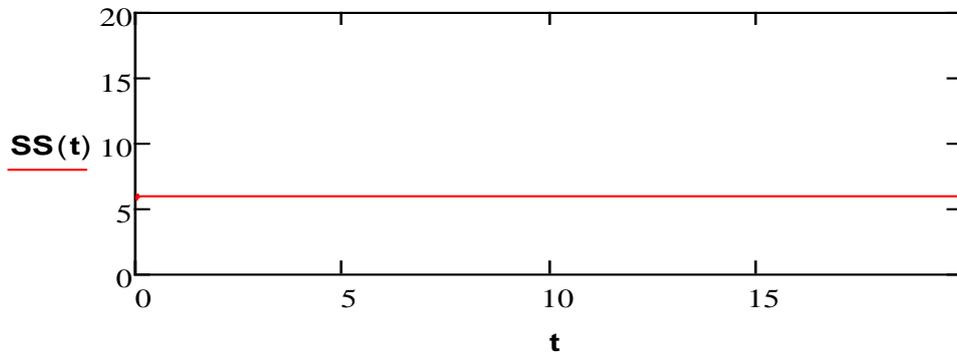
$$\left(\frac{d}{dt}SS(t)\right) = 175 - SS(t) + \left[K_h \cdot \frac{\frac{X_s}{X_{bh}}}{K_x + \frac{X_s}{X_{bh}}} \cdot \left[\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} + n_{y_h} \cdot \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \cdot \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \right] - \left[\mu_h \cdot \left(\frac{SS(t)}{K_s + SS(t)} \right) \cdot \left(\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} \right) + \mu_h \cdot \left(\frac{SS(t)}{K_s + SS(t)} \right) \cdot \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \cdot \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \cdot n_{y_g} \right] \cdot \frac{1}{Y_h} \right] \cdot X_{bh} \cdot SS(t)$$

$$SS(0) = 2111.1$$

$$SS = \text{Odesolve}(t, 20)$$

Figura 21.

Tiempo de asimilación de sustrato rápidamente biodegradable.

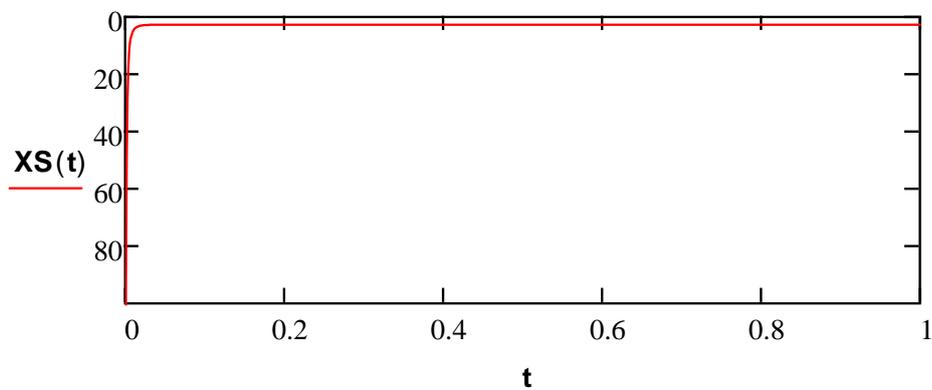
**Ec 5.**

$$\left(\frac{d}{dt}XS(t)\right) = 7 - XS(t) + \left[(1 - f_p) \cdot (b_h \cdot X_{bh} + b_a \cdot X_{ba}) - K_h \cdot \frac{XS(t)}{X_{bh}} \right. \\ \left. - \left[\frac{S_o}{K_{oh} + S_o} + n_{y_h} \cdot h \cdot \left(\frac{K_{oh}}{K_{oh} + S_o} \right) \cdot \left(\frac{S_{no}}{K_{no} + S_{no}} \right) \right] \cdot X_{bh} \right] XS(t)$$

$XS(0) = 183.6$ $XS = \text{Odesolve}(t, 1)$

Figura 22.

Tiempo de asimilación el sustrato lentamente biodegradable.



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

11.1. Impacto técnico:

La respectiva información obtenida proporciona conocimiento sobre el comportamiento hídrico y las fallas que presenta el sistema de descomposición anaeróbica de tal manera que se pueda tomar medidas correctivas con los respectivos mantenimientos.

11.2. Impacto ambiental:

Mediante el análisis realizado brinda alternativas viables para que se reduzca impactos ambientales negativos que afecten y ponen en riesgo al cauce del río en donde se descargan las aguas

11.3. Impacto económico:

El análisis realizado ayudara a tomar estrategias más viables, adecuadas, beneficiosas y económicas para su correctivo funcionamiento.

11.4. Impactos sociales

La información respetiva es de beneficio para la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, población aledaña ya que se puede tomar medidas correctivas, reduciendo así problemas de salubridad, y se puedan aprovechar de la mejor manera y brindar una buena calidad de vida a la población aledaña.

12. PRESUPUESTO

Tabla 7.

Presupuesto para la elaboración del proyecto.

RECURSOS	DESCRPCIÓN	UNIDADES	VALOR UNITARIO (USD)	VALOR TOTAL (USD)
HUMANO	Investigadores			
	Tutor Alimentación	2	\$ 2,50	\$ 250,00
TECNOLÓGICO	Internet		\$ 20,00	\$ 60,00
	Medidor multiparámetro HI98194	1		
	Laptops hp	3		
	GPS	1		
OFICINA	Resmas de papel	2	\$ 4,00	\$ 8,00
	Esferos	3	\$ 0,35	\$ 1,05
	Marcadores	1	\$ 0,70	\$ 0,70
OTROS	Transporte	2	\$ 30,00	\$ 60,00
	Guía práctica – Software	1	\$ 25,00	\$ 25,00
	Análisis de laboratorio	1	\$ 18,00	\$ 18,00
	Impresiones	520	\$ 0,10	\$ 52,00
	Anillados	3	\$ 5,00	\$ 15,00
	SUBTOTAL		\$ 489,75	
10 % DE IMPREVISTOS		\$ 50,00		
TOTAL		\$ 539,75		

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a la visita técnica que se realizó al sistema de descomposición anaeróbica ubicada en el campus Salache, concluimos que existen múltiples irregularidades, entre ellas se pudo apreciar diferentes fallos estructurales en el sistema de alcantarillado que alimenta al sistema, haciendo que el mismo no reciba un caudal constante de aguas residuales y, por ende, impide el adecuado funcionamiento de cada una de las etapas.

Además, tras haber revisado la información facilitada por el departamento de planificación de la universidad, pudimos evidenciar que desde su diseño y construcción presentaba fallos en el dimensionamiento. Esto por el motivo de que se utilizaron fórmulas para un caudal futuro con una proyección de 25 años, el mismo que presenta un incremento exponencial de la población universitaria en el campus. Por esta razón no se puede establecer la eficiencia de dicha planta, ya que estructuralmente esta se encuentra sobredimensionada con respecto al poco caudal establecido en las mediciones realizadas para este estudio.

Dado que el caudal influye de manera directa en el comportamiento del sistema, el modelamiento digital resultó ser muy demorado y tedioso ya que se necesitan de capacidades tecnológicas más avanzadas para obtener datos más precisos en menor tiempo.

Recomendaciones

Se recomienda tomar medidas correctivas para mitigar los impactos generados actualmente y evitar daños irreversibles al recurso hídrico como un mantenimiento preventivo general del sistema de tratamiento, para evitar un futuro colapso a causa de acumulación de sedimentos y vegetación en las diferentes etapas.

Haciendo referencia a la deficiencia del caudal, se recomienda incluir en el sistema de descomposición un tanque ecualizador para que de esta manera exista continuidad en el flujo de entrada y asegurar un incremento en la eficiencia del tratamiento.

También es recomendable sustituir el método de desinfección de las aguas que han sido tratadas, por razones que al usar hipoclorito de sodio reduce la carga microbiana en el punto de descarga, en este caso en el río Isinche, y produce agentes cancerígenos como los organoclorados.

Finalmente, es necesario incentivar a las autoridades de la institución la creación de una normativa en la que exijan modelamiento CFD para la auditoría de proyectos de inversión y

demás tecnologías para tratamiento de aguas residuales. De la misma manera, una repotenciación basándose en la base de datos para determinar la alternativa más viable en un rediseño, considerando aspectos económicos, sociales, de infraestructura y ambientales

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, S. (2018). *Laboratorio de Hidráulica, Grupo BD, Programa de Ingeniería Ambiental, Universidad de la costa CUC*. 15.
- Ahern, D. A. (2017). *Estudio y mejora del funcionamiento de un decantador industrial mediante el uso de modelos CFD con OpenFOAM*.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/86100>
- Alfonsi, G. (2009). Reynolds-Averaged Navier–Stokes Equations for Turbulence Modeling. *Applied Mechanics Reviews*, 62(4). <https://doi.org/10.1115/1.3124648>
- Andrade, V. (2021). *Estudio de la hidrodinámica y eliminación de coliformes fecales en la laguna de maduración de la depuradora de aguas residuales de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, mediante modelos CFD con OpenFoam*.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/177649>
- Artos Belalcázar, B. M., & Constante Cervantes, J. B. (2020). *Modelado y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales empleando modelos ASM*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18603>
- Beltran, B. E. B. (2020). *DE LA PTAR CHILPINA, DISTRITO SOCABAYA- PROVINCIA AREQUIPA-DEPARTAMENTO AREQUIPA*". 294.
- Benavides, A. (2013). *Evaluación de los sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos en el ceypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*.
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/1640>
- Bofill-Mas, S., Clemente-Casares, P., Albiñana-Giménez, N., Maluquer de Motes Porta, C., Hundesa Gonfa, A., & Girones Llop, R. (2005). Efectos sobre la salud de la

contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 253-269.

Bravo et al. (2010). “*PROPUESTA DE DESARROLLO PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS AZULES ANEXO CON UN NUEVO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE PUEBLA, HERMANOS SERDAN*”.

<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/7819/1/TESINA-OPE-013.pdf>

Breitburg, D. (2002). Effects of hypoxia, and the balance between hypoxia and enrichment, on coastal fishes and fisheries. *Estuaries*, 25(4), 767-781.

<https://doi.org/10.1007/BF02804904>

Buitrago, L. L. P. (2017). *DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL (PTAR) DE TUNJA – BOYACÁ*. 76.

Carrera, J. (2017). *El Nitrógeno en las Aguas Residuales*. http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2017/04/Curso-EBN_Introducci%C3%B3n.pdf

Espinosa, & Rodriguez, . (2015). Optimization 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), 93-104. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)72110-4](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)72110-4)

Espinosa Rodriguez, M. A. (2010). *Modelación y simulación del proceso de lodos activados de la planta de tratamiento de aguas residuales “Dulces Nombres de Monterrey*.

<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/80335>

Fanola et al. (2008). *Características físicas—Características cualitativas*.

<https://1library.co/article/caracter%C3%ADsticas-f%C3%ADsticas-caracter%C3%ADsticas-cualitativas.yd75pwgy>

- Fuentes, R., Ramos, J., Jiménez, M., & Esparza, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264.
- Fundación Nacional de Salud. (2013). *MANUAL PRÁCTICO DE ANÁLISIS DE AGUA. 4 Edición*.
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf
- García, N. A. O., Bucio, J. L. G., Soto, S. Á., Calva, G. C., Uuh, J. A. C., Reveles, J. C. A., & Jiménez, J. M. C. (2010). Uso de un filtro anaeróbico sumergido en la remoción de materia orgánica de aguas residuales municipales. Resultados preliminares. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 41, 1-9.
- García Ortiz, J. (2019). Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín—Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*.
<https://doi.org/10/G72-T>
- García, R. (2014). *CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE GALVANIZADO DE LÁMINA POR INMERSIÓN EN CALIENTE*. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0375_MT.pdf
- García Villegas, V. R., Yipmantin Ojeda, A. G., Guzmán Lezama, E. G., Pumachagua Huertas, R., & Maldonado García, H. J. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 173-181.

GESTA AGUA. (2020). *PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS*.

http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf

Godoy, R. (2021). *Carbono Orgánico Total*.

<https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/20664/Carbono%20org%C3%A1nico%20total.pdf?sequence=3>

Granja et al., M., Silvia. (2013). *Evaluación, caracterización y propuesta de tratamiento de agua residual proveniente de la cafetería del campus el girón de la universidad*

politécnica salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7085/1/UPS-QT05866.pdf>

Harris, D. (2004). *DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO*.

https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0405/TAQP4_0405.pdf

Jácome, & Suarez. (2021). *Modelado del proceso de lodos activados para la remoción de*

materia orgánica, de la planta de tratamiento de aguas residuales Salitre, mediante el uso del software Lynx ASMI. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/26757>

Laboratorio de Calidad de Agua y Sedimentos. (2022). Instituto Nacional d.

<https://inamhi.wixsite.com/inamhi/productos-2>

Lapeña, M. R. (1989). *TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES: AGUAS DE PROCESO Y RESIDUALES*. Marcombo.

Laverde Mora, P. E. (2014). *Determinación de la huella de carbono organizacional en el Ceasa para elaborar una propuesta de manejo en el período 2013—2014*.

<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2733>

- Lecca et al. (2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno*. 17. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Loaiza Navía, J. L. (2007). *Modelación del Proceso de Lodos Activados en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales Noreste, del Área Metropolitana de Monterrey, NL*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/94531>
- López, S. (2018). *Reducción DQO & DBO. Aguas residuales*. <https://www.iagua.es/blogs/alejandro-santos-altos/reduccion-dqo-dbo-aguas-residuales>
- Mancilla, A. J. A. (2014). *BIOFILTRACION APLICADA A LA REMOCION DE SULFURO DE HIDROGENO (H2S) GENERADO EN AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN DOMESTICO*. 102.
- Matcalf, & Eddie. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION Volumen II Metcalf y Eddie (Vol. 3)*. https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie
- Montoya, S. (2017). *Introducción a la Visualización 3D de Objetos Espaciales con Paraview*. Gidahatari. <https://gidahatari.com/ih-es/introduccion-a-la-visualizacion-3d-de-objetos-espaciales-con-paraview>
- Moreno, S. (2018). *PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL*. 97.
- Moreno Yate, A. G., & Hernández Marín, J. S. (2021). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Institución Educativa Rural Luis Antonio Duque Peña; en la vereda, Guabinal plan, corregimiento de Barzalosa, Girardot, Cundinamarca* [Thesis]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10118>

OEFA. (2014). *FISCALIZACIÓN AMBIENTAL EN AGUAS RESIDUALES*.

https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Oyarzo, M. (2007). *PRECIPITACIÓN QUÍMICA DEL FÓSFORO MEDIANTE LA ADICIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS*

[Magallanes]. http://www.umag.cl/biblioteca/tesis/oyarzo_vargas_2007.pdf

Passos, R. G., Dias, D. F. C., & von Sperling, M. (2016). Review of practical aspects for modelling of stabilization ponds using Computational Fluid Dynamics. *Environmental Technology Reviews*, 5(1), 78-102. <https://doi.org/10.1080/21622515.2016.1251499>

Pérez et al., (2005). *Aguas Residuales. Composición*.

https://cida.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Pérez, F. C., Martínez, C. L., & Lázaro, R. V. (2013). *Fundamentos físicos de los procesos biológicos. Volumen II*. Editorial Club Universitario.

Rodríguez, H. (2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*.

<https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Roldán, L. (2020, mayo 4). *TIPOS DE CONTAMINACIÓN del AGUA*. ecologiaverde.com.

<https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-contaminacion-del-agua-2660.html>

SALOME. (2018). *Guía del usuario de la interfaz gráfica de usuario de SALOME:*

arquitectura de SALOME. https://docs.salome-platform.org/7/gui/GUI/salome_architecture_page.html

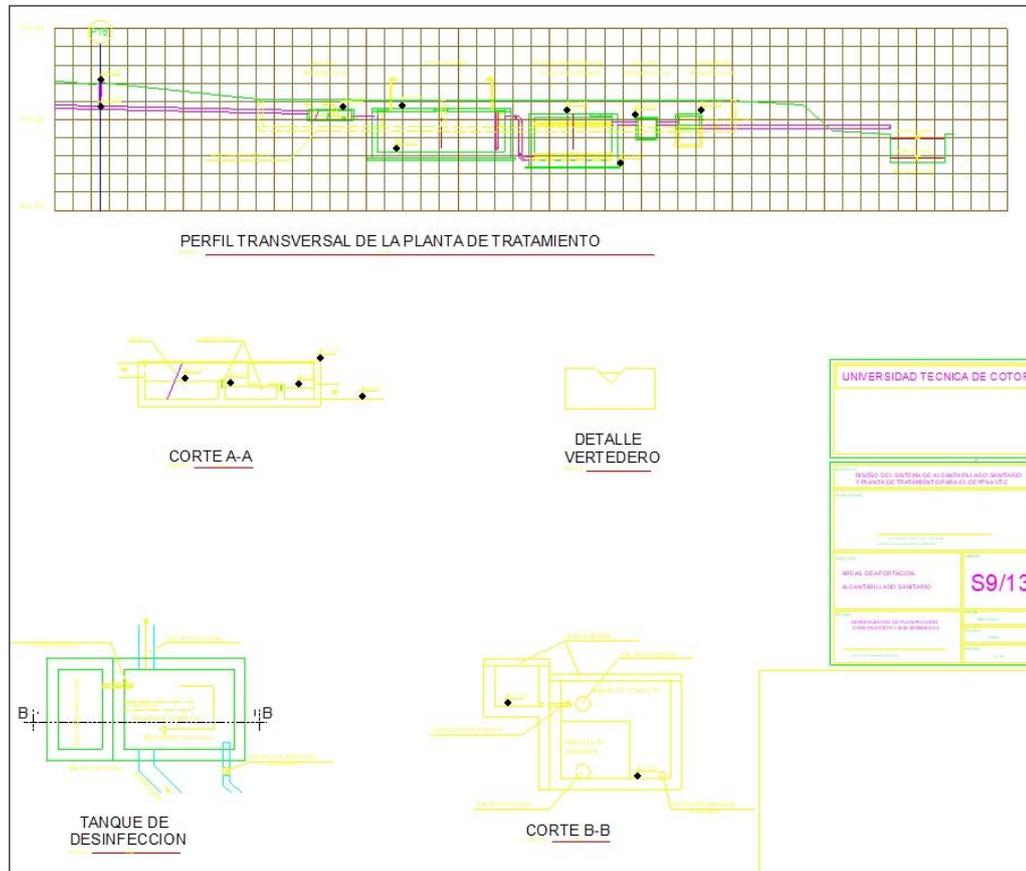
Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry for environmental engineering and science. (5th ed.)*. McGraw-Hill.

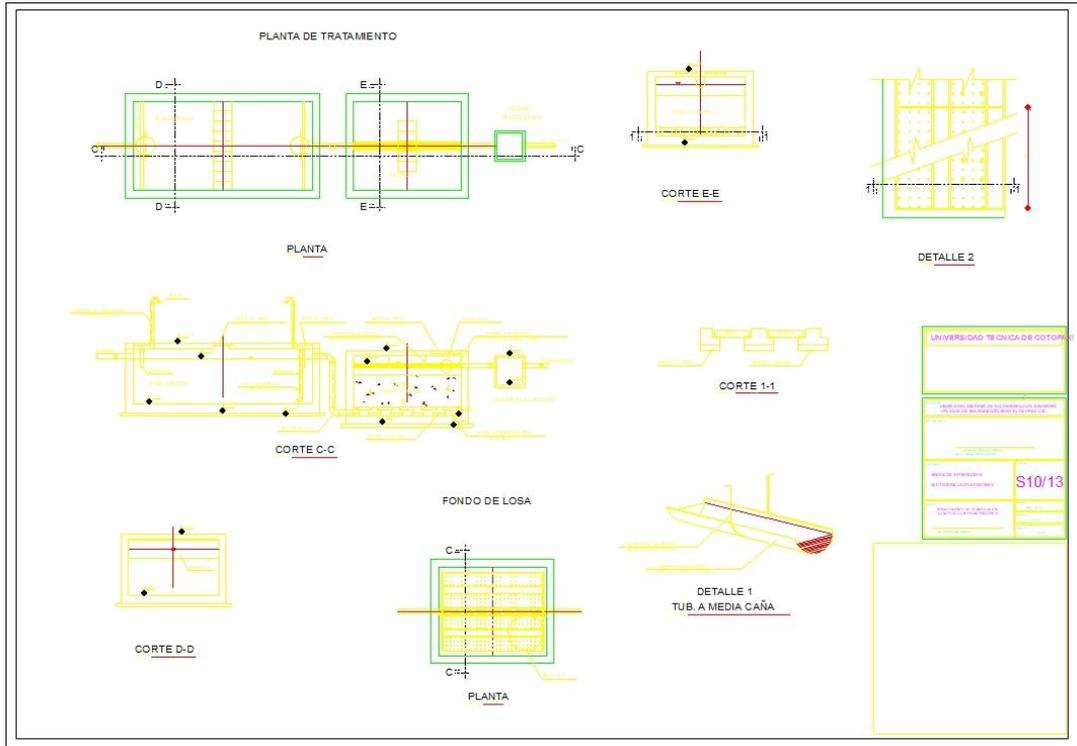
http://repository.vnu.edu.vn/handle/VNU_123/90733

- Senior, W. (2015). *Calidad de las Aguas*. https://www.researchgate.net/profile/William-Senior-4/publication/318711148_Calidad_de_las_Aguas/links/597924dda6fdcc30bdc32e32/Calidad-de-las-Aguas.pdf
- Universidad Continental. (2019). *Contaminación de Aguas. Guías de Laboratorio* [Fines de Estudio]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5103/1/DO_FIN_107_GL_AAUC00085_2019.pdf
- Uriarte, J. (2021, mayo 12). *Contaminación del Agua: Causas, características y soluciones*. <https://www.caracteristicas.co/contaminacion-del-agua/>

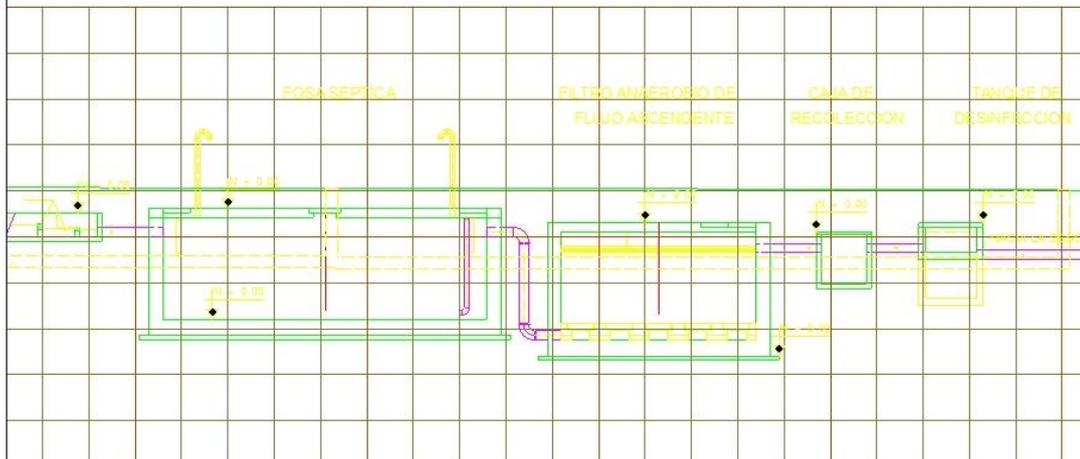
15. ANEXOS

15.1. Anexo No. 1. Planos del diseño del SDA.





CORTE TRANSVERSAL DEL SISTEMA DE DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA



15.2. Anexo No. 2. Visita in-situ del área de estudio.



15.3. Anexo No. 3. Toma de caudal.



15.4. Anexo No. 4. Tomo de muestra y resultado de OD.



15.5. Anexo No. 5. Toma de muestra y resultados de DQO



INFORME DE RESULTADOS

RC38-06

N°. 22-302

Pág. 2 de 3

Párametros	Método Interno LANCAS	Método de Referencia	Unidades	Valor
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	PE36	HACH No 8000 12/99 7 ed	mg/L	127 ⁽¹⁾

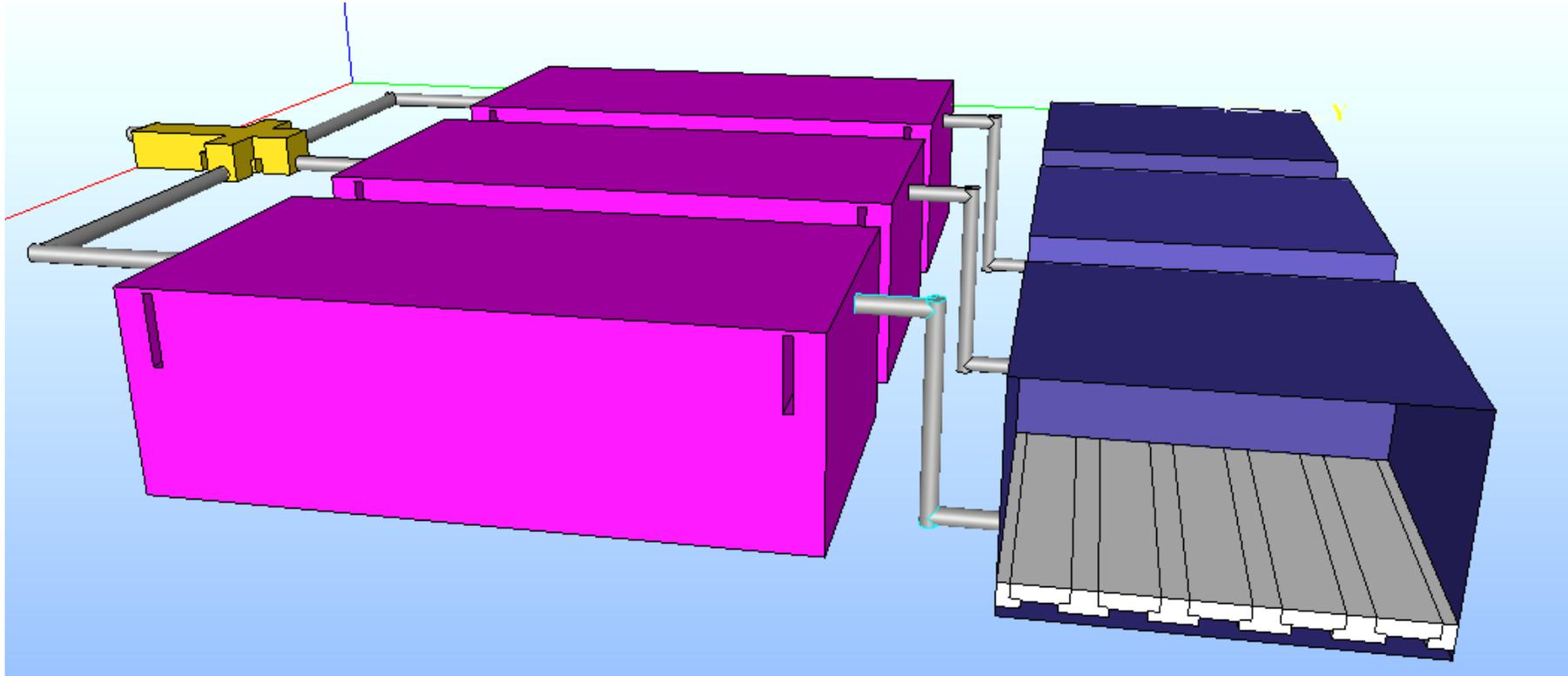
REFERENCIAS Y OBSERVACIONES:

⁽¹⁾ Los resultados de ensayo podrían estar afectados por condiciones de recepción de la muestra*

Autorizado por:
Dra. Jeaneth Cartagena
Coordinador de Laboratorio

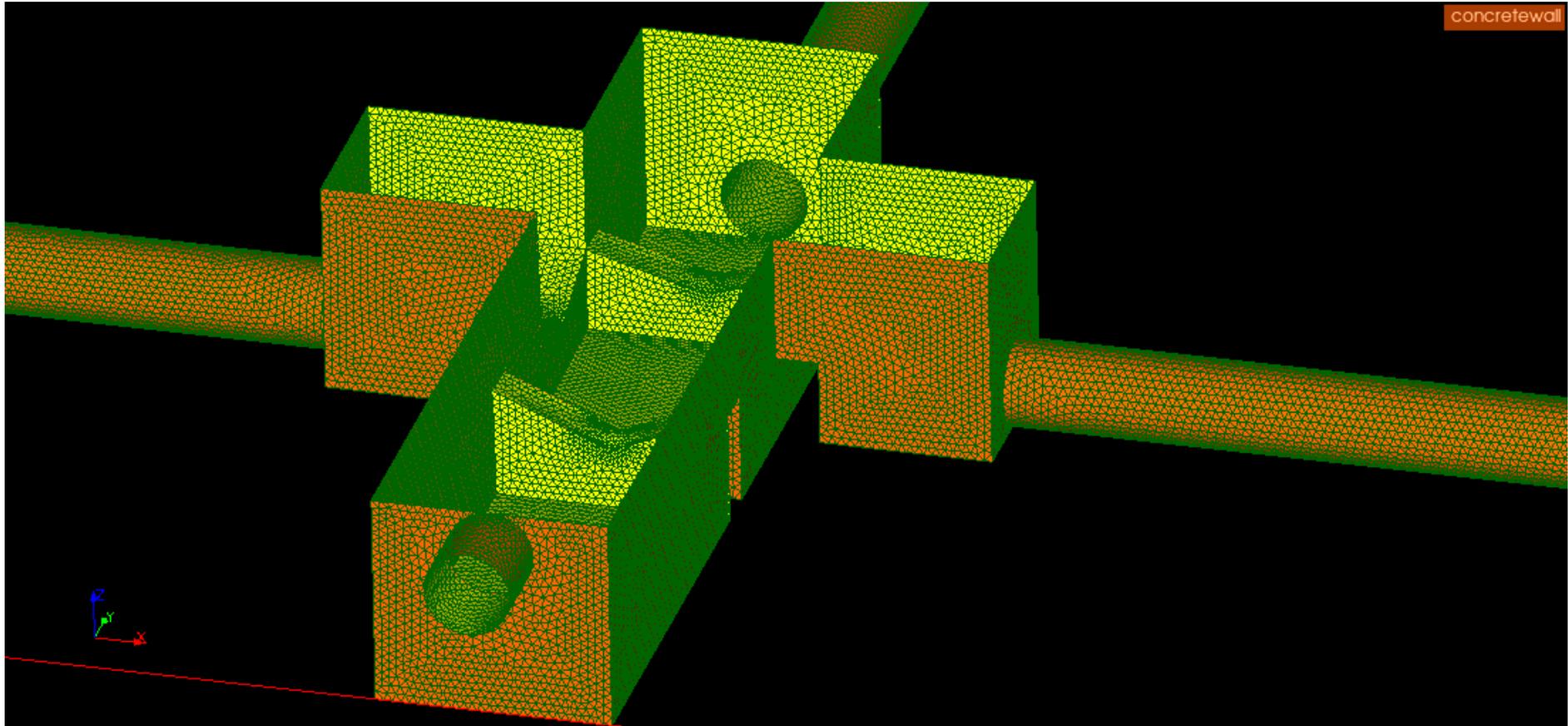


15.6. Anexo No. 6. Modelado del sistema de descomposición anaerobia



15.7. Anexo No. 7. Características del diseño de los mallados en Salome

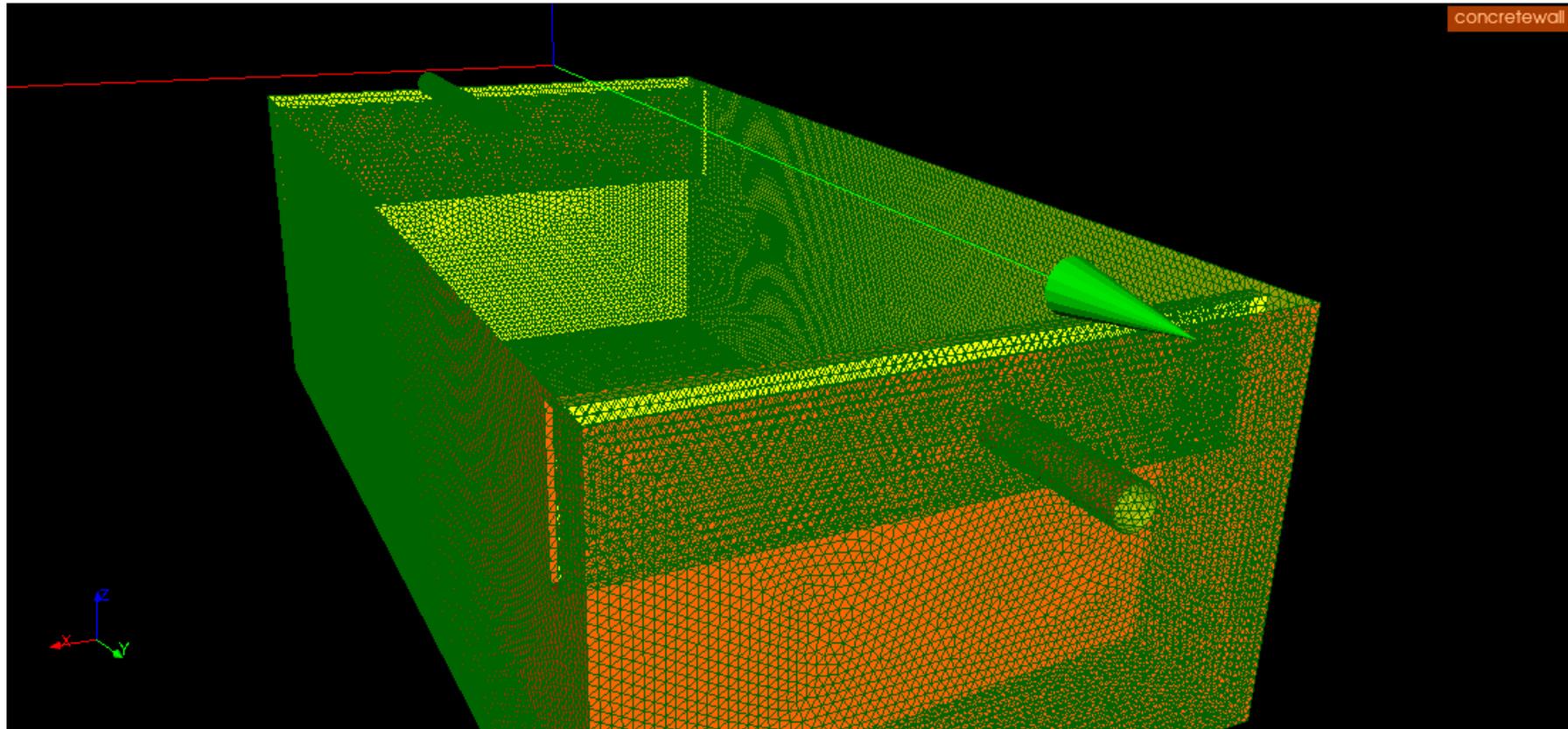
Tanque de distribución



Base Info				
Element Info	Additional Info	Quality Info		
Name:	Mesh_1			
Object:	Mesh			
Nodes:	13952			
Elements:	<i>Total</i>	<i>Linear</i>	<i>Quadratic</i>	<i>B-Quadratic</i>
	74874	74874	0	0
0D:	0			
Balls:	0			
1D (edges):	920	920	0	
2D (faces):	13956	13956	0	0
Triangles:	13956	13956	0	0
Quadrangles:	0	0	0	0
Polygons:	0	0	0	
3D (volumes):	59998	59998	0	0
Tetrahedrons:	59998	59998	0	
Hexahedrons:	0	0	0	0
Pyramids:	0	0	0	
Prisms:	0	0	0	0
Hexagonal Prisms:	0			
Polyhedrons:	0			

Base Info	Element Info	Additional Info	Quality Info
Groups			
Faces			
atmosphere			
Type	Group on geometry		
Shape	atmosphere		
Size	766		
Color			
Underlying nodes	441		
inlet			
Type	Group on geometry		
Shape	inlet		
Size	48		
Color			
Underlying nodes	34		
outlet1			
Type	Group on geometry		
Shape	outlet1		
Size	42		
Color			
Underlying nodes	31		
outlet2			
Type	Group on geometry		
Shape	outlet2		
Size	44		
Color			
Underlying nodes	32		
outlet3			
Type	Group on geometry		
Shape	outlet3		
Size	44		
Color			
Underlying nodes	32		
concretewall			
Type	Group on geometry		
Shape	concretewall		
Size	13012		
Color			
Underlying nodes	6596		

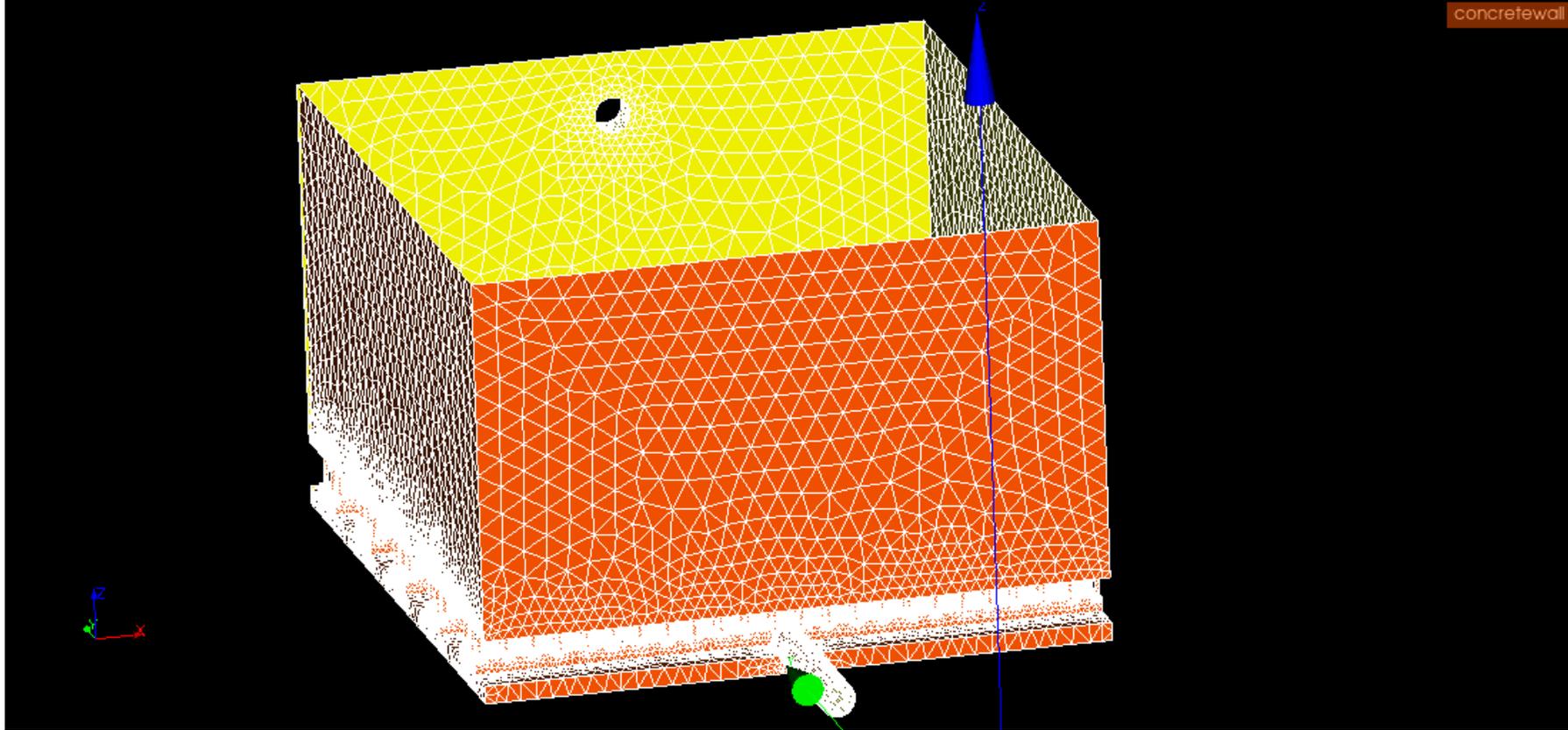
Tanque séptico



Base Info				
Element Info	Additional Info	Quality Info		
Name:	Mesh_3			
Object:	Mesh			
Nodes:	144771			
Elements:	<i>Total</i>	<i>Linear</i>	<i>Quadratic</i>	<i>B-Quadratic</i>
	838669	838669	0	0
0D:	0			
Balls:	0			
1D (edges):	1052	1052	0	
2D (faces):	31244	31244	0	0
Triangles:	31244	31244	0	0
Quadrangles:	0	0	0	0
Polygons:	0	0	0	
3D (volumes):	806373	806373	0	0
Tetrahedrons:	806373	806373	0	
Hexahedrons:	0	0	0	0
Pyramids:	0	0	0	
Prisms:	0	0	0	0
Hexagonal Prisms:	0			
Polyhedrons:	0			

Base Info	Element Info	Additional Info	Quality Info
4	Name	Mesh_3	
	Type	Based on geometry	
	Shape	Ceptico	
4	Groups		
4	Faces		
4	atmosphere		
	Type	Group on geometry	
	Shape	atmosphere	
	Size	7034	
	Color		
	Underlying nodes	3636	
4	inlet		
	Type	Group on geometry	
	Shape	inlet	
	Size	16	
	Color		
	Underlying nodes	14	
4	outlet		
	Type	Group on geometry	
	Shape	outlet	
	Size	16	
	Color		
	Underlying nodes	14	
4	concretewall		
	Type	Group on geometry	
	Shape	concretewall	
	Size	24178	
	Color		
	Underlying nodes	12212	

Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente



Base Info	Element Info	Additional Info	Quality Info	
Name:	Mesh_2			
Object:	Mesh			
Nodes:	80397			
Elements:	<i>Total</i>	<i>Linear</i>	<i>Quadratic</i>	<i>Bi-Quadratic</i>
	460676	460676	0	0
0D:	0			
Balls:	0			
1D (edges):	9403	9403	0	
2D (faces):	41398	41398	0	0
Triangles:	41398	41398	0	0
Quadrangles:	0	0	0	0
Polygons:	0	0	0	
3D (volumes):	409875	409875	0	0
Tetrahedrons:	409875	409875	0	
Hexahedrons:	0	0	0	0
Pyramids:	0	0	0	
Prisms:	0	0	0	0
Hexagonal Prisms:	0			
Polyhedrons:	0			

Base Info	Element Info	Additional Info	Quality Info
▾ Name		Mesh_2	
Type		Based on geometry	
Shape		Filtro	
▾ Groups			
▾ Faces			
▾ atmosphere			
Type		Group on geometry	
Shape		atmosphere	
Size		3954	
Color			
Underlying nodes		2061	
▾ inlet			
Type		Group on geometry	
Shape		inlet	
Size		16	
Color			
Underlying nodes		14	
▾ outlet			
Type		Group on geometry	
Shape		outlet	
Size		16	
Color			
Underlying nodes		14	
▾ concretewall			
Type		Group on geometry	
Shape		concretewall	
Size		37412	
Color			
Underlying nodes		18080	

15.8. Anexo No. 8. Matriz para la aplicación del modelado ASM1

Component -		i													Process Rate, r_i [ML ⁻³ T ⁻¹]	
j	Process +	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Aerobic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$			$-i_{NH}$		$-\frac{i_{NH}}{14}$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) X_{B,H}$	
2	Anoxic growth of heterotrophs		$-\frac{1}{Y_H}$			1				$-\frac{1-Y_H}{2.86 Y_H}$		$-i_{NH}$		$\frac{1-Y_H}{14 \cdot 2.86 Y_H} - i_{NH}/14$	$\mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \times \left(\frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right) \eta_b X_{B,H}$	
3	Aerobic growth of autotrophs						1		$-\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$		$-i_{NH} - \frac{1}{Y_A}$		$\frac{i_{NH}}{14} - \frac{1}{7 Y_A}$	$\mu_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right) X_{B,A}$	
4	'Decay' of heterotrophs				$1 - f_p$	-1		f_p						$i_{NH} - f_p i_{NH}$	$b_H X_{B,H}$	
5	'Decay' of autotrophs				$1 - f_p$		-1	f_p						$i_{NH} - f_p i_{NH}$	$b_A X_{B,A}$	
6	Ammonification of soluble organic nitrogen											1	-1	$\frac{1}{14}$	$k_a S_{NO} X_{B,H}$	
7	'Hydrolysis' of entrapped organics		1		-1										$k_h \frac{X_H/X_{B,H}}{K_X + (X_H/X_{B,H})} \left[\left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_b \left(\frac{K_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right) \right] X_{B,H}$	
8	'Hydrolysis' of entrapped organic nitrogen											1	-1		$\rho_1 (X_{NH}/X_A)$	
Observed Conversion Rates [ML ⁻³ T ⁻¹]		$r_i = \sum_j x_{ij} P_j$														
Stoichiometric Parameters: Heterotrophic yield: Y_H Autotrophic yield: Y_A Fraction of biomass yielding particulate products: f_p Mass N/Mass COD in biomass: i_{NH} Mass N/Mass COD in biomass from biomass: i_{NH}		Soluble inert organic matter [M(COD)L ⁻³]	Readily biodegradable substrate [M(COD)L ⁻³]	Particulate inert organic matter [M(COD)L ⁻³]	Slowly biodegradable substrate [M(COD)L ⁻³]	Active heterotrophic biomass [M(COD)L ⁻³]	Active autotrophic biomass [M(COD)L ⁻³]	Particulate products arising from biomass decay [M(COD)L ⁻³]	Oxygen (negative COD) [M(-COD)L ⁻³]	Nitrate and nitrite nitrogen [M(N)L ⁻³]	NH ₄ + NH ₃ nitrogen [M(N)L ⁻³]	Soluble biodegradable organic nitrogen [M(N)L ⁻³]	Particulate biodegradable organic nitrogen [M(N)L ⁻³]	Alkalinity—Molar units	Kinetic Parameters: Heterotrophic growth and decay: $\mu_H, K_S, K_{O,H}, K_{NO_3}, \eta_b$ Autotrophic growth and decay: $\mu_A, K_{NH}, K_{O,A}, b_A$ Correction factor for anoxic growth of heterotrophs: η_b Ammonification: k_a Hydrolysis: k_h, K_X Correction factor for anoxic hydrolysis: ρ_1	

15.9. Anexo No. 9. Variables orgánicas (Ss y Xs) para el modelo ASM1.

User Inputs

Influent Composition

cod	total COD	gCOD/m ³	3374.0
x	total suspended solids	g/m ³	2430.0
tkn	total TKN	gN/m ³	160.25

Organic Variables

xba	active autotrophic biomass	gCOD/m ³	0.0
xu	unbiodegradable particulates from cell de...	gCOD/m ³	0.0

Dissolved Oxygen

so	dissolved oxygen	gO ₂ /m ³	0.14
----	------------------	---------------------------------	-------------

Nitrogen Compounds

sno	nitrate and nitrite	gN/m ³	850.0
snn	dinitrogen	gN/m ³	0.0

Alkalinity

salk	alkalinity	mole/m ³	7.0
------	------------	---------------------	-----

Influent Fractions

icv	XCOD/VSS ratio	gCOD/gVSS	4.708
fbod	BOD ₅ /BOD _{ultimate} ratio	-	0.7304

TSSCOD Model Coefficients

frsi	inert fraction of soluble COD	-	0.039
frxs	substrate fraction of particulate COD	-	0.156
frxbh	heterotrophic fraction of particulate COD	-	0.0
fnh	ammonium/TKN ratio	-	0.63
fxn	part. org. N/total org. N ratio	-	0.9
ivt	VSS/TSS ratio	gVSS/gTSS	0.1029

ASM1 Nutrient Fractions

ixbn	N content of active biomass	gN/gCOD	0.086
ixun	N content of endogenous/inert mass	gN/gCOD	0.053

State Variables

Inorganic Suspended Solids

xii	inert inorganic suspended solids	g/m ³	2180.0
-----	----------------------------------	------------------	--------

Organic Variables

si	soluble inert organic material	gCOD/m ³	85.7
ss	readily biodegradable substrate	gCOD/m ³	2111.1
xi	particulate inert organic material	gCOD/m ³	993.6
xs	slowly biodegradable substrate	gCOD/m ³	183.6
xbh	active heterotrophic biomass	gCOD/m ³	0.0
xba	active autotrophic biomass	gCOD/m ³	0.0
xu	unbiodegradable particulates from cell de...	gCOD/m ³	0.0
xsto	internal cell storage product	gCOD/m ³	0.0

Dissolved Oxygen

so	dissolved oxygen	gO ₂ /m ³	0.14
----	------------------	---------------------------------	------

Nitrogen Compounds

snh	free and ionized ammonia	gN/m ³	101.0
snd	soluble biodegradable organic nitrogen	gN/m ³	5.93
xnd	particulate biodegradable organic nitrogen	gN/m ³	0.704
sno	nitrate and nitrite	gN/m ³	850.0
snn	dinitrogen	gN/m ³	0.0

Alkalinity

salk	alkalinity	mole/m ³	7.0
------	------------	---------------------	-----

Composite Variables

Volatile Fraction

ivt	VSS/TSS ratio	gVSS/gTSS	0.103
-----	---------------	-----------	-------

Composite Variables

x	total suspended solids	g/m ³	2430.0
vss	volatile suspended solids	g/m ³	250.0
xiss	total inorganic suspended solids	g/m ³	2180.0
bod	total carbonaceous BOD ₅	gO ₂ /m ³	1676.1
cod	total COD	gCOD/m ³	3374.0
tkn	total TKN	gN/m ³	160.3

Additional Composite Variables

sbod	filtered carbonaceous BOD ₅	gO ₂ /m ³	1542.0
xbod	particulate carbonaceous BOD ₅	gO ₂ /m ³	134.1
sbodu	filtered ultimate carbonaceous BOD	gO ₂ /m ³	2111.1
xbodu	particulate ultimate carbonaceous B...	gO ₂ /m ³	183.6
bodu	total ultimate carbonaceous BOD	gO ₂ /m ³	2294.8
scod	filtered COD	gCOD/m ³	2196.8
xcod	particulate COD	gCOD/m ³	1177.2
stkn	filtered TKN	gN/m ³	106.9
xtkn	particulate TKN	gN/m ³	53.4
tn	total nitrogen	gN/m ³	1010.3

Stoichiometric Ratios

↔	COD / TKN	gCOD/gN	21.1
↔	COD _{biodeg} / TKN	gCOD/gN	14.3
↔	NH ₄ / TKN	-	0.63
↔	VSS / TSS	gVSS/gTSS	0.103
↔	XCOD / VSS	gCOD/gVSS	4.71
↔	BOD / COD	gO ₂ /gCOD	0.497

15.10. Anexo No. 10. Memoria técnica

MEMORIA TECNICA DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLANTA DE TRATAMIENTO PARA EL CEYPSA U.T.C., PARROQUIA ELOY ALFARO, LATACUNGA, COTOPAXI

1.- GENERALIDADES

1.1.- INTRODUCCION

La Universidad Técnica de Cotopaxi, en 1997 adquiere los predios que se llamaban Hacienda Frutícola Salache Bajo y Hacienda Santa Bárbara de Salache, donde actualmente funciona el Centro Experimental y Producción Salache (CEYPSA).

La ingeniería sanitaria contribuye a la solución de diversos problemas sanitarios y de medio ambiente.

El objetivo es adoptar el medio físico a las condiciones que le permite a la población vivir sana, sin molestias e incomodidades a través de la aplicación de los principios y normas sanitarias, plantear soluciones a los diferentes problemas que se presentan en el CEYPSA como la falta de un sistema de alcantarillado con su respectiva planta de tratamiento para las aguas residuales.

1.2.- ASPECTOS GENERALES DE LA POBLACION

Para la formación profesional, la Universidad ha establecido una serie de proyectos agrícolas, pecuarios, ecos turísticos, de agroindustrias y medioambientales, los mismos que sirven para la formación académica, la investigación científica, la transferencia de tecnología y la vinculación social con las diferentes comunidades y sectores sociales y productivos.

3.2.2.- POBLACION FUTURA

Se analizará la población futura separadamente en Población Futura Vegetativa, y Población Futura Flotante y para el cálculo optamos la utilización de métodos estrictamente matemáticos.

POBLACION FUTURA VEGETATIVA

Método Aritmético:

$$Pf = Pa*(1+i*n)$$

dónde:

Pf = población futura

Pa = población actual

i = tasa de crecimiento o {índice de crecimiento

n = periodo de años

$$Pf = 1715*(1+0.05*25) = 3859 \text{ hab}$$

15.11. Anexo No. 11. Aval del Traductor