

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Simulación de una planta de tratamiento de aguas
residuales domésticas generadas en el distrito de
Huancayo mediante el uso del software Stella -
2021**

Owen Manuel Inga Marcelo
Zullin Mariory De La Cruz Canchumani

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS GENERADAS EN EL DISTRITO DE HUANCAYO MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE STELLA - 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

27%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

14%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	4%
3	qdoc.tips Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.biblioteca.usac.edu.gt Fuente de Internet	1%
8	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%

9	es.slideshare.net Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1 %
11	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	González Alvarado Judith. "Evaluación de impactos y externalidades ambientales causados por un humedal artificial en un área natural protegida", TESIUNAM, 2013 Publicación	<1 %
13	www.proteccioncivil.org Fuente de Internet	<1 %
14	www.parquesyespacios.gob.ec Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
16	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
18	www.garrigues.com Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	esdocs.com Fuente de Internet	<1 %
23	doc.rero.ch Fuente de Internet	<1 %
24	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
26	Sifuentes Valenzuela Gerardo. "Planta de tratamiento de aguas residuales Bahia de Conejos, Huatulco Oaxaca", TESIUNAM, 1996 Publicación	<1 %
27	Cárdenas Hernández Miguel. "Esquemas de financiamiento público-privados para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en México", TESIUNAM, 2016 Publicación	<1 %
28	Cabeza de Vaca Inclán Francisco Albar. "Digestión anaerobia de lodos residuales	<1 %

usando un reactor de manto de lodos no convencional (tipo UASB)", TESIUNAM, 2008

Publicación

29

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

30

"Gestión integral hídrica del canal surco para la configuración de un ecosistema urbano sustentable", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2022

Publicación

<1 %

31

Franco Mercado Luis Raymundo. "Propuesta de modificación de la planta de tratamiento de agua residual de una terminal de almacenamiento y reparto de PEMEX refinación para dar cumplimiento a la NOM-003-SEMARNAT-1997", TESIUNAM, 2016

Publicación

<1 %

32

"Gobernanza del agua en territorios agrícolas - Estudio de caso en Perú", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021

Publicación

<1 %

33

THE ANDEAN SUSTAINABLE GROUP S.A.C. - THE ANDEAN SG S.A.C.. "EIA del Proyecto Ariana-IGA0005501", R.D. N° 127-2016-MEM/DGAAM, 2020

Publicación

<1 %

34

CONSULTORIA INTERNACIONAL EN INGENIERIA Y GESTION PARA EL DESARROLLO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA-CINYDE.

"PMA del Vertimiento de Agua Residual de la Unidad Productiva (Operativa) de la Central Térmica Ventanilla, para su Adecuación a la Cuarta Disposición Complementaria Transitoria del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (D.S. N° 001-2010-AG)-IGA0001557", R.D. N° 111-2013-MEM/AE , 2020

Publicación

<1 %

35

García Castañeda Celene. "Evaluación de la desnitrificación por Pseudomonas stutzeri de aguas sintéticas de mar y residual doméstica bajo condiciones controladas de laboratorio", TESIUNAM, 2018

Publicación

<1 %

36

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

37

Submitted to Universidad Católica Sedes Sapientiae

Trabajo del estudiante

<1 %

38

biblioteca.usac.edu.gt

Fuente de Internet

<1 %

39	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1 %
40	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
41	Q'MIR S.R.L.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del PAMA del Centro de Operaciones N°3 de la Empresa Servicios Industriales de la Marina-IGA0014953", R.D. N° 0444-2020-PRODUCE/DGAAMI, 2021 Publicación	<1 %
42	Submitted to Universidad Catolica de Manizales Trabajo del estudiante	<1 %
43	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
44	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	"Applied Computer Sciences in Engineering", Springer Science and Business Media LLC, 2017 Publicación	<1 %
46	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

48

revistas.unjbg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

49

Ramírez Lagunas Marianna. "Caracterización geofísica-hidrogeológica del acuífero kárstico en la zona de Ocozocoautla, Chiapas", TESIUNAM, 2015

Publicación

<1 %

50

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

51

repositorio.uho.edu.cu

Fuente de Internet

<1 %

52

ANDREA LUCIA MEDINA GÓMEZ. "ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS METODOLÓGICOS PARA EL DESARROLLO DE LOS PRODUCTOS DE JOYERÍA CONTEMPORÁNEA: UNA OBSERVACIÓN EN LATINOAMÉRICA Y EUROPA", Universitat Politecnica de Valencia, 2013

Publicación

<1 %

53

ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A.. "Adenda al EIA de Renovación de Equipos, Maquinaria y del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas de las Plantas de Congelado y Harina Residual, Ubicadas en el Distrito de Paita, Piura-IGA0004579", R.D. N° 346-2016-PRODUCE/DGCHD, 2020

Publicación

<1 %

54	Hernández Hernández Yliana Selene. "Tratamiento de aguas residuales de la industria síntesis de azocolorantes por medio de procesos biológicos combinados", TESIUNAM, 2009 Publicación	<1 %
55	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
56	repositorio.udl.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
57	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
58	García Fernandez Galicia Carlos Jesus. "Tratamiento de aguas residuales en suelos", TESIUNAM, 1995 Publicación	<1 %
59	Olguin Martinez Miguel Angel. "Manejo de sistemas pequeños y descentralizados de aguas residuales", TESIUNAM, 2005 Publicación	<1 %
60	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "PMA de Perforación de Reentrada de 4 Pozos Existentes sobre 4 Plataformas Existentes en el Yacimiento Corrientes - Lote 8-IGA0002748", R.D. N° 214-2013-MEM/AAE, 2020	<1 %

61

"Configuración de la nueva Área Metropolitana de Quito : usos del suelo y escenarios futuros para la planificación", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2020

Publicación

<1 %

62

FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "EIA-SD del Proyecto Industrial de Oleaginosas - Servicios Agrarios de Pucallpa-IGA0015737", R.D. N° 0300-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2022

Publicación

<1 %

63

Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

64

archive.org
Fuente de Internet

<1 %

65

Vélez García Rocío. "Diseño de una metodología para la evaluación y selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales municipales, considerando aspectos tecnológicos, ambientales y económicos", TESIUNAM, 2010

Publicación

<1 %

66

pirhua.udep.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

67

Juarez Heredia Isabel de Castilla. "Reuso de las aguas residuales tratadas", TESIUNAM, 1995

Publicación

<1 %

68

Morgan Sagastume Fernando. "Tratamiento anaerobio de aguas residuales municipales : su potencial aplicacion en Mexico", TESIUNAM, 1996

Publicación

<1 %

69

García Perez Eunice Angélica. "Estudio de factibilidad para la instalacion de una planta de tratamiento de aguas residuales, como alternativa para el sistema de riego de un campo de golf, localizado en el Distrito Federal, Delegacion Tlalpan", TESIUNAM, 2007

Publicación

<1 %

70

Molina Torres Angélica. "Marco jurídico de las aguas residuales de la Ciudad de México", TESIUNAM, 2019

Publicación

<1 %

71

Rivera Lima Aydee Fernanda. "Potencial de potabilización de agua de lluvias que ingresa a los Ríos Mixcoac y Texcalatlaco de la Ciudad de México", TESIUNAM, 2022

Publicación

<1 %

72

cybertesis.uni.pe

Fuente de Internet

<1 %

73 A. Gómez-Tagle. "Linking hydrogeology and ecosystem services: differential controls of surface field saturated hydraulic conductivity in a volcanic setting in central Mexico", Copernicus GmbH, 2009 <1 %
Publicación

74 Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral <1 %
Trabajo del estudiante

75 FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "Modificación de la DIA de la Planta de Empaque Fresco - Agrícola Cerro Prieto-IGA0013697", R.D.G. N° 467-2018-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021 <1 %
Publicación

76 Submitted to Universidad de Piura <1 %
Trabajo del estudiante

77 Ana Cláudia Oliveira e Souza, Newton Libanio Ferreira, Flávio Vasconcelos da Silva. "Empirical modeling of turbidity removal in a dissolved air flotation system: application of artificial neural networks", Water Supply, 2021 <1 %
Publicación

78 Benitez Eslava Edgardo Ulises. "Perspectivas de la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales en la zona metropolitana de la Ciudad de México", TESIUNAM, 1992 <1 %
Publicación

79

Diego Raza-Carrillo, Jhosselyn Acosta.
"Planificación ambiental y el reciclaje de
desechos sólidos urbanos", Economía
Sociedad y Territorio, 2022

Publicación

<1 %

80

Hexagon Series on Human and Environmental
Security and Peace, 2011.

Publicación

<1 %

81

INERCO CONSULTORIA PERU S.A.C.. "ITS de
los Proyectos Aumento de la Capacidad
Instalada de la Etapa de Fermentación y
Modificación de las Medidas de
Implementación del Plan de Manejo
Ambiental de la DIA Aprobada de Planta
Cusco y Reutilización de las Aguas Residuales
de la Planta de Tratamiento de Aguas
Residuales (PTAR)-IGA0019261", R.D. N° 466-
2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2022

Publicación

<1 %

82

Thalía Turrén-Cruz, Juan García-Rodríguez,
Miguel López Zavala. "Evaluation of Sanitation
Strategies and Initiatives Implemented in
Mexico from Community Capitals Point of
View", Water, 2019

Publicación

<1 %

83

"Water Availability and Management in
Mexico", Springer Science and Business Media
LLC, 2020

<1 %

84

WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "ITS del Proyecto Planta de Compresión en el Campamento Base de Operaciones Nuevo Mundo para la Ampliación del Proyecto de Desarrollo del Área Sur del Campo Kinteroni-IGA0001880", R.D. N° 168-2016-MEM/DGAAE, 2021

Publicación

<1 %

85

idbinvest.org

Fuente de Internet

<1 %

86

HUMING INGENIEROS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - HUMING INGENIEROS S.A.C.. "ITS del Proyecto: Construcción del Túnel del Pase, Pozas Sedimentaria, Almacén, Polvorín y Parque Industrial de la Central Hidroeléctrica 8 de Agosto 19 MW y la Modificación de la Línea de Transmisión de 138 kV S.E. 8 de Agosto - S.E. Tingo María-IGA0003170", R.D.R. N° 53-2019-GR-HUANUCO/DREMH, 2020

Publicación

<1 %

87

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

88

Estrada Arriaga Edson Baltazar. "Tratamiento de aguas residuales municipales con presencia de compuestos disruptores

<1 %

endocrinos mediante un bioproceso aerobio con membranas", TESIUNAM, 2011

Publicación

89

López Jiménez Adriana Isaura. "Pensamiento sistémico como piedra angular de las organizaciones que se enfrentan al cambio social y organizacional, y están abiertas al aprendizaje", TESIUNAM, 2012

Publicación

90

Muñoz Hernandez Victor Francisco. "Anteproyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales tipo urbana de un gasto de 2.5 litros por segundo", TESIUNAM, 2002

Publicación

91

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

92

"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 32 (2016)", Brill, 2018

Publicación

93

DELPHOS QUALITY INGENIEROS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "Modificación del EIA-SD para el Incremento de Capacidad de la Planta de Congelados de Productos Hidrobiológicos de 163.64 t/día a 329.39 t/día, Incrementando Solo la Capacidad de Procesamiento de la Planta de Congelados que Opera la Empresa ESMERALDA CORP de 42.87 t/día a 208.62

<1 %

<1 %

<1 %

<1 %

<1 %

t/día e Instalación de Tanque de Almacenamiento de Combustible Diésel para Grupos Electrógenos del Establecimiento Industrial Pesquero Ubicado en la Zona Industrial La Concordia, Distrito San Juan de Miraflores, Provincia y Departamento de Lima-IGA0016755", R.D. N° 00003-2022-PRODUCE/DGAAMPA, 2022

Publicación

94

ECOLOGIA Y TECNOLOGIA AMBIENTAL S.A.C. "ITS del Proyecto de Conexión de una Línea de Gas Natural a la Planta de Fabricación de Productos Farmacéuticos IQFARMA - Ate-IGA0012350", R.D. N° 119-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020

Publicación

95

Ester Galende Sánchez, Oscar Angulo Núñez. "Assessing the implementation of Payments for Hydrological Ecosystem Services in Peru through a bottom - up stakeholder analysis: Case study of Lima, Peru", World Water Policy, 2019

Publicación

96

Gutierrez Paz Victor Manuel, Hernandez Verazaluce Ricardo, Rocha Gasparri Jesus, Viazcan Cortés Arturo, Muñoz Leon Francisco. "Tratamiento de agua residual

<1 %

<1 %

<1 %

municipal por el metodo lagunar : estudio de un caso", TESIUNAM, 2006

Publicación

97

María Elvira Estruch Juan. "Diseño de una propuesta para la regulación técnica de los servicios de agua en España", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

<1 %

98

SAENZ JARA LUIS ERNESTO. "EIA-SD de la Infraestructura de Disposición Final, Planta de Valorización y Centro de Acopio de Residuos Sólidos Municipales del Proyecto Mejoramiento y Ampliación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Puerto Maldonado, Provincia de Tambopata, Región Madre de Dios-IGA0018822", R.G. N° 021-2019-MPT-GGA, 2022

Publicación

<1 %

99

dataonline.gacetajuridica.com.pe

Fuente de Internet

<1 %

100

repositorio.upao.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

101

repository.uniminuto.edu

Fuente de Internet

<1 %

102

ALFA INTEGRAL SOLUTIONS S.A.C.. "PAMA de la Planta de Fabricación de Ladrillos-

<1 %

IGA0017761", R.D. N° 00340-2021-
PRODUCE/DGAAMI, 2022

Publicación

103

AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES
S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Infraestructura de
Disposición Final de Residuos Sólidos No
Municipales Peligrosos y No Peligrosos -
Relleno de Seguridad La Joya-IGA0017851",
R.D. N° 00037-2022-SENACE-PE/DEIN, 2022

Publicación

<1 %

104

Bello Peza Israel. "Propuesta de un tren de
tratamiento para la remoción de metales
pesados presentes en el agua residual de la
industria textil", TESIUNAM, 2021

Publicación

<1 %

105

Borja Romero-Gonzalez, Jose A. Puertas-
Gonzalez, Carolina Mariño-Narvaez, Maria
Isabel Peralta-Ramirez. "Confinement
variables by COVID-19 predictors of anxious
and depressive symptoms in pregnant
women", Medicina Clínica (English Edition),
2021

Publicación

<1 %

106

CONSORCIO FICHTNER GMBH & CO. KG -
CONSULTORIA Y DIRECCION DE PROYECTOS -
CYDEP S.A.S.. "DIA del Proyecto Relleno
Sanitario para el Distrito de Pozuzo, Provincia

<1 %

de Oxapampa, Departamento de Pasco-
IGA0000132", R.D. N° 484-
2014/DSB/DIGESA/SA, 2020

Publicación

107

CONSORCIO SAN PEDRO. "Programa de
Reconversión y Manejo de Áreas Degradadas
por Residuos Sólidos del Distrito de
Pichanaqui, Provincia de Chanchamayo,
Departamento de Junín-IGA0018156", R.A. N°
117-2021/MPCH, 2022

Publicación

<1 %

108

Ceron Alfaro Oswaldo. "Aplicacion de lodos de
plantas potabilizadoras en materiales
cementantes para elaborar productos de la
construccion", TESIUNAM, 2006

Publicación

<1 %

109

DELPHOS QUALITY INGENIEROS SOCIEDAD
ANONIMA CERRADA. "Actualización del EIA
para Optimizar la Estrategia de Manejo
Ambiental para Actividades de Congelado de
81 t/día de Capacidad y Harina Residual de 9
t/h de Capacidad, Ubicado en el Distrito de
Paita, Piura-IGA0004207", R.D. N° 563-2016-
PRODUCE/DGCHD, 2020

Publicación

<1 %

110

DQ ASESORIA & CONSULTORIA E.I.R.L..
"Modificación y Actualización del Plan de
Cierre de la Cantera Antigua, Cantera

<1 %

Ayacucho y Cantera Acumulación Puno-IGA0020941", R.D. N° 00029-2022-PRODUCE/DGAAMI, 2022

Publicación

111

ENGINEERS & ENVIRONMENTAL PERU SOCIEDAD ANONIMA. "PMA para la Adecuación de los ECA de Agua del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de Perforación Exploratoria y Sísmica 2D y 3D, Lote Z-6-IGA0007494", R.D. N° 240-2012-MEM/AAE, 2022

Publicación

<1 %

112

Gilver Odilon Mendel Kombo Mpindou. "Aportación a la implantación del análisis de riesgo en los sistemas de distribución del agua: caso del Cryptosporidium para distintos niveles de desarrollo tecnológico en la potabilizadora", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

<1 %

113

Hernández Rivera Esli Hirepan. "El reúso potable indirecto como alternativa para el abastecimiento de la Zona Metropolitana del Valle de México", TESIUNAM, 2012

Publicación

<1 %

114

Huete Chevez Álvaro Francisco. "Eliminación biológica de metano y sulfuro de hidrógeno disuelto provenientes del tratamiento

<1 %

anaerobio de agua residual municipal",
TESIUNAM, 2017

Publicación

115 Javier Paredes Arquiola. "Integración de la modelación de la calidad del agua en un sistema de ayuda a la decisión para la gestión de recursos hídricos.", Universitat Politecnica de Valencia, 2004 <1 %

Publicación

116 M. C. Rogelis, M. Werner, N. Obregón, G. Wright. "Regional prioritisation of flood risk in mountainous areas", Copernicus GmbH, 2015 <1 %

Publicación

117 Magdalena Soledad Cifuentes Cabezas. "Recuperación de polifenoles de efluentes de almazara mediante procesos de membrana y tratamiento biológico de las corrientes de rechazo", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 <1 %

Publicación

118 PERU WASTE INNOVATION S.A.C. - PWI S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Relleno Sanitario, Planta de Tratamiento de Residuos Orgánicos y Planta de Separación de Residuos Inorgánicos Reciclables para las Ciudades de Nasca y Vista Alegre; Provincia de Nasca, Departamento de Ica-IGA0003519", R.D. N° 177-2014/DSB/DIGESA/SA, 2020 <1 %

Publicación

119 Raquel Heras Mozos. "Envases activos basados en el anclaje covalente reversible de compuestos antimicrobianos en quitosano.", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

120 Rodríguez Medina Andrea. "Filtración del efluente de un Reactor UASB mediante membranas dinámicas sumergidas en lodo anaerobio", TESIUNAM, 2019

Publicación

<1 %

121 SERV GEOGRAFICOS Y MEDIO AMBIENTE SAC. "ITS para la Modificación en la Captación de Agua, Disposición Final de Residuos y Vertimiento de Efluentes de la Locación de Perforación PAD A y Campamento Base Quincemil - Lote 76-IGA0015400", R.D. N° 046-2015-MEM-AAE, 2022

Publicación

<1 %

122 UMBRELLA ECOCONSULTING S.A.C.. "ITS de la Modificación de Sistemas de Tratamiento de Agua Potable y Aguas Residuales Domésticas Asociadas a los Campamentos y Casetas de Control de la Central Hidroeléctrica Marañón-IGA0015403", R.D.R. N° 128-2016-GR-HUANUCO/DREMH, 2022

Publicación

<1 %

123 pdfcookie.com
Fuente de Internet

<1 %

124	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
125	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
126	"Innovative Wastewater Treatment Technologies — The INNOQUA Project", Now Publishers, 2021 Publicación	<1 %
127	"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 23 (2007)", Brill, 2012 Publicación	<1 %
128	ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A.. "DIA del Camal Frigorífico Santiago Apostol-IGA0013520", R.G. N° 001-09-INRENA-OGATEIRN, 2021 Publicación	<1 %
129	Echaniz Rojas Rene Rafael. "Sistema experto para tratamiento de aguas residuales", TESIUNAM, 1996 Publicación	<1 %
130	FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "MEIA de la Planta Extractora de Aceite de Palma, a Efectos de Desarrollar el Proyecto de Inversión Construcción y Operación de una Planta de Refinación Física de Aceite Crudo de	<1 %

Palma de 100 Tm/día, Una Planta de Fraccionamiento de Aceite Refinado de Palma de 80 Tm/día Expandible a 100 TPD y las Líneas de Envasado de Aceites y Manteca-IGA0020368", R.D. N° 00213-2022-PRODUCE/DGAAMI, 2022

Publicación

131

JCI INGENIERIA & SERVICIOS AMBIENTALES S.A.C.. "Tercer ITS de la Unidad Minera Cerro de Pasco-IGA0012891", R.D. N° 00097-2020-SENACE-PE/DEAR, 2021

Publicación

132

"Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derechos Humanos, Volume 11 (1995)", Brill, 1998

Publicación

133

Arredondo Lopez Cecilia. "Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la zona de Amanalco de Becerra, Estado de México", TESIUNAM, 2013

Publicación

134

Clara Bretas Alvim. "Caracterización de microplásticos en aguas naturales y residuales, y su influencia y separación en procesos biológicos de depuración", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

<1 %

<1 %

<1 %

135 Gutierrez Morales Luis Alejandro. "Polabilizacion y Tratamiento: notas de Clase", TESIUNAM, 1983 $<1\%$
Publicación

136 Hernández Santiago Elizabeth. "Remoción de nitrógeno en reactores con biomasa inmovilizada implementando zonas aerobia y anóxica", TESIUNAM, 2014 $<1\%$
Publicación

137 Herrera Alanis José Luis. "Aspectos teoricos para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales", TESIUNAM, 2002 $<1\%$
Publicación

138 Ramos Uribe María Angélica. "La rentabilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales en Salamanca, Guanajuato", TESIUNAM, 2009 $<1\%$
Publicación

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

ASESOR

Ing. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros profesores de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, por sus experiencias y conocimientos que nos fueron brindados a lo largo de nuestra formación profesional.

Así también y de forma especial, agradecemos a nuestro asesor, Ing. José Vladimir Cornejo Tueros, por su dedicada paciencia para con el desarrollo y finalización de la presente investigación.

DEDICATORIA

Dedicamos la presente investigación a nuestros padres, quienes son nuestros motores para alcanzar a ser profesionales, así como por darnos fortaleza en todo momento en nuestras vidas.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	4
1.1.2.1. Problema general.....	4
1.1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	5
1.3.1. Justificación	5
1.3.2. Importancia	5
1.4. Limitaciones	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes del problema.....	8
2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos	8
2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis	10

2.2.	Bases teóricas	14
2.2.1.	Aporte del tratamiento de las aguas residuales en la conservación ambiental...	14
2.2.2.	Tratamiento y reúso de aguas residuales	16
2.2.2.1.	Procesos, niveles o fases del tratamiento de aguas residuales.....	17
2.2.2.2.	Criterios para la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales y su reúso	38
2.2.2.3.	Período de diseño	40
2.2.3.	Simulación de procesos	43
2.3.	Definición de términos básicos.....	48
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		51
3.1.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	51
3.1.1.	Método y alcance de la investigación.....	51
3.1.1.1.	Método específico	51
3.1.1.2.	Tipo de investigación.....	52
3.1.2.	Población y muestra.....	52
3.1.2.1.	Población	52
3.1.2.2.	Muestra.....	53
3.1.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	53
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....		56
4.1.	Identificación de requerimientos.....	56
4.2.	Análisis de la solución	70
4.3.	Diseño	73
CAPÍTULO V: CONSTRUCCIÓN.....		85
5.1.	Construcción	85
5.2.	Pruebas y resultados	103
CONCLUSIONES.....		105
TRABAJOS FUTUROS		111

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuadro propuesto por el Ministerio del Ambiente al 2030 frente al aseguramiento de la disponibilidad del agua ante el cambio climático.	16
Figura 2. Cuadro de datos para el cálculo del material de cribado.....	21
Figura 3. Vista de planta y corte del canal Parshall.	23
Figura 4. Cuadro de las dimensiones estandarizadas de canales Parshall.	24
Figura 5. Cuadro de los límites de aplicación.....	24
Figura 6. Esquema de descomposición biológica de la materia orgánica.	29
Figura 7. Metabolismo aeróbico de la materia orgánica.....	30
Figura 8. Metabolismo anaerobio de la materia orgánica.	31
Figura 9. Tipos de reactores para el tratamiento de aguas residuales.....	32
Figura 10. Esquema básico de un proceso de lodos activados.	33
Figura 11. Esquema de un UASB.....	35
Figura 12. Proceso del fango en una depuradora.	36
Figura 13. Esquema conceptual sobre servicios ambientales (referencial) en forma de un proceso (orientado a la simulación) y considerando variables de sostenibilidad.	45
Figura 14. Ejemplo de diagrama de niveles y flujos, y representación de la simulación...	46
Figura 15. Esquema de integración de la ciencia básica y aplicada con el enfoque tecnológico.....	52
Figura 16. Esquema metodológico de la investigación.	55
Figura 17. Representación del proceso.	72
Figura 18. Recopilación de representación de elementos de construcción de procesos en Stella.	73
Figura 19. Representación del flujo - Cámara de rejas gruesas.....	74
Figura 20. Representación del flujo - Cámara de rejas finas.	75
Figura 21. Representación de flujo - Desarenador rectangular.	76
Figura 22. Representación de flujo - Canal Parshall.	77
Figura 23. Representación de flujo - Decantador primario.....	78
Figura 24. Representación de flujo - Filtro percolador circular.....	79
Figura 25. Representación de flujo - Decantador secundario.....	80
Figura 26. Representación de flujo - Digestor primario y secundario.	81
Figura 27. Representación de flujo - Cámara de contacto.....	83
Figura 28. Representación de los procesos de pretratamiento.....	85

Figura 29. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejas gruesas, considerando un valor de anchura de 1.0 m.	87
Figura 30. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejas gruesas, considerando un valor de anchura de 1.5 m, válido acorde al dimensionamiento realizado.	87
Figura 31. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejas finas, considerando un valor de anchura de 1.0 m.	89
Figura 32. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejas finas, considerando un valor de anchura de 1.2 m, válido acorde al dimensionamiento realizado.	90
Figura 33. Correspondiente a los datos presentados para los desarenadores, considerando un valor de velocidad de flujo del doble de lo proyectado (0.6 m/s).	91
Figura 34. Correspondiente a los datos presentados para los desarenadores, considerando el valor de velocidad de flujo proyectado (0.3 m/s).	91
Figura 35. Representación de los procesos de regulación del caudal y tratamiento primario.	92
Figura 36. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores primarios, considerando un valor de tiempo de residencia menor (2).	94
Figura 37. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores primarios, considerando un valor de tiempo de residencia mayor (5).	95
Figura 38. Correspondiente a los datos presentados para los filtros percoladores, considerando un valor teórico de limo a emplear.	96
Figura 39. Correspondiente a los datos presentados para los filtros percoladores, considerando un valor proyectado de necesidad de limo a emplear.	97
Figura 40. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores secundarios (cantidad proyectada), considerando un valor teórico (%) de remoción de DBO y sólidos.	98
Figura 41. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores secundarios, considerando un valor teórico (%) de remoción de DBO y sólidos que se cumpla en el tiempo al considerar 2 decantadores adicionales a lo proyecto.	98
Figura 42. Representación de los procesos del tratamiento secundario y tratamiento terciario.	99
Figura 43. Correspondiente a los datos presentados para los digestores primarios, evidenciando que se tienen valores esperados de generación de biogás y de lodos considerando la capacidad de los digestores.	101

Figura 44. Correspondiente a los datos presentados para los digestores primarios, evidenciando que se tienen valores optimizados de generación de biogás y de lodos considerando la capacidad al sumar un digestor.	101
Figura 45. Correspondiente a los datos presentados para el digestor secundario, evidenciando que se tienen valores de generación de biogás y de lodos considerando la capacidad del digestor (complemento real y efectivo a los digestores primarios).....	102
Figura 46. Correspondiente a los datos presentados para la cámara de contacto, donde se evidencia la constancia del empleo de dosis de cloro y su constancia en la operatividad de la cámara de contacto.	103
Figura 47. Representación de los procesos del tratamiento de aguas residuales - simulación PTAR para la provincia de Huancayo.	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de integración de la ecoeficiencia en la tecnología del tratamiento de aguas residuales.	17
Tabla 2. Criterios de diseño de las rejillas de desbaste y cantidad de sólidos retenidos por las rejillas.	22
Tabla 3. Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de partículas (a una capacidad de remoción cercana al 90 %).	22
Tabla 4. Criterios de diseño de los desarenadores.	23
Tabla 5. Tipos de sedimentación.	25
Tabla 6. Características de los decantadores.	26
Tabla 7. Capacidad de trabajo de tamices.	26
Tabla 8. Rangos óptimos de pH para aplicación de coagulantes.	28
Tabla 9. Usos y dosis recomendadas para coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales.	28
Tabla 10. Control de procesos biológicos.	31
Tabla 11. Métodos de aireación.	33
Tabla 12. Rendimientos promedio en procesos anaerobios.	34
Tabla 13. Criterios para seleccionar sistemas de tratamiento de aguas residuales.	39
Tabla 14. Usos potenciales para las aguas residuales tratadas.	40
Tabla 15. Técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados.	53
Tabla 16. Datos de diseño para el cálculo de las dimensiones de las rejillas gruesas.	58
Tabla 17. Datos de diseño para el cálculo de las dimensiones de las rejillas finas.	59
Tabla 18. Datos de diseño para el cálculo de las dimensiones del desarenador rectangular.	60
Tabla 19. Datos de diseño para las dimensiones del canal Parshall.	62
Tabla 20. Dimensiones para el canal Parshall.	63
Tabla 21. Datos de diseño para las dimensiones del decantador primario.	63
Tabla 22. Datos de diseño para el cálculo del dimensionamiento del filtro percolador.	65
Tabla 23. Datos de diseño para el cálculo del dimensionamiento del decantador secundario.	66
Tabla 24. Datos de diseño para el dimensionamiento del digestor primario y secundario.	68
Tabla 25. Datos de diseño para el dimensionamiento de la cámara de contacto.	69

Tabla 26. Datos correspondientes a los elementos de Stella para los procesos de pretratamiento.....	86
Tabla 27. Datos correspondientes a los elementos de Stella para los procesos de regulación del caudal y de tratamiento primario.....	93
Tabla 28. Datos correspondientes a los elementos de Stella para los procesos del tratamiento secundario y cámara de contacto.....	100

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el aporte del uso de un simulador de procesos, software Stella, para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021, para lo cual se abordaron los lineamientos relacionados a la identificación de las condiciones de vertimiento de vertidos domésticos residuales que influyen en su tratamiento en el distrito precisado, así como la identificación y dimensionamiento de los métodos de viable aplicación para el tratamiento de dichos vertidos, en torno al cumplimiento de la normativa vigente y de forma que se establezca el aporte del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la conservación ambiental. El perfil metodológico se asoció al interés de alcance de un aporte tecnológico, considerando el empleo de un simulador de procesos, software Stella, que permita inferir en el adecuado dimensionamiento de la PTAR, así como evidencie su aporte en la viabilidad en torno a la gestión de información factible del proyecto. Como alcance de resultados, se identificó que las condiciones de vertimientos de aguas residuales domésticas que influyen en su tratamiento de éstas se asocian a las descargas de aguas residuales domésticas respecto de su caudal de distribución proyectado, a lo cual se debe procurar un seguimiento y control previo al desarrollo de la infraestructura de forma que la toma de decisiones sea oportuna por parte de la EPS Sedam Huancayo; los métodos de tratamiento proyectados permitirán generar aguas tratadas de categoría 3 respecto del Estándar de Calidad Ambiental y permitirá cumplir con los Límites Máximos Permisibles de forma que se controlen efectivamente aspectos ambientales que derive de fortalecer el desempeño ambiental, considerando la productividad del caso al proyectar la continuidad de las operaciones, factor relevante del empleo del simulador. Se concluye que el empleo de un simulador de procesos, software Stella, aporta en la viabilidad asociada a la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021, ya que aborda el escenario de automatización de la data técnica de dimensionamiento, además, permite identificar potenciales cuellos de botella en los procesos de tratamiento.

Palabras clave: tratamiento de aguas residuales, simulación de procesos, PTAR, Stella.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the contribution of the use of a process simulator, Stella software, for the implementation of a domestic wastewater treatment plant generated in the district of Huancayo, 2021, for which the guidelines related to the identification of the discharge conditions of domestic wastewater that influence its treatment in the specified district, as well as the identification and sizing of viable application methods for the treatment of domestic wastewater, around compliance with current regulations and in such a way that the contribution of domestic wastewater treatment to environmental conservation is established. The methodological profile was associated with the interest in reaching a technological contribution, considering the use of a process simulator, Stella software, which allows inferring the proper dimensioning of the WWTP, as well as evidencing its contribution to the feasibility of management. of feasible project information. As a scope of results, it was identified that the conditions of domestic wastewater discharges that influence their treatment are associated with domestic wastewater discharges with respect to their projected flow distributed, for which prior monitoring and control must be sought. to the development of the infrastructure so that decision-making is timely by the EPS Sedam Huancayo; The projected treatment methods will allow the generation of category 3 treated water with respect to the Environmental Quality Standard and will allow compliance with the Maximum Permissible Limits so that environmental aspects derived from strengthening environmental performance are effectively controlled, considering the productivity of the case when projecting the continuity of operations, a relevant factor in the use of the simulator. It is concluded that the use of a process simulator, Stella software, contributes to the feasibility associated with the implementation of a domestic wastewater treatment plant generated in the district of Huancayo, 2021, since it addresses the scenario of automation of the sizing technical data In addition, it allows the identification of potential bottlenecks in the treatment processes.

Keywords: wastewater treatment, process simulation, WWTP, Stella.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural necesario para la subsistencia de la vida en el planeta. Como servicio que nos brinda el ambiente, los recursos hídricos se presentan, por una parte, a través del flujo o cauce natural de las cuencas, donde justamente las poblaciones se han asentado con fines de disponibilidad para el desarrollo de sus actividades ya sean domésticas, de producción, entre otros. En dicha idea de empleo doméstico, el agua se emplea para fines de consumo al ser derivada posterior a su potabilización, así como se emplea para fines sanitarios, de limpieza, de riego de jardines y otras actividades comerciales, generando así la introducción de elementos y sustancias que alteran la calidad del recurso hídrico, generando propiamente aguas residuales lo cual evidencia la necesidad de instaurar alternativas de tratamiento a dichos aspectos ambientales de forma que se mitigue su nivel de impacto y se promuevan escenarios de equilibrio ambiental, por ende, se dirija al desarrollo sostenible de las sociedades (1).

La ciudad de Huancayo se encuentra inmersa en dicho enfoque de necesidad de tratamiento de las aguas residuales, ya que se viven actualmente dos frentes que agravan el contexto de significancia de impactos derivados de aquel escenario: el crecimiento demográfico y la inexistencia de una infraestructura para la remoción de elementos y sustancias contaminantes del recurso hídrico, de forma que se aporte, en términos de conservación ambiental, a los servicios ecosistémicos aguas abajo, así como se prevenga la polución ambiental al río Mantaro; la principal limitante para el desarrollo de la mencionada infraestructura se asocia a la ineficiente toma de decisiones por parte de los entes públicos enmarcados en dicho subsector, así como por el hecho de proyectar y determinar parámetros técnicos por la falta de data existente.

En dicho frente, la necesidad de emplear conocimientos e ideas innovadoras conlleva al empleo de la tecnología disponible que permita generar un aporte en la toma de decisiones, de modo que el objetivo de la presente investigación es determinar el aporte del uso de un simulador de procesos, software Stella, para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021, de forma que se impulse, a partir del presente primer abordaje, el empleo de la tecnología de la simulación basada en procesos para favorecer a la difusión de información, así como se oriente a por escenarios eficientes que aporten al desarrollo de proyectos de necesidad inmediata.

En el primer capítulo de la investigación se describe el planteamiento del estudio, abordando como tal al planteamiento del problema, profundizando el esquema de necesidad de abordar a las aguas residuales generadas en Huancayo, así como se aborda a la formulación del problema, objetivos, justificación, importancia y limitaciones de la investigación.

En el segundo capítulo se aborda al marco teórico, describiendo a los antecedentes del problema, ya sean de corte internacional y nacional, así como a las bases o fundamentos teóricos y metodológicos (prácticos) para abordar los aspectos técnicos que formen la base del alcance de los objetivos planteados.

El capítulo tercero presenta un enfoque metodológico y se centra en la naturaleza del diseño tecnológico basado en la observación como el contexto fundamental en el que se desarrolla el método científico. También se describen encuestas, conceptos básicos y aplicaciones, poblaciones, muestras y técnicas y herramientas de recopilación de datos.

El capítulo cuarto presenta la evaluación que aborda el diseño de la solución en base a las dimensiones técnicas de la planta de procesamiento, considerando el contexto como la identificación de los requerimientos, y se procede con el análisis de la solución y el diseño que contiene. En el marco de la utilización del simulador de software Stella.

El capítulo quinto trata sobre la estructura y el alcance de los resultados, enfatiza la importancia y la dirección del uso del software Stella para la detección y rentabilidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales, se enfoca en las pruebas y los resultados, y se enfoca en cómo las ideas generadas se utilizan en la investigación. Procesos parcialmente analizados en comparación con los resultados recopilados en segundo plano. Finalmente, presentamos conclusiones, trabajo futuro, referencias y un apéndice.

Los autores.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La disponibilidad del agua superficial en el Perú y su abundancia escapa en el contraste de la realidad actual respecto de su calidad, la cual es considerada como crítica (1). En dicho sentido, es imprescindible que la gestión de los recursos hídricos se oriente en la prevención y recuperación de la calidad del agua, especialmente de las fuentes naturales, en sentido que la potencialidad de los recursos hídricos se mantiene en función a su cantidad y calidad (1). Textualmente, la Autoridad Nacional del Agua (1) cita que “ante la evidente emergencia hídrica del país, por el desabastecimiento del agua y la vulnerabilidad de su calidad, aún no se dispone de recursos adecuados para gestionar las aguas residuales de forma eficiente y sostenible, ya que existen barreras de índole institucional, financiero y normativo que impiden que los gobiernos aceleren el paso”, de modo que se evidencia la relevancia de plantear iniciativas asociadas a la construcción de una visión de país en materia del alcance de una gestión eficiente de las aguas residuales, proponiendo su tratamiento, reúso y/o plantear usos alternativos orientados en la sostenibilidad (1). Así también, el desarrollo de instrumentos de planificación territorial también se orienta al respeto por el derecho humano al agua, además de dirigir su finalidad al

cumplimiento del sexto objetivo de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas al 2030, que traza como meta “el vertimiento cero y la reducción a la mitad de aguas residuales sin tratamiento” (1).

En relación a lo considerado por la normativa nacional, el Art. 185º del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) (2) considera que la implementación de sistemas de tratamiento de efluentes, así como el desarrollo de acciones de recuperación o remediación de los recursos hídricos, mantienen un ideal de incentivos en su participación, lo cual establece el hito inicial de la participación de los ciudadanos frente al uso responsable de los recursos naturales (contribución y retribución), que años después constituye el marco normativo de la Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (3), que considera que la promoción, regulación y supervisión de los mecanismos de retribución son derivados de acuerdos sociales voluntarios donde se establecen acciones de conservación, recuperación y uso sostenible, para el caso, de los recursos hídricos.

El reglamento de la ley anteriormente mencionada (D.S. 009-2016-MINAM) considera que los grupos de interés son retribuyentes de los servicios ambientales que provee la cuenca hidrográfica de su ámbito, de modo que es una necesidad el optar por sistemas de gestión que se orienten en la formulación y ejecución de proyectos de inversión con la finalidad de preservar, conservar y recuperar el equilibrio ecosistémico y la sostenibilidad de los servicios ambientales.

Asimismo, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) (3) considera que existe un impacto significativo derivado de la discontinuidad de los servicios debido de la escasez del agua principalmente en épocas de estiaje, lo cual también se asocia con la cada vez mayor demanda hídrica derivada del crecimiento demográfico, de modo que urge la necesidad de implementar recursos alternativos a fin de generar fuentes adicionales de suministro hídrico que justamente reduzcan la presión que se ejerce por la sobreexplotación de fuentes naturales (4); dicho ideal se sostiene en lo propuesto por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en sentido de la reutilización de las aguas residuales en el Perú tras su tratamiento

adecuado, lo cual también abarca al alcance de las metas de la ONU sobre la gestión de aguas residuales al 2030. Paucar e Iturregui (4) precisan que “el agua es un bien común de máxima importancia, por ello, es más que necesario el tratamiento eficiente de las aguas residuales que garantice la preservación de efluentes naturales de agua, lo que permite la disponibilidad de un recurso escaso, a través de su reutilización para múltiples fines”. Así también, Jullian *et al.* (5) consideran que la proyección de un escenario de resiliencia del medio, basada en la propuesta del tratamiento de las aguas residuales, favorecería a la disponibilidad de los recursos hídricos, así como a la conservación del ambiente.

El año 2016, el Ministerio del Ambiente realizó la entrega del Estudio de recuperación del servicio ambiental hídrico al Gobierno Regional de Junín (6), de modo que se orienten esfuerzos a la recuperación y conservación de dicho servicio, garantizando así la reserva del agua no solo para la ciudad de Huancayo, sino también considerando el flujo del caudal aguas abajo, de modo que se oriente a la sostenibilidad local; en 2020, especialistas de todo el Perú (7) se reunieron para la formulación de proyectos de inversión asociados al desarrollo de infraestructuras que se orienten en la conservación y recuperación de los ecosistemas, donde enfatizan que el empleo de Sistemas de Información Geográfica y softwares simuladores son herramientas que evidencian una proyección eficiente de escenarios a un futuro, de modo que se cotejen auténticas alternativas de solución en términos de viabilidad. Respecto del primer escenario, aún no se observa en la realidad que dichos esfuerzos de gestión estatal se hayan concretizado respecto de que la ciudad de Huancayo no tiene una planta de tratamiento de aguas residuales y ésta es considerada como una ciudad de relevante descarga de efluentes (caudal vertido al alcantarillado: 384 L/s, por ejemplo versus Cajamarca: 200 L/s, o Huánuco: 251 L/s) (8), demostrando así la necesidad de optar por lo recomendado en la actualidad para proyectar propuestas viables de ejecución de medidas que aporten en el alcance de la sostenibilidad, como es el caso del empleo de la tecnología (simulación) para así contribuir y retribuir en forma de conocimientos a la conservación ambiental y del recurso hídrico en las áreas de influencia directa del distrito de Huancayo, de forma que también se fortalezcan escenarios de desempeño ambiental.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es el aporte del uso de un simulador de procesos, software Stella, para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las condiciones asociadas a vertimientos de aguas residuales domésticas que influyen en su tratamiento en el distrito de Huancayo?
- ¿Cuáles los métodos de viable aplicación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo?
- ¿Cuál es el aporte del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la conservación ambiental?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el aporte del uso de un simulador de procesos, software Stella, para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las condiciones asociadas a vertimientos de aguas residuales domésticas que influyen en su tratamiento en el distrito de Huancayo.
- Identificar los métodos de viable aplicación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo.
- Establecer el aporte del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la conservación ambiental.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación

El alcance de los objetivos se orienta en la proposición de una alternativa que aporte en alcanzar escenarios ambientales equilibrados (favorecer a la concretización del tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo) empleando información existente, así como el empleo de un simulador de procesos (software Stella) de modo que se viabilice el desarrollo de la presente investigación tecnológica y orientar una proposición que evidencie viabilidad y aporte de forma sustancial en el conocimiento directamente vinculado y orientado al alcance de la sostenibilidad relacionada a la conservación ambiental y la valorización del servicio ambiental hídrico, en términos de asegurar el ideal de disponibilidad del recurso hídrico de calidad. Así también, es preciso denotar que los esfuerzos de encontrar escenarios de viabilidad que van de la mano con el empleo de la tecnología e informática se orientan a optimizar escenarios de desempeño ambiental, que, si bien suelen responder a evidenciar esfuerzos a nivel empresarial o privado, también aplica al entorno público en términos de mejora de la imagen institucional, así como para efectivizar la toma de decisiones.

1.3.2. Importancia

Tal como se expuso en el planteamiento del problema, la necesidad por brindar tratamientos a los vertidos domésticos generados en Huancayo es una prioridad, limitado en gran parte por la burocracia a nivel gubernamental, a lo cual, acorde a las exigencias tecnológicas actuales, nos planteamos abordar dicha propuesta de importancia para alcanzar escenarios de coexistencia con el ambiente (con perspectivas de remediación y conservación), y de desarrollo socioeconómico, mediante el empleo de un simulador de procesos, de modo que el aporte de la investigación sea representativa. Así también y tal como se expuso en la sección de justificación, el encontrar medios que viabilicen alternativas tecnológicas de real factibilidad, se orienta propiamente a la valoración del desempeño ambiental como tal que permite ser alcanzado a través del empleo de tecnología como es el caso del empleo de un simulador de procesos que se denota en la práctica como comprensible y de empleo efectivo para generar alternativas que lleguen a contribuir con el desarrollo de proyectos e intervenciones antrópicas en favor de la preservación del ambiente.

1.4. Limitaciones

La inexistencia del tratamiento de las aguas residuales genera vacíos de información en torno al empleo de data cuantitativa que permite realizar cálculos más exhaustivos o precisos orientados al término del aporte en la viabilidad; si bien existieron propuestas orientadas a desarrollar una infraestructura de tratamiento de aguas residuales para la provincia de Huancayo, propiamente para el caso urbano que acarrea a los distrito de Huancayo, El Tambo y Chilca, a través del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento al 2021 (9), por casi un valor de inversión de \$ 90 millones, se tuvieron que posponer en marco del no alcance de los lineamientos estratégicos de Proinversión (Portafolio 2020 - 2021) a consecuencia de la pandemia por la COVID-19, de forma que, actualmente, dicho enfoque de proyecto denominado “Ampliación y mejoramiento de los servicios de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales de las localidades de Huancayo, El Tambo, Chilca, Huayucachi, Huancán, Huacrapuquio y Viques” (10) nuevamente es retomado por el Titular: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento,

considerando la modalidad de ejecución por Iniciativa Privada Cofinanciada a partir de junio de 2023 y siendo esta vez el monto de \$ 172 millones al involucrar un mayor espectro geográfico, evidenciando vacíos en torno a la toma de decisiones actuales respecto del tratamiento de las aguas residuales, principalmente en la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS), recaída en la responsabilidad de SEDAM Huancayo, limitando información acerca de sus políticas de adecuación y/o adaptación frente al desarrollo de dichas intervenciones estructurales en términos de no contar con un nuevo sistema tarifario que permitirá el oportuno y óptimo funcionamiento de una infraestructura de tratamiento, limitando propiamente el acceso a información que se infiere al no obtener respuesta inmediata de parte de la entidad en materia de tratamiento de aguas residuales, lo cual concuerda con lo presentado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) (11), que señala que una de las principales ciudades a nivel nacional sin tratamiento de aguas residuales es Huancayo, de forma que el análisis de propuesta abordó una predisposición teórica y técnica que también permitió viabilizar el empleo de un simulador de procesos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos

En el artículo de investigación titulado “Software de ingeniería especializado en el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual: revisión”, se tuvo por objetivo presentar una revisión sobre los programas más utilizados para la simulación, diseño y control de plantas de tratamiento de agua residual, teniendo en cuenta que estas herramientas permiten mejorar el rendimiento, control y la mejora operacional de las PTAR. En forma de resultados y conclusiones se menciona que la aplicación de programas de simulación (como es el caso de Stella para la presente investigación) para proyectar el tratamiento de aguas residuales considera diversos procesos físicos y biológicos que deben ser evaluados constantemente para el empleo de los mismos frente a los potenciales cambios estructurales y físicos de la naturaleza, así como, el optar por el empleo de estas herramientas se sostiene en un ideal de practicidad de su uso, de manera que se obtienen conocimientos prácticos y significantes respecto de la anticipación de consecuencias del desarrollo de proyectos, es decir, permite considerar escenarios de mejora continua modificando criterios de operación constantemente (12).

En la investigación titulada “Control y operación de estaciones depuradoras de aguas residuales: modelado y simulación”, se tuvo como objetivo revisar sobre la problemática del control y operación de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) para el tratamiento del agua residual urbana, centrándose en el modelo y simulación de procesos biológicos, concretamente de la aplicación de lodos o fangos activados. Concluyen que la operación de las mencionadas estaciones es compleja debido a la naturaleza biológica de los elementos degradantes de lo orgánico y los nutrientes, donde la eliminación del C, N y P es primordial. De igual manera, se considera que la simulación proporciona un medio adecuado y viable (de bajo costo y efectivo) para predecir la operatividad de procesos sujetos a la variabilidad de los sistemas naturales. La limitante principal del empleo de simuladores se asocia con la elevada cantidad de posibles escenarios, de modo que la estandarización de los procesos técnicamente necesarios, así como las variables de operación del lugar en estudio, es significativa (13).

En el artículo científico titulado “*Simulation of full-scale wastewater treatment biological processes* (Simulación de procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales a gran escala)”, se planteó como objetivo el establecer un medio predictivo que aporte a la eficiencia de los procesos del tratamiento de aguas residuales especialmente en períodos y momentos de variación extrema. El proceso de relevancia para el estudio correspondió al tratamiento biológico, que emplea la eliminación biológica del fósforo (P; tanque de eliminación de 450 m³) así como a la nitrificación - desnitrificación, mientras que emplearon para el soporte de simulación al software WEST, considerando también la necesidad de operación de lodos activados y de correctores de la temperatura, esto debido a la escala de trabajo, la cual se detalla como significativa o a gran escala. En forma de resultados y conclusiones, se detalla que el empleo de simulador permite observar posibilidades de optimización de los procesos unitarios en las PTAR, sin embargo, es necesario realizar experimentos en cada fase o etapa del tratamiento en la mencionada planta (fraccionamiento por procesos), de modo que se identifiquen con mayor precisión oportunidades de mejora acorde a la naturaleza del lugar de emplazamiento del proyecto en su momento (14).

En el artículo de investigación titulado “*On-line simulation of wastewater treatment plants* (Simulación en línea de PTAR)”, se evidencia que los softwares (como los de simulación) tienden por ser un respaldo en la etapa de operación de PTAR, ya que alcanzan a predecir demandas y soluciones para dicho sistema. Se menciona que la funcionalidad de un sistema simulado abarca a cotejar criterios técnicos del mencionado sistema acorde a la naturaleza de desarrollo del mismo, de modo que, dichos parámetros, sean sometidos a evaluaciones de mejora constante, considerando factores de la dinámica ecosistémica que aportan información de entrada o “input”, de modo que se obtengan “stocks” de predicción y se aporte en el ahorro de costos tras la parada de la operación en planta, además de coberturar un óptimo tiempo de labores. Se concluye que los modelos actúan como observadores de procesos, con la finalidad de observar detalles precisos acerca del estado de los procesos de un sistema, para la presente el tratamiento de aguas residuales domésticas, además de que predicen el comportamiento futuro de la planta de tratamiento y evidenciar una tendencia por su automatización (15).

2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis

En la investigación orientada a evaluar la eficiencia de lodos activados en la remoción de contaminantes de vertidos residuales del distrito de San Miguel, se planteó el objetivo de determinar la eficiencia de remoción de lodos activados a través de módulo para el tratamiento de aguas residuales de fuente doméstica en el distrito mencionado, empleando un alcance aplicado y de diseño experimental, así como un nivel explicativo, de forma que en trabajos futuros, el conocimiento alcanzado sea empleado para la realización de prototipos y/o viabilizar ideales de proyectos de infraestructura de servicios; dentro de su parte experimental, menciona que se controló el tiempo de retención y la concentración del coagulante y el pH, para así alcanzar una mayor remoción de DBO₅, DQO, SST y turbidez, alcanzando así las siguientes conclusiones (16):

- Se alcanzó un 98 % de remoción de los contaminantes señalados mediante el control adecuado del sistema de lodos activados.

- La operación del sistema de lodos activados fue: retención hidráulica a 15 horas, concentración del coagulante a 300 ppm y se mantuvo al pH como neutro, es decir, en un valor de 7, además se mantuvo a la temperatura en 20.5°C.
- Es necesario realizar un sistema de recirculación del sedimentador al reactor de lodos activados de forma semi continua; el control ineficiente de este proceso ocasionará el envejecimiento de los lodos.
- Es oportuno implementar un sistema de agitación de mezcla del agua residual cruda a nivel del tanque de almacenamiento, de modo que la carga orgánica se mantenga uniforme en los procesos, de lo contrario los sólidos tenderán por depositarse en el fondo del tanque.

En la investigación orientada a diseñar una PTAR con el fin de obtener agua para riego de áreas verdes en Los Olivos, Lima, se planteó el objetivo de alcanzar dicho diseño (mediante el software BioWin) una PTAR para la remoción total o de una fracción de contaminantes de las aguas residuales domésticas vertidas a las redes de alcantarillado en el mencionado distrito limeño, de forma que puedan ser empleados en forma de reaprovechamiento para el riego de áreas verdes en el distrito; para proyectar los procesos del tratamiento, fue necesario identificar: (i) el caudal de diseño, (ii) la caracterización del agua residual, (iii) la ubicación de la PTAR, (iv) empleo del simulador a través del soporte BioWin para generar el diseño, llegando a determinar la necesidad de los siguientes procesos: (i) tratamiento preliminar (desbastes, cámaras de arena y de remoción de grasas), (ii) tratamiento primario (sedimentador primario), (iii) tratamiento secundario (filtros percoladores, sedimentador secundario o clarificador), (iv) tratamiento terciario (desinfección), y (v) tratamiento de lodos (digestor anaerobio), llegando así a las siguientes conclusiones (17):

- A mayor caudal que ingresa al tratamiento, menor es el grado de remoción, por lo cual es necesario optar por tratamientos que se complementen entre sí, considerando la disponibilidad de la fuente de energía requerida además de la viabilidad o sostén económico que permitirá la operación y mantenimiento continuos.

- El empleo de simuladores de procesos, como es el caso del soporte BioWin, representa un medio eficaz y de fácil uso en términos de simular procesos continuos como es el caso de los de una PTAR.
- Los lodos que se generarán deben recibir un tratamiento previo de estabilización de la materia orgánica, así como el deshidratado del medio sólido, de modo que puedan ser reaprovechados óptimamente.
- Es necesario generar una configuración en el simulador que garantice la no presencia de olores, de modo que exista un escenario de prevención de conflictos sociales, y así también orientar a una perspectiva de reúso del agua tratada, con fines de riego, que contribuya a la preservación del agua destinada a consumo.

En la tesis orientada al Diseño y análisis ambiental de una PTAR en Huaraz”, se tuvo por objetivo analizar ambientalmente y realizar el diseño de una PTAR en Huaraz que viabilice el alcance de niveles permisibles respecto de la calidad de los recursos hídricos, de modo que se mejoren las condiciones de vida de la población, para lo cual se empleó el corte metodológico de estimación del caudal de diseño, identificación de las características del agua residual y el análisis del ciclo de vida como evaluación ambiental, donde se empleó el software de simulación BioWin para proyectar el aporte de la PTAR, llegando así a los siguientes resultados y conclusiones (18):

- El diseño de la PTAR incluyó en su diseño a los componentes siguientes: rejas, desarenador, sedimentador primario, tanque equalizador, biorreactor de membrana, desinfección, digester anaerobio y la deshidratación de lodos.
- Las concentraciones de N y P suelen ser marcadas (mínimas o máximas) en los picos estacionales (estiaje o precipitación), condicionado por el régimen del caudal.
- La falta de alcance de tecnologías a aplicar en lo pertinente de remoción de contaminantes de vertidos residuales condiciona diseñar alternativas de recirculación para así alcanzar remociones mayores y significativas.
- El análisis del ciclo de vida permitió evaluar dos categorías de relevancia ambiental a nivel mundial: potencial de eutrofización y

calentamiento global, los cuales también son marcados por los períodos estacionales, donde en los meses de precipitación es necesario redoblar esfuerzos de control, ya que se reporta una relación de 2:1 respecto del período de estiaje, señalando que los esfuerzos de implementar infraestructuras, como una PTAR, son considerados prioritarios para lograr mitigar escenarios de impacto ambiental negativo producto del vertimiento de agua residual, contexto que en muchos casos es descontrolado.

En la investigación asociada a realizar una propuesta de diseño de una PTAR, en Ancash, se tuvo por objetivo proponer el diseño de dicha infraestructura considerando metodológicamente un tipo de investigación aplicado de enfoque mixto, alcance descriptivo y un diseño no experimental, considerando como fases/procesos del tratamiento al pretratamiento (desbaste, desarenador, remoción de aceites y grasas), tratamiento primario (tanques Imhoff, sedimentador primario, tanques de flotación) y tratamiento secundario (filtros percoladores, lagunas de estabilización, lodos activados), además detallando que es idóneo el caracterizar al efluente respecto de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, llegando así a concluir lo siguiente (19):

- El tratamiento de vertidos contaminados reducirá la contaminación paisajística e hídrica, favoreciendo a alcanzar la calidad de vida.
- El regulador de caudal que permitirá obtener un aforo adecuado del efluente a tratar se asocia con el diseño de un canal medidor Parshall.
- Procurar desarrollar propuestas donde se valore al tema de pendiente y/o curso de la sección de la cuenca a intervenir, de modo que sea un apoyo natural en la conducción del agua a tratar, así como identificar un límite de pendiente que permita prevenir embalses.

En la tesis titulada “Diseño y simulación de un proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas para la generación simultánea de energía eléctrica mediante celdas de combustible microbianas”, se planteó el objetivo de generar energía eléctrica mediante celdas de combustible microbiana tipo PEM, usando el simulador Aspen Plus®, a partir de tratar aguas residuales, llegando a las siguientes conclusiones (20):

- Es necesario considerar como parámetros fundamentales de diseño a: selección de la tecnología de tratamiento, el caudal, la población (generadora de fluentes y a servir) y las potenciales reacciones bioquímicas, así como la predicción de otras reacciones asociadas a las propiedades de los componentes orgánicos.
- El caudal de diseño debe contemplar el promedio (diario/contribución) y/o el pico máximo horario, en función del suministro a la población.
- Los sistemas de simulación son efectivos y demuestran la viabilidad del desarrollo de proyectos considerando contingencias respecto de la variabilidad de la operación de éstos en el tiempo, demostrando ser una estrategia por replicar para alcanzar escenarios de sostenibilidad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aporte del tratamiento de las aguas residuales en la conservación ambiental

Según el BID, citado por Ducci *et al.* (21), los recursos hídricos a nivel mundial se encuentran en una creciente presión, derivado del crecimiento demográfico, la expansión urbanística y el incremento en el consumo de agua a nivel poblacional o en actividades productivas (agrícolas o industriales), lo cual es conducente a la generación de contextos de escasez hídrica, mermando así el alcance de los Objetivos del Milenio. Así también, se tiene que las diferentes actividades desarrolladas por el ser humano generan desechos, los cuales pueden ser sólidos o líquidos, siendo relevantes como fuente de contaminación a los componentes ambientales, como son los cuerpos de agua, impactando también en la vegetación natural y, de forma significativa, sobre la fauna, por lo que es evidente la necesidad de brindar un tratamiento a los mencionados subproductos o desechos.

De igual forma, la falta del alcance de consensos entre las partes interesadas y la inexistencia de procesos de tratamiento y reúso de vertidos contaminados y tratados respectivamente, conducen a la sobreexplotación del recurso, así como al desequilibrio ecosistémico y

escenarios de inseguridad alimentaria, por lo cual es oportuno el prescindir del saneamiento de las aguas residuales, donde se adquiera una importancia mayor que garantice su recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición en los cuerpos receptores, de modo que no perjudiquen al medio ambiente y la salud de la población (21).

Lahera (22) precisa que, dado que cada día se procuran más fuentes de agua, uno de los principales impulsores de las crisis urbanas ahora es el desperdicio de agua que se usa en la vida diaria en los hogares, comercios, servicios e industrias, evidenciando que a medida que crece la población y aumenta la demanda de este recurso en las ciudades y zonas rurales. La necesidad de concebir que el hecho de regresar el agua que tomamos de la naturaleza en una condición “aceptable” para que siga su camino dentro del ciclo hidrológico, demuestra el interés de la población por alcanzar el Desarrollo Sostenible; en dicha perspectiva, se afirma que el incremento de habitantes, así como de acciones productivas, es consecuente al incremento en el caudal usado, en términos de fuente de generación de aguas residuales.

Según el Ministerio del Ambiente (23), el aporte del tratamiento y/o remoción de agentes contaminantes en el agua, se proyecta a la obtención de aportes en torno a los indicadores de sostenibilidad, ya sean de forma directa o indirecta, que la población obtendría del adecuado funcionamiento ecosistémico que garantiza la conservación de éstos frente al cambio climático.

AGUA ¹⁶				
Obj. Int	Asegurar la disponibilidad del agua ante el cambio climático ¹⁷ .			
Objetivos de Acción	Incentivar y promover el uso y aprovechamiento de aguas residuales tratadas, que incrementen la disponibilidad del agua frente al CC.	Promover la eficiencia en el uso del recurso para el uso agrario.	Promover iniciativas que permitan incrementar la capacidad de infiltramiento y almacenamiento de agua.	Promover mecanismos de financiamiento innovadores para la gestión sostenible y nuevas fuentes de agua.
Objetivos de Acción	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ 50 % de las aguas residuales urbanas tratadas son reusadas. ⊕ 30 % de las aguas residuales rurales tratadas son reusadas. ⊕ Aumentar el volumen de aguas reutilizadas, utilizadas para consumo agrícola, energético, minero e industrial. 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Porcentaje de la superficie agrícola (hectáreas) con adopción de tecnologías de riego tecnificado que incluyen consideraciones de adaptación al cambio climático. 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Aumento en el número de iniciativas para la recuperación de los sistemas tradicionales de edificaciones de la siembra y cosecha de agua. ⊕ Incrementar el número de m3 de agua pluvial almacenada superficialmente (en cochas, lagunas, estanques, reservorios, etc.) para consumo poblacional, agropecuario y para regulación hídrica del ecosistema. ⊕ Porcentaje de gobiernos locales que implementan proyectos de recarga hídrica y cosecha de agua en microcuencas, según planes y proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> ⊕ Aumentar el número de iniciativas privadas cofinanciadas para generar nuevas fuentes de agua por desalinización del agua de mar. ⊕ Aumentar la inversión privada o APP para la investigación sobre disponibilidad y aprovechamiento sostenible de agua en las regiones (superficiales y subterráneas). ⊕ Incrementar a 20 el número de resoluciones tarifarias de EPS que generen reservas para retribución por Servicios Ecosistémicos y Gestión de Riesgo de Desastres¹⁸. ⊕ Incremento anual (porcentaje) de presupuesto de inversión pública en proyectos de recarga hídrica, cosecha de agua y desarrollo agro-productivo de gobiernos locales, regionales y nacional.

Figura 1. Cuadro propuesto por el Ministerio del Ambiente al 2030 frente al aseguramiento de la disponibilidad del agua ante el cambio climático.

Fuente: Ministerio del Ambiente (23).

La figura anterior, muestra que el hecho de remover contaminantes presentes en vertidos domésticos aporta en la regulación y valorización de servicios ambientales, no solo en términos de asegurar la calidad del ambiente al no generar, potencialmente, riesgos ambientales o escenarios de contaminación, sino también favoreciendo a la disponibilidad de agua en las cuencas bajas o tras el desarrollo de los procesos de tratamiento (23).

2.2.2. Tratamiento y reúso de aguas residuales

Molina *et al.* (25) mencionan que un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales y por ende un mayor impacto sobre el medio ambiente, por lo que existen procesos de tratamiento de dichas descargas residuales, lo cual también genera un menor impacto económico dependiendo de las unidades de tratamiento que se lleguen a emplear, así como la tecnología que se encuentra al alcance.

Según el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (25) existen estrategias orientadas al desarrollo de sistemas ecoeficientes (observar criterio de integración en la tabla siguiente) aplicado al manejo adecuado de vertidos residuales son:

- Fomentar el uso de tecnologías que reduzcan el uso del agua.
- Integrar el concepto de uso de aguas residuales domésticas tratadas en la política de la unidad de agua y saneamiento y promover la participación de otros actores económicos y sociales.
- Proponer y emplear la tecnología necesaria para eliminar patógenos y otros contaminantes de las aguas residuales domésticas según sea necesario para lograr la calidad sanitaria requerida para las nuevas aplicaciones.
- Colocar sistemas integrados de tratamiento y utilización de aguas residuales domésticas en áreas de capacidad de producción para generar beneficios económicos, sociales y ambientales.
- Fomentar el uso máximo de aguas residuales domésticas tratadas para minimizar las emisiones al medio ambiente.

Tabla 1. *Criterios de integración de la ecoeficiencia en la tecnología del tratamiento de aguas residuales.*

	Menor área de terreno empleado.
	Reducir el empleo de energía eléctrica.
Criterios de integración	Reducir el uso de químicos u otros insumos que impliquen consumo de recursos y por lo tanto mayor costo.
	Reducir la generación de lodos resultantes del proceso de tratamiento.
	Promover la generación de biogás como subproducto del tratamiento.
	Reúso de las aguas residuales tratadas.

Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (25).

2.2.2.1. Procesos, niveles o fases del tratamiento de aguas residuales

Los procesos, niveles o fases del tratamiento de aguas residuales han sido clasificadas en (25):

- Tratamiento preliminar o pretratamiento: donde se retienen los sólidos de mayor y menor volumen, que tengan mayor densidad que el agua; se emplean rejillas y desarenadores.

- Tratamiento primario: donde se remueva el material en suspensión (sedimentable), excepto los coloides o sustancias disueltas.
- Tratamiento secundario: se incluyen aquí la inclusión de procesos biológicos (reacciones bioquímicas de microorganismos).
- Tratamiento terciario: se da la eliminación complementaria de nitrógeno (N) y fósforo (P) (contaminantes que favorece a la eutrofización), así como la inclusión de procesos complementarios para la desinfección del agua.

a. Lineamientos básicos para el diseño de una PTAR:

Según Molina *et al.* (24) el propósito de tratar efluentes residuales se orienta en la mejora de la calidad ambiental y en el cumplimiento de la normatividad asociada a ello, así como orientando esfuerzos a cumplir con normativa de interés de reutilización del agua tratada. En dicha perspectiva, el requisito fundamental antes de proceder al diseño de una PTAR (preliminar), se asocia con realizar el estudio del cuerpo receptor ya que el grado de tratamiento dependerá de su calidad. Dicho análisis debe abarcar a los procesos menos favorables. El mencionado enfoque preliminar se alinea con lo factible de la proposición del proyecto, para lo cual es necesario cotejar los siguientes parámetros de diseño (24):

- Caracterizar los vertidos domésticos.
- Recopilar información del medio, como la topografía, hidrología y geología.
- Determinar y proyectar caudales.
- Aportes per cápita actual y futura.
- Seleccionar procesos apropiados de tratamiento.
- Realizar el dimensionamiento preliminar de dichos procesos.

- Evaluar la significancia de los impactos ambientales, así como el enfoque de riesgo de desastres.
- Incidir en lo factible técnico y lo viable económico asociado a la alternativa.

Es oportuno mencionar que las pesquisas de factibilidad técnica y económica son obligatorias para las urbes con sistemas de alcantarillado (24). Las aguas residuales domésticas, respecto de su caracterización, se realizará para los puntos de descargas identificadas (cinco puntos de muestreo como mínimo), además se determinará el caudal y la temperatura en campo (24). Se recomienda desarrollar el muestreo en días diferentes de la semana, de modo que sea representativo para la dinámica de descargas, lo cual aplica también al caudal, considerando como mínimo los parámetros siguientes (24):

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Coliformes.
- Parásitos.
- Sólidos totales y en suspensión.
- Nitrógeno amoniacal y orgánico.
- Sólidos sedimentables.
- Temperatura y pH.
- Fosfatos y sulfatos.
- Aceites y grasas.

Es preciso detallar que el régimen de flujo actual relacionado con la población contribuyente es necesario para determinar el aporte per cápita de vertidos residuales; además, en urbes con fosas sépticas, se evalúa la cantidad y masa de varios parámetros de lodos de fosas sépticas que se pueden descargar a la planta de tratamiento. Molina *et al.* (24) mencionan que la carga adicional se tendrá en cuenta al

diseñar el proceso, ya sea para procesos de estabilización, así como para sistemas de zanjas de oxidación, donde el vertido se captará en la entrada de la planta, mientras que, para otros tipos de plantas de tratamiento de lodos, las aguas residuales derivarán de la entrada de procesos de fermentación o de lechos de secado.

Los datos recopilados se utilizan para sentar los principios para el diseño de la PTAR, considerando un período de diseño comprendido entre 20 y 30 años, así como el diseño debe abordar la determinación de los valores de los siguientes parámetros para el presente, futuro (final del período de diseño) y estado intermedio (cada 5 años) (24):

- Población total y servida.
- Caudal medio, considerando su fuente de generación.
- Caudales de contribución, así como los máximos y mínimos horarios.
- Aporte per cápita (vertidos domésticos).

Cabe señalar que en ninguna circunstancia está permitido descargar aguas residuales, a cuerpos receptores, sin tratamiento, incluso si estudios acerca de aquellos indican que no se requiere tratamiento. El tratamiento mínimo al que deben someterse los vertidos contaminados previo a su disposición comprende al tratamiento primario (24).

De igual modo se enfatiza que en el análisis de factibilidad (de corte técnico y económico) se deben analizar diversas consideraciones asociadas al tipo de tecnología, como el hecho de considerar los requerimientos del terreno y de recursos humanos y tecnológicos, que se oriente a generar escenarios de confianza y continuidad de las operaciones, considerando potenciales frentes de mantenimiento correctivo, así como contextos sujetos a emergencias (24).

Los estudios de factibilidad serán complementados de una evaluación de impactos ambientales y de un análisis de riesgos frente a desastres, considerando medidas de mitigación pertinentes (24).

b. Diseño preliminar hidráulico estructural de una PTAR:

✓ Pretratamiento:

- Cámara de rejas: su propósito es la retención de sólidos gruesos (25), para lo cual es pertinente considerar una plataforma de operación y drenaje del material cribado, con barandas de seguridad, además de iluminación para la operación durante la noche y el espacio suficiente del material cribado (desbaste) para el almacenamiento temporal de éste en condiciones sanitarias adecuadas. El diseño de las rejas debe tener las siguientes consideraciones (24):
 - Emplear barras de sección rectangular.
 - Sus dimensiones dependerán de la longitud de las barras, así como de los mecanismos de limpieza.
 - Su espaciamiento, así como su dimensionamiento, debe asegurar la velocidad adecuada de flujo, antes y a través de las barras.
 - Su potencial ángulo de inclinación es de 45° a 60° respecto a la horizontal (de limpieza manual).

Abertura (mm)	Cantidad (litros de material cribado l/m ³ de agua residual)
20	0.038
25	0.023
35	0.012
40	0.009

Figura 2. Cuadro de datos para el cálculo del material de cribado.

Fuente: Molina *et al.* (24 pág. 18).

Tabla 2. *Criterios de diseño de las rejillas de desbaste y cantidad de sólidos retenidos por las rejillas.*

Parámetro	Valor o rango
Velocidad mínima de paso	0.6 m/s (a caudal medio)
Velocidad máxima de paso	1.4 m/s (a caudal punta)
Grado de colmatación estimado entre intervalos de limpieza	30 %
Pérdida de carga máxima admisible	15 cm (a caudal medio)
Tipo de rejilla	Cantidad de sólidos retenidos
Fina	5 a 12 mL/d/hab
Gruesa	12 a 25 mL/d/hab

Fuente: Lozano-Rivas (26).

- Desarenador: de cotejo obligatorio en las plantas que consideren digestores y sedimentadores. Dicho sistema preferentemente abarcará a lo manual para su limpieza (24). Dicho proceso se orienta a remover arena y partículas similares, de un peso específico aprox. de 2.65 g/cm^3 y de tamaños superiores a los 0.15 mm de diámetro (26). El sistema consiste en la ampliación de un canal donde el flujo sea suficiente para sedimentar partículas, pero no lo suficiente para la deposición de material orgánico. Su diseño se sostiene en las velocidades de sedimentación de entornos de flujo laminar, flujo turbulento y de régimen transitorio” (26).

Tabla 3. *Velocidades de sedimentación para diferentes tamaños de partículas (a una capacidad de remoción cercana al 90 %).*

Diámetro de partícula	Velocidad de sedimentación
0.15 mm	40 a 50 m/h
0.20 mm	65 a 75 m/h
0.25 mm	85 a 95 m/h
0.30 mm	105 a 120 m/h

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Se llega a extraer entre un 3 al 5 % respecto de la concentración orgánica en los subproductos, así también, se diseñan los desarenadores con la caudal punta, requiriendo de los criterios siguientes (tabla 4).

Tabla 4. *Criterios de diseño de los desarenadores.*

Parámetro	Valor o rango
Carga superficial	40 a 70 m ³ /m ² *h (a caudal punta)
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	100 a 300 s (a caudal punta), más frecuente a 180 s.
Velocidad horizontal	0.20 a 0.40 m/s (a caudal punta)
Longitud	10 a 30 veces la altura de la lámina de agua
Altura mínima de la unidad	1.0 m
Altura máxima de la unidad	2.5 m

Fuente: Lozano-Rivas (26).

- Canal Parshall: se comprende como la unidad de tratamiento para mezcla rápida, así como un medidor de caudal (24). Comprende tres secciones: la entrada, la garganta y la salida.

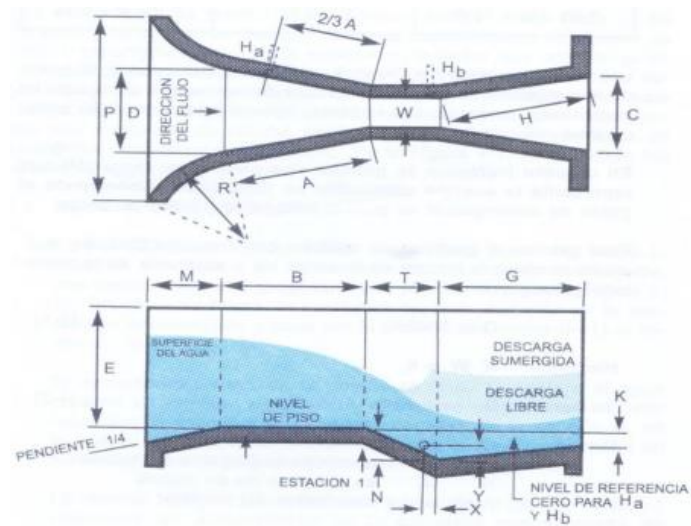


Figura 3. Vista de planta y corte del canal Parshall.

Fuente: Molina *et al.* (24).

Para su dimensionamiento, se tienen valores estandarizados mostrados en la siguiente figura.

	W	A	B	C	D	E	T	G	K	N	P
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	2.9	1.9	-
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	45.7	15.2	30.5	5.7	2.5	-
6"	15.2	61.0	61.0	39.4	40.3	61.0	30.5	61.0	11.4	7.6	90.2
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	76.3	61.0	45.7	11.4	7.6	108.0
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	149.2
1 1/2'	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	167.6
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	185.4
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	222.2
4'	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	271.1
5'	152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	308.0
6'	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	344.1
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	381.0
8'	244.0	244.0	239.2	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	22.9	7.6	417.2
10'	305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	34.3	15.3	-

Las dimensiones están en centímetros

Figura 4. Cuadro de las dimensiones estandarizadas de canales Parshall.

Fuente: Molina *et al.* (24).

Así también, para obtener el valor del ancho de la garganta, se recurre al siguiente cuadro (figura 05) en el que se requiere como dato de ingreso al caudal; se muestra los límites de aplicación para un determinado ancho de garganta en función del caudal mínimo y máximo.

W	CAPACIDAD: L/seg	
	MÍNIMO	MÁXIMO
3"	7,6 cm	0,85
6"	15,2 cm	1,52
9"	22,9 cm	2,55
1'	30,5 cm	3,11
1 1/2"	45,7 cm	4,25
2"	61,0 cm	11,89
3"	91,5 cm	17,26
4"	122,0 cm	36,79
5"	152,5 cm	62,8
6"	183,0 cm	74,4
7"	213,5 cm	115,4
8"	240,0 cm	130,7
10"	306,0 cm	200,0

Figura 5. Cuadro de los límites de aplicación.

Fuente: Molina *et al.* (24).

- ✓ Tratamiento primario:
 - Aplicación de tanques Imhoff: dichos tanques son unidades de tratamiento primario empleada en poblados de 5 000 habitantes o menos (24). Son de forma rectangular y se divide en tres compartimentos: i) sedimentador, ii) digestor de lodos y iii) área de ventilación. La sección del sedimentador se ubica en la parte superior del tanque, mientras que el digestor se ubica en la parte inferior para estabilizar anaeróbicamente los lodos generados (24).
 - Sedimentación: constituyéndose de diversas maneras, que aborda a la remoción de partículas presentes (considerando propiedades físicas perceptibles) en función a las características del sedimentador y del área (26). En la siguiente tabla se detallan los tipos de sedimentación.

Tabla 5. *Tipos de sedimentación.*

Tipo de sedimentación	Características de los sólidos	Características de la sedimentación	Tipos de unidades de tratamiento
De partículas discretas	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	Cada partícula sedimenta en forma independiente sin interacción entre ellas	Desarenadores de sedimentación
De partículas floculentas	Partículas (coloides) floculentas o aglomeradas	Las partículas se aglomeran para formar flóculos de mayor tamaño y peso	Coagulación-floculación, decantadores
Zonal o interferida	Suspendidos de sólidos aglomerables de valor intermedio	La sedimentación es interferida dada la cercanía entre partículas y se comportan como un bloque	Sedimentador y decantador de flujo ascendente

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Los decantadores tienen gran tamaño ya que requieren de tiempos alto de retención respecto de su hidráulica; Tras la decantación, quedan como producto el agua tratada clarificada y el lodo primario (fango). Es considerado como un punto inicial en el tratamiento primario, que será reforzado por procesos de sedimentación (químicamente asistida) y tamices de ser necesario (24). Los mencionados decantadores se clasifican en: circulares (de ingreso central) y rectangulares (de ingreso por un extremo).

Tabla 6. *Características de los decantadores.*

Circular	Rectangular
De mayor uso; facilitan las labores de mantenimiento y purga de fangos; de diámetro entre 10 a 60 m; ingresa a través de una campana reflectora en el centro de la unidad; el sistema de barrido de fangos se da mediante un puente móvil, desplazado de forma lenta por todo el decantador.	El agua ingresa a través de un vertedero que consta de un deflector frontal a la sección rectangular; la salida del efluente requiere de un sistema dentado por rasquetas que remueven los lodos y las natas.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

De emplearse tamices, éstos deben estar abiertos entre 0.2 y 3 mm, además de considerar un sistema de acero inoxidable compuesto por hilos, de modo que no se obstruya y represente un significativo poder de filtración. Aquellos se pueden clasificar en tamices estáticos o giratorios; son usualmente empleados a nivel industrial (26).

Tabla 7. *Capacidad de trabajo de tamices.*

Abertura de tamiz (mm)	Caudal tratado por metro lineal (m ³ /h)
Para tamices estáticos	
0.15	15

0.25	20
0.50	40
0.75	50
1.00	60
1.50	75
2.00	90
2.50	100
3.00	110
Para tamices rotarios	
0.15	30
0.25	50
0.50	90
0.75	120
1.00	145
1.50	180
2.00	210
2.50	240
3.00	260

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Para la decantación denominada como asistida químicamente, se emplean coagulantes que viabilizan la formación de flóculos de mayor tamaño, llegando a alcanzar niveles de remoción entre 60 a 80 % de DBO y entre 65 a 85 % de sólidos suspendidos totales (26).

Para la formación de flocs, se deben desarrollar movimientos suaves que aumenten las posibilidades de contacto, es decir, que les permitan encontrarse y formar sólidos de mayor densidad. También es importante aplicar la solución coagulante correctamente para que se mezcle rápida y uniformemente con la

masa de agua y proporcione un movimiento suave para aumentar la probabilidad de contacto entre los coloides desestabilizados antes de enviar el agua al decantador (26). Es necesario controlar el pH del medio sujeto a tratamiento, exponiendo los rangos óptimos de dicho parámetro en la siguiente tabla.

Tabla 8. Rangos óptimos de pH para aplicación de coagulantes.

Sal coagulante	pH óptimo
Cloruro férrico (FeCl ₃)	4 a 11
Sulfato férrico	3.5 a 11
Policloruro de aluminio (PAC)	5.5 a 9

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Lozano-Rivas (26) menciona que los coagulantes y floculantes se aplican en forma de solución, recomendando su uso de la siguiente forma (tabla 9).

Tabla 9. Usos y dosis recomendadas para coagulantes y floculantes en el tratamiento de aguas residuales.

Coagulante	Dosis (ppm)	Aplicación	Floculante (polímero)	Dosis (ppm)
Cloruro férrico (FeCl ₃)	100-150	Eliminación de la materia orgánica.	Aniónico	0.5-1.0
	50-100	Eliminación de P en tratamiento biológico.		
Sulfato férrico	100-200	Eliminación de P en tratamiento fisicoquímico.		
	50-100	Eliminación de P en tratamiento terciario.		
Policloruro de aluminio (PAC)	75-100	Eliminación de materia orgánica y P.		
	25-50	Eliminación de materia orgánica y P en tratamiento primario.		
Sal mixta de Fe y Al	150-250	Eliminación de P en tratamiento fisicoquímico.		

Fuente: Lozano-Rivas (26).

✓ Tratamiento secundario:

- Tratamiento biológico: abarca a la separación de agentes mediante acciones biológicas propias de microorganismos; se tiende por remover sustancias orgánicas, partículas, coloides, entre otros (26).

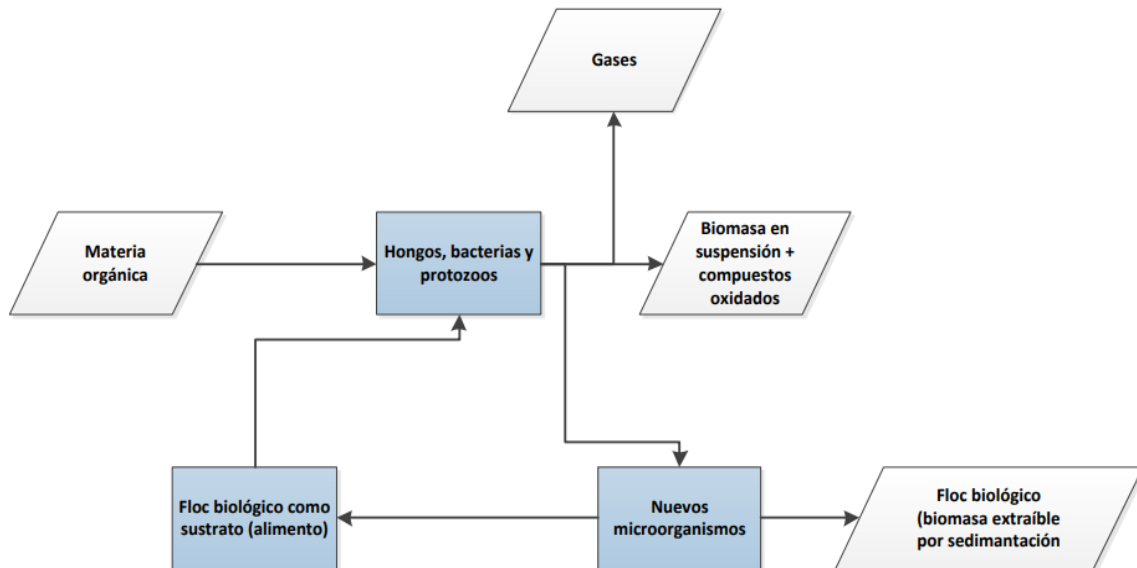


Figura 6. Esquema de descomposición biológica de la materia orgánica.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Para degradar la materia orgánica, es necesario poner al vertido en contacto directo con un flujo de aire, lo cual corresponde a un escenario de aireación (26). El propósito de dicho escenario de aireación es proporcionar a la fuente biológica del oxígeno necesario para realizar funciones transformadoras y degradativas de lo orgánico (26), lo cual permite:

- La transferencia de OD.
- La remoción de sustancias volátiles.
- La eliminación del CO₂.
- La remoción de Fe, Mn y H₂S.
- La eliminación de CH₄, Cl₂ y NH₄.

De igual manera, el fundamento de lo biológico de las es similar a la autolimpieza de las aguas, donde previamente suelen emplearse depuradoras convencionales, donde se dan reacciones que mantienen a los microorganismos controlados, favoreciendo a la descomposición, así como a neutralizar lo orgánico. Dicho escenario puede efectuarse en presencia o ausencia de oxígeno (26).

- Proceso aerobio: se da la oxidación del carbono y de reducción del oxígeno, en presencia de éste (27).

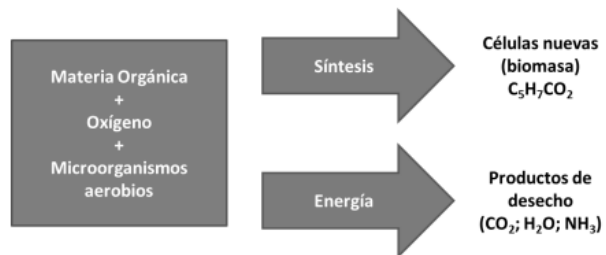


Figura 7. Metabolismo aeróbico de la materia orgánica.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

- Proceso anaerobio: conocido también como el proceso de digestión o fermentación anaerobia; se genera una mejor biomasa a diferencia del proceso aerobio, ello debido a la energía liberada que permanece en los resultantes orgánicos (26). Abarca tres etapas, donde las finales se dan de forma simultánea (26):
 - o Etapa hidrolítica.
 - o Etapa de fermentación ácida.
 - o Etapa de fermentación metanogénica.

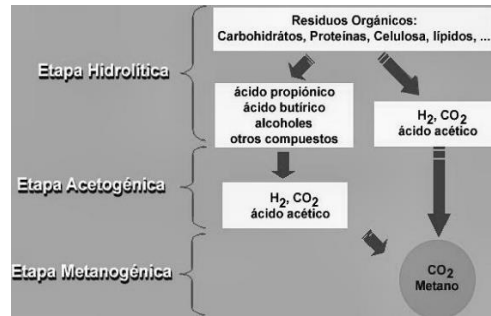


Figura 8. Metabolismo anaerobio de la materia orgánica.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Para ambos casos se tiene que considerar un control adecuado, lo cual se detalla en la siguiente tabla por cada proceso considerado (aerobio y anaerobio) (26).

Tabla 10. Control de procesos biológicos.

Proceso aerobio	Proceso anaerobio
(i) nutrientes suficientes; (ii) pH: 6.5 - 8.5; (iii) temperatura inferior a 38°C; (iv) presencia de oxígeno; (v) ausencia de sustancias tóxicas.	(i) nutrientes suficientes; (ii) pH: 6.5 - 7.6; (iii) temperatura: 30 - 38°C (mesófilos) y 50 - 60°C (termófilos); (iv) ausencia de oxígeno; (v) potencial óxido-reducción entre -470 a -550 Mv; (vi) ausencia de sustancias tóxicas.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Para llevar a la práctica, el tratamiento biológico se efectúa en unidades clasificadas considerando su forma de alimentación en: flujo intermitente y flujo continuo (26). Los reactores según su hidráulica alcanzan la siguiente clasificación: (i) de mezcla completa y (ii) de flujo a pistón (26).

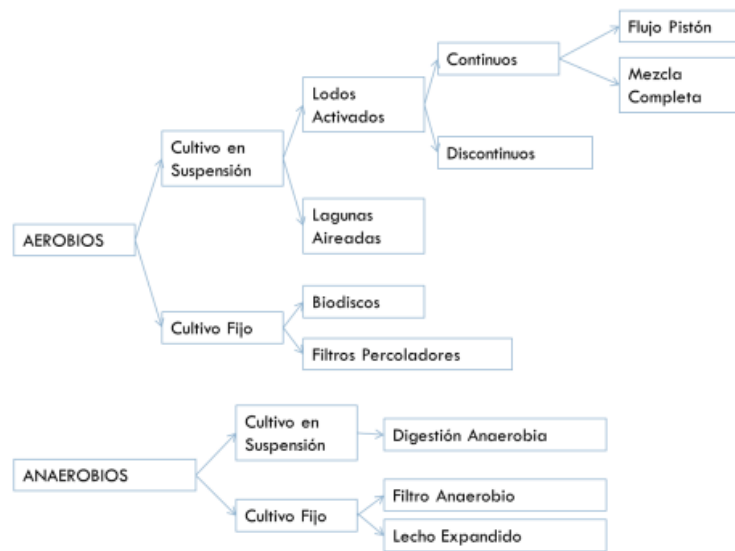


Figura 9. Tipos de reactores para el tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Continuando con la precisión acerca del tratamiento biológico de corte aerobio, en éste se emplean lodos activados. Este proceso tratante requiere de emplear un sistema de agitación o aireación el cual suministra oxígeno que es necesario para los microorganismos, lo cual evita que haya una saturación de la biomasa en el reactor y genera escenarios homogéneos en las mezclas.

Al ser oxidado lo orgánico, el agua tratada se deriva a un proceso de decantación secundaria donde se separan los lodos (biomasa). Aquí, parte de aquellos lodos vuelve a ser decantado y es devuelto al reactor para mantener una concentración adecuada de microorganismos. La otra porción se desecha (lava) y se envía a tratamiento de lodos para evitar una acumulación excesiva de organismos en el sistema que puedan modificar el tiempo de residencia (26).

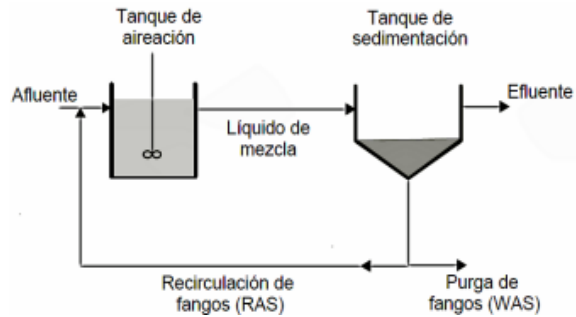


Figura 10. Esquema básico de un proceso de lodos activados.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

De forma complementaria, es pertinente considerar a la DBO como un factor de materia orgánica oxidable y que tiende por disminuir a través de los procesos de tratamiento (27), mientras que la aireación puede efectuarse de tres formas, precisadas en la tabla siguiente.

Tabla 11. *Métodos de aireación.*

Convencional	Consiste en abastecer exactamente la misma cantidad de oxígeno a lo largo de todo el reactor. Se emplea en cargas medias y altas.
Por pasos o escalonada	El afluente de aguas residuales se ingresa al tanque en diferentes puntos a lo largo de su recorrido. Se emplea en cargas medias y altas.
Gradual	Se emplea en caudales $> 2\,000\text{ m}^3/\text{d}$ para aguas residuales municipales. El suministro de aire descende de manera gradual y proporcional a la disminución de la DBO a lo largo del reactor.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Respecto de la operación de lodos activados, existen tres modos para éste: (i) carga alta; (ii) carga convencional; y (iii) carga baja (26). También se tiene al filtro percolador como alternativa aerobia, conocido como biofiltro el cual suele ser más empleado a nivel de las PTAR; este dispositivo en realidad no realiza filtración, sino que es una torre de contacto en la que el

vertido fluye desde un lecho fijo sobre el que se adhiere la biomasa (26). Este lecho fijo está formado por piedras o, más recientemente, fragmentos de plástico u otros materiales que se rocían con aguas residuales para luego formar una biopelícula la cual se encarga de tomar como sustrato lo orgánico biodegradable (26).

La biomasa adherida está formada por protistas: bacterias, hongos (de trabajar con niveles bajos de pH) y protozoos. A nivel superficial, por efecto de la luz solar, suelen presentarse algas, las cuales pueden llegar a obstruir parcialmente el filtro (26). Finalmente, los filtros percoladores se clasifican según su carga hidráulica y orgánica: (i) baja tasa y (ii) alta tasa, es pertinente verificar la ventilación para mantener las condiciones aeróbicas.

Respecto de los sistemas anaerobios, éstos tienden por ser más preferidos para el tratamiento de vertidos residuales, especialmente donde la DBO sea alta (26).

Tabla 12. *Rendimientos promedio en procesos anaerobios.*

Parámetro	Rango o valor
Remoción de DBO (%)	80 a 90
Remoción de DQO(mg/L)	1.5 * DBO removida
Producción de biogás	0.5 m ³ /kg de DQO removida
Producción de metano	0.35 m ³ /kg de DQO removida
Producción de lodo	0.05 a 0.10 kg SSV/kg de DQO removida

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Es demostrable que los denominados reactores de biomasa anaeróbica son más eficientes en agua con DBO altamente soluble, en perspectiva los reactores de biomasa suspendida tienen rendimientos más altos en forma general (26).

Dentro de las alternativas de tratamiento anaerobio de vertidos contaminados se tiene al reactor anaerobio de flujo ascendente, denominado como UASB (26); se compone de un tanque con dos áreas con propias particularidades: la parte baja donde se da la digestión y la parte superior donde se da la sedimentación. En la primera zona, el afluyente asciende a través de un manto de lodos, constituyendo la biomasa, manteniéndose en suspensión debido a que el flujo presente una fuerza hidrodinámica. Mientras el caudal llega a seguir con el flujo, lo orgánico llega a estar en contacto con la biomasa suspendida que la adhiere, para luego digerirla en un medio anaerobio, así como en dicho escenario se da la formación de biogás (26).

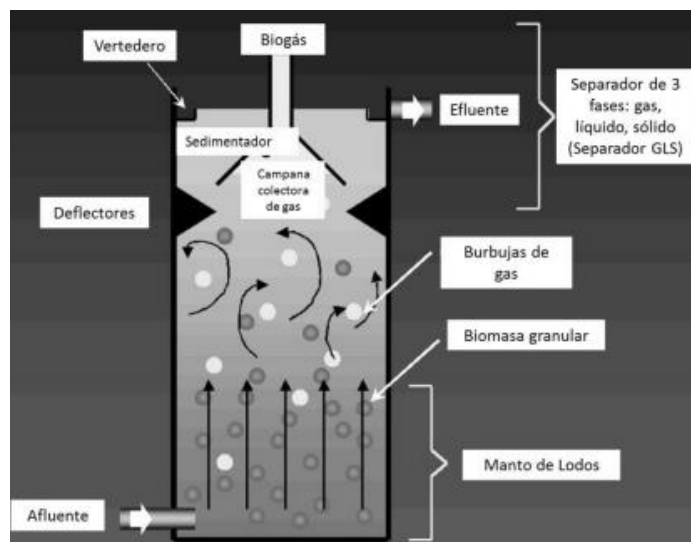


Figura 11. Esquema de un UASB.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Algunos pros del empleo de UASB se asocian a que es sencillo de construir, además de que ocupa áreas menores, mientras que su operación tiende por ser simple sin la necesidad de emplear energía eléctrica, generando una tasa de producción de lodos baja (26).

Respecto del manejo de lodos que conforman el subproducto, denominados como lodos biológicos o secundarios, están constituidos principalmente por biomasa activa que presente un color oscuro (marrón) así como un olor característico de la tierra húmeda, el mismo que no es desagradable hasta el momento de la digestión anaerobia; están compuestos por: (i) agua: 50 a 99 %; (ii) materia orgánica: 60 a 75 % y cuando es digerido entre 54 a 60 %; (iii) nutrientes: empleados en fines agrícolas: nitrógeno total, fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O); y (iv) contaminantes minerales (27). El tratamiento de lodos denominados como secundarios debe contemplar tres etapas principales: (i) espesado, (ii) digestión y (iii) deshidratación o secado (26).

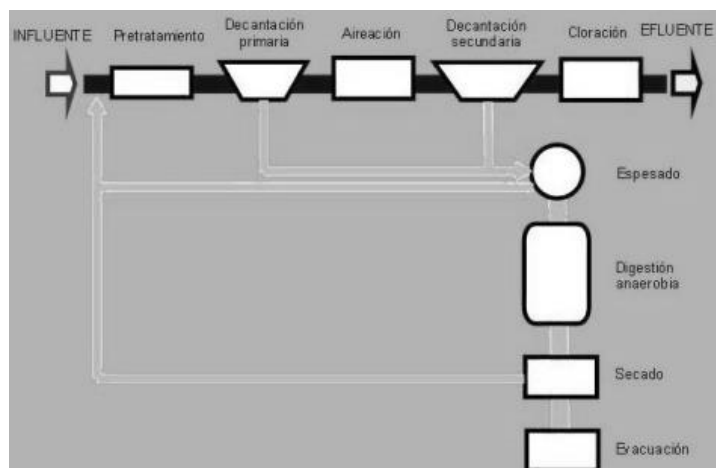


Figura 12. Proceso del fango en una depuradora.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

Al tener un alto contenido de nutrientes, es preciso determinar las características peligrosas que presenten los contaminantes minerales y orgánicos (en especial su toxicidad y potencial patógeno), ya que pueden ser empleados en: (i) compostaje y (ii) acondicionamiento para la recuperación de suelos (26).

✓ Tratamiento terciario:

El propósito de esta fase de tratamiento de las aguas residuales se orienta a la eliminación de lo orgánico que no sea biodegradable, además de patógenos y el nitrógeno y fósforo, considerados como nutrientes. Para dicho tratamiento se emplea la desinfección, la eliminación de nitratos (por procesos de nitrificación - desnitrificación), la adsorción, el intercambio iónico, entre otros, siendo estos procesos especializados o específicos en remover aspectos ambientales que involucren a la presencia de componentes de detergentes, pesticidas y agroquímicos, así como metales pesados, etc. (26).

- Desinfección: asociado a la remoción de microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoos) presentes en los vertidos sujetos a tratamiento, necesario previo a su vertido a los cuerpos receptores (26).

Para dicho proceso se emplean los siguientes oxidantes: cloro gaseoso, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, dióxido de cloro, cloruro de bromo, ozono y radiación UV. El agente oxidante más utilizado es el cloro en todas sus formas debido a costo bajo, fácil operación, solubilidad y estabilidad, seguido de la radiación ultravioleta (UV). Para desinfección de aguas residuales, se emplea el hipoclorito de sodio (líquido). Es recomendable emplear hipoclorito de cloro, en concentraciones de 10 y el 20 %, todo ello en solución. La dosis de NaClO aplicada suele ser inferior a 10 mg/l y su contacto es de 30 min aprox., donde se deba mantener una velocidad de flujo de 5 cm/s (26).

Lo expuesto guarda relación con lo requerido por el Sistema de Gestión Ambiental Nacional vigente (25), respecto de que se espera alcanzar una remoción adecuada de los contaminantes criterio para el agua residual al emplear sistemas y procesos de tratamiento.

Procesos de tratamiento	Remoción (%)		Remoción (ciclos log ₁₀)		
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos	Quistes
Sedimentación primaria	25 - 30	40 - 70	0 - 1	0 - 1	0 - 1
Lodos activados (a)	70 - 95	70 - 95	0 - 2	0 - 1	0 - 1
Filtros percoladores (a)	50 - 90	70 - 90	0 - 2	0 - 1	1 - 2
Lagunas aireadas (b)	80 - 90	(c)	1 - 2	0 - 1	0 - 1
Zanjas de oxidación (d)	70 - 95	80 - 95	1 - 2	0 - 1	
Lagunas de estabilización (e)	70 - 85	(c)	1 - 6	1 - 4	2 - 4
Biofiltros	80 - 95	80 - 95	1 - 2	0 - 2	0 - 1
Desinfección	-	-	1 - 2	1 - 3	0 - 1

(a) Precedidos de tratamiento primario y seguidos de sedimentación secundaria.

(b) Incluye laguna secundaria.

(c) Dependiente del tipo de lagunas.

(d) Seguidas de sedimentación.

(e) Dependiendo del número de lagunas y otros factores como: Temperatura, periodo de retención y forma de las lagunas.

Figura 02. Remoción esperada de materia orgánica, sólidos en suspensión y microorganismos patógenos, según el tipo de procesos de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (25).

2.2.2.2. Criterios para la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales y su reuso

Para considerar el diseño e implementación de una PTAR doméstica, es preciso tener en cuenta los criterios mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 13. *Criterios para seleccionar sistemas de tratamiento de aguas residuales.*

	*Identificar las exigencias de la calidad del agua a tratar para su disposición en un cuerpo receptor o con fines de reúso, de manera coherente con la realidad local (actual y proyectada).
	*Buscar las mejores posibilidades del reúso de las aguas tratadas, para obtener el mayor beneficio social (salud pública), ambiental (gestión ambiental de los recursos hídricos) y económico.
	*Planificar la disponibilidad del área, conseguir la aceptación de la población (la cual debe ser capacitada y sensibilizada), y, por último, lograr el compromiso y organización de la sociedad civil y sus autoridades.
Criterios técnicos	*Conocer la normatividad legal y técnica sobre plantas de tratamiento de aguas residuales. Se deberá considerar también la calidad del efluente, para los fines de aprovechamiento deseado.
	*Ser eficiente en la remoción de patógenos y ajustarse a los parámetros convencionales de los procesos más empleados.

Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (25).

Respecto del agua tratada, en los últimos años se viene hablando con más frecuencia acerca del reúso de ésta, en perspectivas de la necesidad de cubrir la brecha creciente asociada a la demanda de agua para fines domésticos, agrícolas e industriales, lo cual se asocia con el crecimiento poblacional. En dicha ilación, frentes no convencionales en torno al aprovechamiento de agua aborda lo siguiente (26): a) esorrentía, b) regeneración de aguas residuales, c) agua de mar desalinizada y d) agua salobre desalinizada. Respecto a potenciales usos de las aguas tratadas, o aguas residuales regeneradas, aquello se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 14. Usos potenciales para las aguas residuales tratadas.

Usos	Detalles
Uso doméstico y urbano	Riego de jardines; descarga de artefactos sanitarios; limpieza de calles; sistemas contraincendios.
Uso agrícola	Riego de cultivos; riego de pastos para alimento de ganado; acuicultura; cultivo de flores ornamentales.
Uso industrial	Aguas de proceso; torres de refrigeración.
Uso recreativo	Riego de campos de golf; lagos y fuentes ornamentales sin acceso público al agua.
Uso ambiental	Recarga de acuíferos; riego de bosques y zonas verdes sin acceso público; silvicultura; mantenimiento de humedales.

Fuente: Lozano-Rivas (26).

2.2.2.3. Período de diseño

La proyección de la operación de un proyecto de inversión se da mediante el cálculo de su período de diseño, proyectado a 20 años según lo que considera la normativa nacional vigente; se define el mismo como “el intervalo de tiempo entre el inicio del funcionamiento de la obra, de acuerdo con lo proyectado, hasta que por razones de uso o crecimiento poblacional (detallado en el capítulo IV) ya no pueda cumplir con su función de una manera eficaz”. Para poder elegir un período de diseño adecuado se debe tomar en cuenta factores como: calidad de los materiales a emplear (vida útil), facilidad de construcción, índice de crecimiento poblacional y crecimiento por actividades comerciales e industriales, costos por mantenimiento, etc. (27).

2.2.3. Concordancia con la tecnología apropiada para el diseño de una PTAR considerando la hidrogeología de los cuerpos de agua

Según la SUNASS (11), para alcanzar escenarios de mejora, así como orientar a contextos de productividad y efectividad frente al tratamiento de aguas residuales, se debe considerar la realidad hidrogeológica del cuerpo de agua sujeto a dicho tratamiento, es decir, a las condiciones del territorio,

a lo cual, factores climatológicos (28), como es el caso de precipitaciones y la temperatura, modificarán la recarga del caudal propiamente del efluente a tratar, así como la inexistencia de dicho régimen podría requerir de mayores esfuerzos respecto del tratamiento, en términos de costos de tratamiento mencionados como innecesarios e insostenibles por la fuente citada, de forma que su relevancia cobra sentido en el dimensionamiento de las etapas del tratamiento de aguas residuales, considerando por otro lado a la pendiente por la cual, en la cuenca baja, se disponen las aguas de un cauce natural en forma de afluente a un río de mayor envergadura, como es el caso de Huancayo, donde las aguas del río Shullcas contribuyen al caudal del río Mantaro, denotando la concordancia con lo propuesto por Cristancho *et al.* (28), y Artos y Constante (29), que mencionan que dichos factores, inicialmente y por lo menos, se constituyen como variables de sensibilidad crítica, de forma que deben ser consideradas para evitar generar vacíos respecto de la propuesta de simulación, ya sea para prevenir potenciales paradas, así como para mitigar la generación de aspectos ambientales derivados, como son propiamente la emisión de gases de efecto invernadero.

Otro punto a considerar es la decisión por optar la verificación de la reducción de los contaminantes a través de la comparación con Límites Máximos Permisibles (LMP) o Estándares de Calidad Ambiental (ECA); en dicho frente, la SUNASS (11) considera de haber la potencial presencia de quebradas secas, se deberían exigir el cumplimiento de los LMP a la salida de la PTAR, denotando que, por más que existiese caudal constante en las épocas marcadas estacionales, se debe considerar orientar los esfuerzos operacionales de la PTAR al cumplimiento de los LMP y también de los ECA, de forma que exista sostenibilidad en los procesos. Dichos valores (LMP-ECA) se observan en la sección de anexos.

De igual forma, la SUNASS (11) también infiere en incorporar a la norma OS.090 (30) como precedente obligatorio en términos técnicos para la propuesta de dimensionamiento de la PTAR, así como menciona que ésta debe ser complementada con parámetros de tratamiento derivados del avance tecnológico, a su vez precisando que se deben de culminar con la definición de otras características hidrogeológicas del medio a intervenir,

así como generar LMP específicos y los estudios de caracterización del terreno y napa freática de forma que las decisiones sean precisas.

La norma OS.090 (30), en su punto 4.3.9. menciona que “con la información recolectada se determinarán las bases del diseño de la PTAR. Se considerará un horizonte de diseño (período de diseño) entre 20 y 30 años, el mismo que será debidamente justificado ante el organismo competente. Las bases de diseño consisten en determinar para condiciones actuales, futuras (final del período de diseño) e intermedias (cada cinco años) los valores de los siguientes parámetros”.

Además, la tasa de flujo de diseño promedio se define como la suma de la tasa de flujo promedio de las aguas residuales domésticas, la tasa de flujo de las aguas residuales industriales descargadas en el sistema de alcantarillado y la tasa de flujo de infiltración promedio. La escorrentía de agua de lluvia no se tiene en cuenta en este caso. El excedente producido por las aguas residuales se descarga a través de una estructura de desagüe antes de ingresar a la planta de tratamiento de aguas residuales (30), sin embargo, frente a anomalías climáticas se deben considerar contingencias.

Así también, en ninguna circunstancia se deben descargar aguas residuales a un sitio receptor sin tratamiento, incluso si una inspección del sitio receptor indica que no se requiere tratamiento. El tratamiento mínimo al que deben someterse las aguas residuales antes de ser vertidas debe ser el tratamiento primario (30).

De igual forma, tras determinar el grado de tratamiento, se procede a seleccionar los procesos de tratamiento para las aguas residuales y lodos. Se dará especial consideración a la remoción de coliformes y otros microorganismos. Así también, señala que se cotejarán procesos que puedan ser verdaderamente construidos y se puedan mantener de forma viable, donde se reduzcan contextos mecánicos propiamente dicho y se opte por escenarios automatizados, recomendando que se evite la importación de partes y equipos que supongan esfuerzos económicos mayores (30).

Se detalla también que después de seleccionar los procesos de tratamiento de aguas residuales y lodos, se consideran las alternativas y propiamente su dimensionamiento. En esta etapa, el número de unidades de proceso construidas en varias etapas de implementación y otros componentes de la planta de procesamiento comprenderán a tuberías, conductos de conexión, edificios de operación y control, equipos exteriores, etc. También se determinan puntos de operación y mantenimiento, como consumo de energía y requerimientos de personal para las diferentes fases (30).

En sentido de la factibilidad técnico económica, se propone analizar diversas alternativas relacionadas con el tipo de tecnología, además de requerimientos de espacio, energía, equipos y recursos humanos especializados para las operaciones, de modo que se evidencie la confiabilidad de las operaciones de mantenimiento correctivo y situaciones de emergencia. El análisis económico aborda los costos directos, indirectos, operativos y de mantenimiento utilizando métodos comparativos apropiados. Se identifican los costos más altos del tratamiento de aguas residuales permitidos y los mecanismos para cubrir aquellos. El estudio de factibilidad deberá ir acompañado de una evaluación del impacto ambiental y vulnerabilidad a desastres de cada alternativa (30).

Se denota la relevancia que se da por fines de tratamiento de aguas de origen industrial, sin embargo, la consideración de aporte del caudal, así como de la generación de aguas residuales de origen doméstico, dan cabida a que la elección de las condiciones mencionadas sean justamente objeto de la simulación como frente técnico de aporte en la viabilidad del desarrollo de la PTAR.

2.2.4. Simulación de procesos

El proceso de modelación y simulación permite involucrarse en el abordaje de conocimientos tecnológicos necesarios para anticiparnos a eventos o proponer alternativas auténticamente viables, hacen referencia Zárate y Huaranca (31).

De igual manera, Candelaria *et al.* (32), mencionan que, para la ciencia, el desarrollo de modelos requiere del enfoque multidisciplinario, de modo que se fortalezcan conocimientos acerca del análisis de características y el funcionamiento de sistemas dinámicos.

Por otro lado, se tiene a lo propuesto por Pérez-Maqueo *et al.* (33), consideran que, si bien el uso de modelos se orienta en la comunicación de un punto de vista técnico y tecnológico sobre un contexto geográfico de análisis, éstos solo constituyen a una aproximación de la realidad, es decir, si solo quedan en propuestas no se alcanza el objetivo central de aportar con el desarrollo de la comunidad mediante el empleo de tecnologías en pro del avance del conocimiento. Textualmente, mencionan que “en la investigación científica, los modelos se usan principalmente para entender tanto el mundo real como la estructura lógica de un sistema abstracto, como lo es una teoría científica; así también, se utilizan para predecir el estado futuro al que podría llegar un proceso dinámico dado. Otra aplicación se relaciona con el “control”, es decir, la intervención o manipulación guiada del comportamiento de un sistema con el fin de producir una condición deseada” (33 pág. 78). Dicho ideal de control e intervención en un sistema depende estrictamente de la información disponible que se tenga sobre la complejidad y el funcionamiento de éste, evidenciando que el proceso de observación también presenta un grado de incertidumbre, pasando los modelos a ser propuestas donde se orienten en la oportuna y adecuada toma de decisiones.

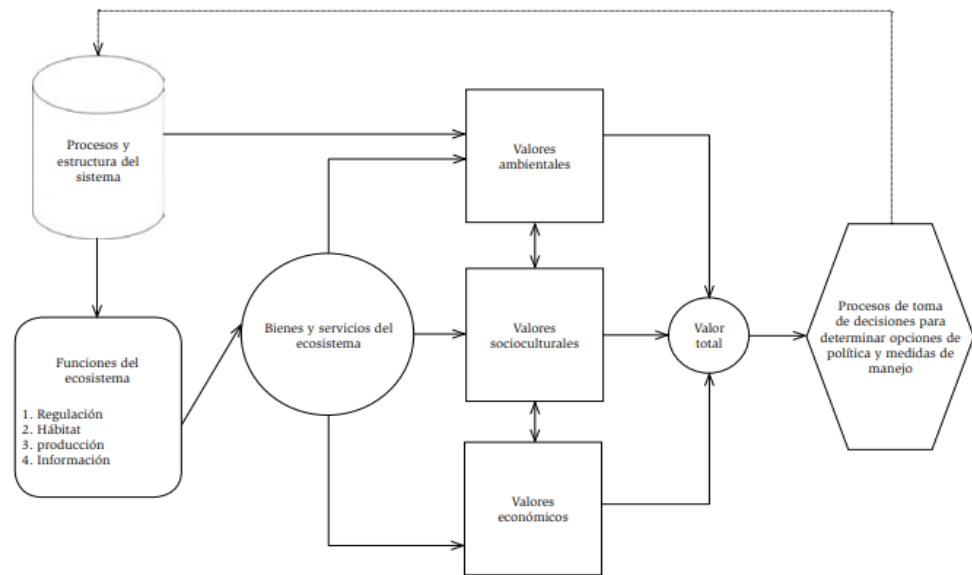


Figura 13. Esquema conceptual sobre servicios ambientales (referencial) en forma de un proceso (orientado a la simulación) y considerando variables de sostenibilidad. Fuente: Pérez-Maqueo *et al.* (33).

La validación de modelos asociados a procesos ambientales no se da del todo (33) ya que los sistemas naturales son abiertos y/o cíclicos, además de que los modelos se enfocan a un subconjunto de procesos en desarrollo, por lo cual dichos modelos pueden llegar a confirmar de que existe concordancia entre las observaciones y la predicción alcanzada, considerando el mayor rigor técnico para alcanzar un menor grado de incertidumbre.

Rondón *et al.* (34), en marco de la gestión integral de residuos, ya sea de ámbitos municipal y no municipal, y considerando al aspecto de predicción como fin de la simulación, considera que las alternativas tecnológicas que se analicen deberán cumplir no solo con satisfacer la demanda establecida, cerrando así el déficit, sino además deberán cumplir con los requerimientos que se deriven del análisis ambiental posterior.

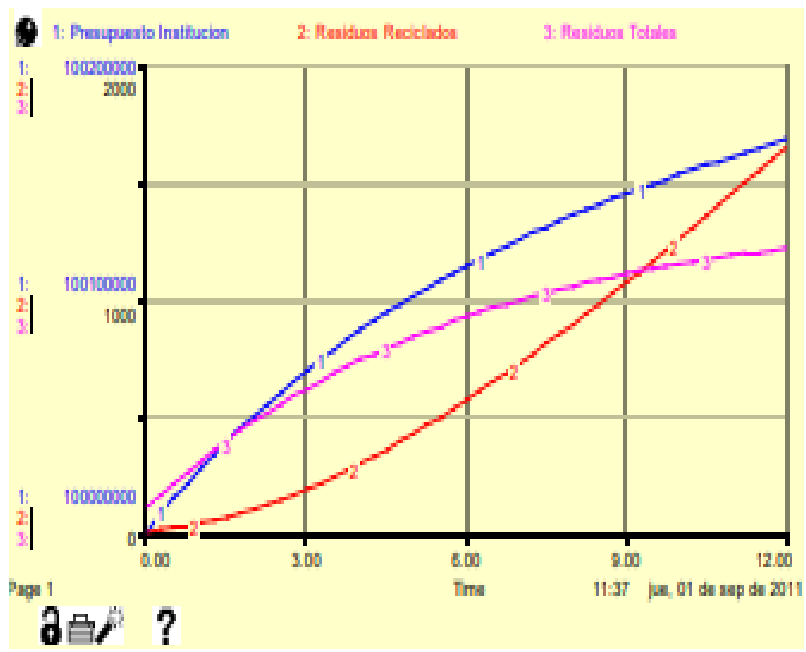
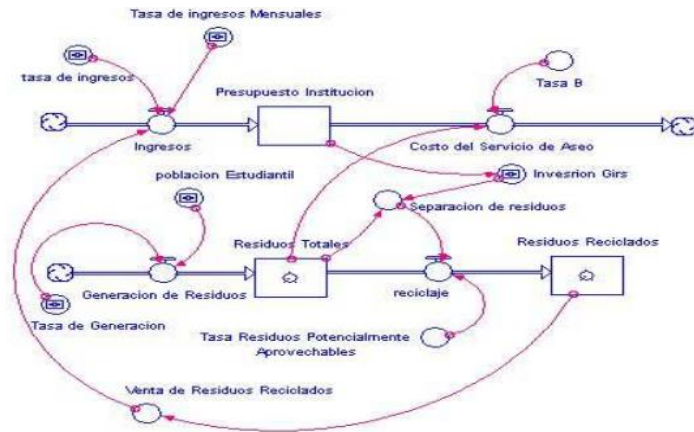


Figura 14. Ejemplo de diagrama de niveles y flujos, y representación de la simulación.
Fuente: Ibarra y Redondo (35).

2.2.4.1. Simulación de procesos con Stella en los tratamientos de aguas residuales y manejo de aspectos ambientales

En la tesis de Lara (36), titulada “Integración de herramientas de simulación para la realización de aplicaciones de enseñanza”, se hace mención de los sistemas de simulación actuales al año 2000 en España, donde se enlistan a soportes informáticos como: ECOSIM, AME, Matlab, STELLA, ASCEND, entre otros, afirmando que la versión del simulador

de procesos Stella se mantenía en 5.1.1.; el acrónimo Stella proviene de *Structural Thinking Experiential Learning Laboratory with Animation*, basado, como se mencionó anteriormente, en los diagramas de dinámicas de sistemas. Dicha metodología fue desarrollada por Barry Richmond, con la finalidad de inferir acerca del comportamiento de sistemas basados en procesos, desarrollando proyecciones que aportan en el entendimiento más preciso acerca de sistemas de la realidad.

Considerando dicho antecedente, el avance de las versiones de Stella se aprecia en la investigación titulada “Evaluación de Impacto Ambiental de nutrientes (nitratos y fosfatos)” mediante la simulación de sistemas dinámicos en la bahía interior de Puno, Perú”, desarrollada por Sifuentes y Benites (37), y presentada en el XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe el 2016, donde precisa el empleo de la versión 9.0.2, además de enfatizando que dicho medio informático permite pronosticar comportamientos a futuro mediante sistemas complejos dinámicos, permitiendo establecer contextos diversos ajustables a su reproducción en la realidad, que aporta en la toma de decisiones. Precisan textualmente en referencia al objeto de estudio (tratamiento de aguas residuales, orientación por el aporte en la conservación ambiental): “mediante el modelamiento de sistemas dinámicos de nutrientes no sólo se puede identificar, prevenir e interpretar los impactos ambientales, sino también permite cuantificar un sinnúmero de variables que confluyen entre sí para ser contrastados con las respectivas normas vigentes”.

También se tiene a la investigación orientada a generar modelos dinámicos de sistemas con propósito de determinar la calidad de agua de una laguna por vertimientos residuales de fuente doméstica en Pasco, 2016, desarrollada por Inga (38) en el año 2016, donde precisa el empleo del software Stella para evaluar el comportamiento dinámico de los parámetros

asociados a la calidad de vertimientos de aguas residuales de fuente doméstica, en un período de 10 años, proyectando que el caudal del agua residual aumentará en consecuencia al crecimiento poblacional, lo cual se espera que deteriore la calidad de agua si no se toman medidas al respecto, precisando textualmente que “la modelación de un proyecto de investigación (en pertinencia a la importancia del empleo del software Stella de versión 9.0.2) ayuda a cambiar y añadir supuestos, para observar sistemas complejos”, llegando a identificar causas que potencialmente generarían problemas, lo que acarrearía a la predisposición de efectos negativos en el tiempo, lo cual es un aporte de predicción mostrado en diagramas.

Se observa en el subtítulo presente el abordaje, de forma deductiva (general a lo específico) el empleo a través del tiempo, en forma de complemento de antecedentes, del software Stella asociando al objeto de estudio, lo cual complementa la idea teórica que sustenta el alcance de los resultados en un posterior capítulo; es preciso mencionar que la versión empleada en la investigación presente fue la 10.0.6.

2.3. Definición de términos básicos

- Aguas residuales: corresponden a vertidos resultantes de una actividad productiva o de procesos diversos cuya calidad se ha visto degradada, ya que se incorporaron elementos denominados como contaminantes (39).
- Aguas servidas: corresponden a vertidos que corresponden a ser desechos derivados de actividades que pueden generar desequilibrios (39).
- Aguas superficiales: corresponde al recurso hídrico que está sobre el nivel freático, ya sea de origen y curso natural, así como artificial (39).
- Análisis costo-beneficio: comprende a un análisis económico acerca de los beneficios y costes requeridos respecto de un proyecto, de forma que se idealice su factibilidad y viabilidad (39).

- Biogás: constituye al grupo de gases producto de contextos de digestión anaerobia, llegándose a componer por CH₄, CO₂, así como por otros gases que tienen un elevado poder calorífico (39).
- Biomasa: corresponde a fracción de materia, usualmente seca, de un área en particular, o hábitat, que se expresa ya sea por valores unitarios de superficie, así como puede ser en términos de volumen de agua (39).
- Capacidad de carga: tiende por ser una característica del ecosistema que se asocia en la sustentación de organismos y su relación con su medio que sea capaz de asimilar contaminantes, de forma que se mantengan escenarios productivos, de adaptación y de persistencia de la especie (39).
- Carga contaminante: se refiere a la cantidad de un elemento que causa desequilibrios en los medios físicos del ambiente y que es incorporada en éste en un tiempo determinado (39).
- Contaminación: aborda a una modificación indeseable de las características fisicoquímicas y biológicas de un medio, asociado a la generación de efectos negativos en los componentes ambientales (39).
- Contaminante: engloba a sustancias, ya sean de índole fisicoquímica u biológica y en cualquier estado de la materia, que puede llegar a incorporarse al ambiente y, al estar en concentraciones anormales, alteran su condición natural (39).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): constituye a un parámetro de la calidad del agua, donde se da el consumo de oxígeno, por microorganismos, lo cual favorece a la degradación de lo orgánico (39).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): se asocia a la estabilización del consumo de oxígeno, necesario para tratar vertidos residuales (39).
- Desarrollo Sostenible: es el “proceso de mejoramiento equitativo de la calidad de vida de las personas mediante el cual se procura el crecimiento económico social en una relación armónica con la protección del medio ambiente, de modo que se satisfagan las necesidades de las generaciones actuales y futuras” (39).
- Descarga: es la “disposición o adición de desechos o residuales a un medio receptor” (39).
- Descontaminación: aborda a actividades de eliminado controlado de sustancias que son consideradas como nocivas para el medio ambiente (39).

- Ecosistema: corresponde al agrupamiento de elementos vivos y abióticos del medio, considerando su interrelación, así como distribución en un determinado medio físico (39).
- Efluente: se asocia con el vertido, en estado líquido, que es tratado o no y que deriva del desarrollo de procesos o actividades, que es dispuesto en un cuerpo receptor a nivel superficial o subterráneo (39).
- Estándar de Calidad Ambiental: se refiere a las concentraciones de contaminantes que son permitidos en un medio puntual (39).
- Fuente contaminante: aborda al proceso o actividad que llega a incorporar agentes que generar desequilibrios en el medio ambiente (39).
- Impacto ambiental: se asocia con la modificación del estado natural del ambiente que es provocado por acciones de índole humana o de contexto natural, que puede llegar a ser significativo, causando deterioros graves (39).
- Sedimentación: engloba a procesos donde se da la acumulación de partículas y que puede llegar a afectar al suelo, al agua o a los fondos marinos (39).
- Sistema de tratamiento de aguas residuales: corresponde al conjunto de actividades o procesos que se orientan a disminuir concentraciones de agentes contaminantes presentes en el agua, de forma que se alcancen a regenerar recursos hídricos (39).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

A continuación, se señala el enmarque metodológico del estudio, respecto del enfoque tecnológico con perspectivas de alcance acerca del desarrollo de la solución.

3.1.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1.1. Método específico

El método específico que se empleó en la investigación fue el de la simulación de los procesos de tratamiento de aguas residuales y su repercusión y/o aporte en la conservación ambiental (servicio ambiental hídrico) (40). Así también, la metodología específica cotejada se asocia con el ideal tecnológico de la investigación, desarrollada mediante el empleo de un simulador de procesos: software Stella, alcanzando a proyectar, en forma de aporte de la investigación, la interacción de requerimientos técnicos para el tratamiento de aguas residuales generadas en el distrito de Huancayo, así como el aporte en la conservación ambiental y en términos de viabilidad del estudio.

3.1.1.2. Tipo de investigación

“La investigación tecnológica es aquella que responde a problemas técnicos, aprovechándose del conocimiento teórico científico producto de la investigación básica, organizando reglas técnicas cuya aplicación posibilita y/o viabiliza cambios en la realidad” (41). La aplicación de información existente para así llegar a proponer una alternativa sustentada por la aplicación de la simulación (tecnología flexible (33)), como aporte tecnológico, se basa en el abordaje real de una situación evidentemente necesaria para alcanzar escenarios de sostenibilidad en el área local de estudio, de modo que también se alcance a replicar en su desarrollo estructural y en forma de antecedente para estudios complementarios.

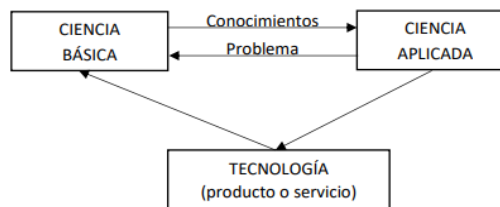


Figura 15. Esquema de integración de la ciencia básica y aplicada con el enfoque tecnológico.

Fuente: Huamaní (41).

3.1.2. Población y muestra

3.1.2.1. Población

Abarcó a las tecnologías disponibles de simulación de procesos que sean aplicados para dimensionar procesos, como lo requerido para proyectar la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, donde se puedan conjugar sus características de dimensionamiento y operatividad.

3.1.2.2. Muestra

Considerando el aporte tecnológico, abarcó a la identificación y análisis de los requerimientos técnicos que viabilicen la propuesta de tratamiento de aguas residuales en relación a lo establecido en la población de estudio, considerando como tal el empleo del software Stella para fines pertinentes de simulación de procesos, acorde a lo presentado en las bases teóricas que evidencian su empleo en casos de estudio similares.

3.1.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos, además del cotejo de instrumentos de recolección correspondientes, se describen en la siguiente tabla.

Tabla 15. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados.*

Técnicas	Instrumento correspondiente
Observación	Lista de cotejo de campo
Cotejo de base de datos	Base de datos

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.1. Proceso metodológico

Respecto del abordaje del tema de estudio, se presentan los siguientes ítems que se siguieron a lo largo del desarrollo del mismo, lo cual se complementa con el esquema metodológico presentado en la figura 16.

- a. Tras identificar el problema de investigación, se establecieron los objetivos de estudio, considerando el alcance de la investigación sustentada en la justificación de esta, plasmando en ello al abordaje del aporte del empleo

de un soporte tecnológico, como es el caso del software Stella, en el desarrollo de una planta de tratamiento de aguas domésticas para el distrito de Huancayo.

- b. El aporte de la investigación tecnológica se observa en términos de fortalecer ideales de viabilidad de un proyecto pendiente y de relevancia socioambiental para la ciudad, considerando aspectos técnicos de operación de las etapas del tratamiento de aguas residuales.
- c. Como primer contexto de abordaje, se realizó la revisión documentaria para así cotejar información existente y pertinente acerca del tema de estudio, abordando en ello a los antecedentes y también alcanzado a sustentar las limitaciones presentadas en el Capítulo I.
- d. A partir de ello, se identificaron las condiciones asociadas al vertimiento de las aguas residuales domésticas que llegan a influir en los procesos de tratamiento, como el tema de caudal, el espacio de terreno disponible (observación de campo), la descarga constante de aguas residuales en puntos específicos, la tecnología de alcance factible y la proyección del período de diseño, lo cual hizo posible desarrollar contextos de ensayo y error sujeto al empleo del simulador, de forma que se alcance el mencionado aporte en términos de viabilidad operativa.
- e. Los denominados contextos de ensayo y error consideraron factores de relevancia respecto de la operatividad de cada proceso predimensionado, de forma que el aporte de la investigación se oriente a generar menores escenarios de paradas, como proyección operativa, así como de la necesidad de optar por contingencias planificadas y prevenir potenciales emergencias que ocasionen gastos innecesarios, entre otros. Aquel escenario contempla el empleo del simulador propiamente dicho, focalizado en los procesos como tal y el período de diseño proyectado.

- f. En base a ello, se realizó la discusión de los resultados alcanzados contemplando la definición de alternativas; se pretende que se observe la importancia del empleo de la tecnología (simulador) como agente que aporte en prevenir “rediseños” en campo que supongan el incremento de gastos “adicionales”, así como en la fase de operación se observe una clara intención de sostenibilidad del proyecto, lo cual también engloba al aporte (proyección) del empleo de la tecnología en la conservación ambiental.
- g. Se alcanzaron las conclusiones de la presente investigación.

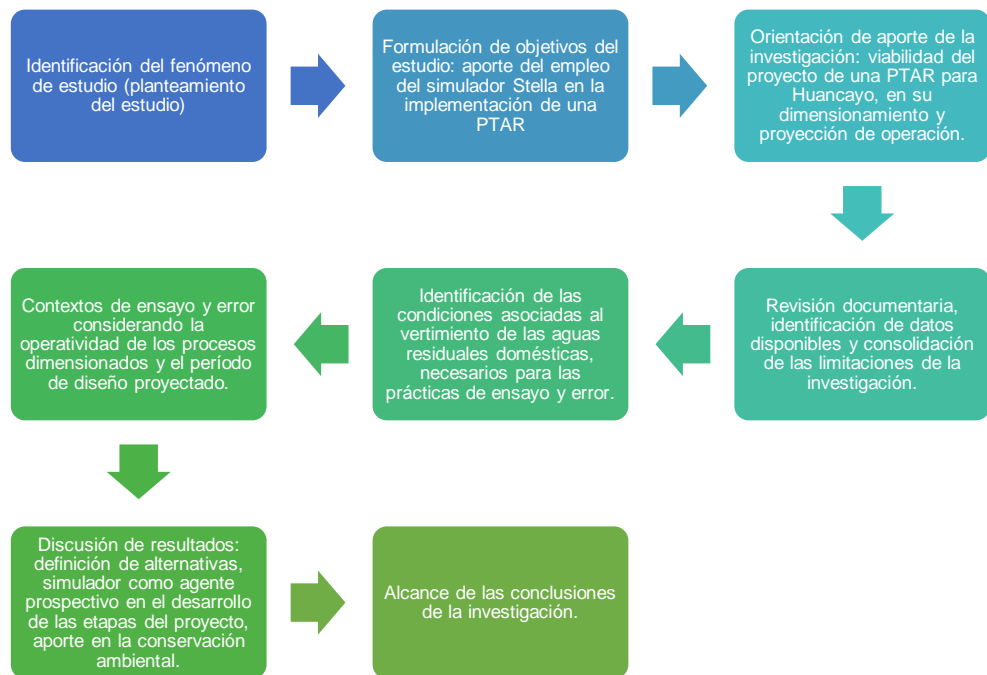


Figura 16. Esquema metodológico de la investigación.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Identificación de requerimientos

Para la identificación de los datos de dimensionamiento, necesarios para proyectar ensayos asociados a la propuesta (PTAR) considerando las pruebas de simulación, fue preciso consultar bibliografía pertinente que abordó objetos de estudio similares, los cuales no consideraron propiamente el aporte de la presente investigación en torno al empleo de un simulador de proceso (Stella), orientando la presente sección a generar información de factibilidad necesaria para alcanzar el propósito de aporte en contextos de viabilidad. Las proyecciones presentadas en las tablas siguientes, así como las fórmulas empleadas, parten de lo propuesto en la norma OS.090 (30), por abordar lo técnicamente requerido para el dimensionamiento de PTAR, en marco del Reglamento Nacional de Edificaciones, propuesto por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (30), de forma que técnicamente se precisan dichas consideraciones de factibilidad de forma textual según lo referido por la fuente mencionada, además de adaptar las proyecciones según lo propuesto por Ramos (42), apartado “Directrices de diseño para las Plantas de Tratamiento”, por Bendezú y Martínez (43), apartado “Diseño de PTAR utilizando filtro percolador y digester anaerobio”, por Laura (44), apartados “Matriz estratégica de Sedam Huancayo; mejoramiento de la calidad de los servicios; aseguramiento de abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales; caudal de tratamiento de aguas residuales” y finalmente por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (en adelante “SUNASS”) (45), apartado “Operación y mantenimiento de las PTAR; actividades mínimas de operación y mantenimiento de las PTAR”. A

partir de ello, se procedió a consolidar la información cotejada de forma que sea el sustento técnico (factibilidad) que viabilice el alcance del aporte de la investigación.

- Identificación de datos necesarios (según requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45)):

- Dato de población actual : 116 953 (censo 2017).
- Tasa de crecimiento : 1 %.
- Periodo de diseño : 20 años.
- Dato de dotación : 180 L/hab/día

Se requiere, según la Norma OS-100 (Consideraciones básica de diseño de infraestructura sanitaria) (46), de la aproximación de la población futura pertinente al periodo de diseño:

- Cálculo de la Población Futura:

$$Pf = Pa * (1 + r)^{t_o - t_f} = 148\ 499 \text{ (al año 2042)}$$

- Determinación del caudal de contribución:

- Dato para el caudal promedio:

$$Q_p = \frac{Pob * Dot}{86400} = 309.37 \text{ L/s}$$

- Dato para el caudal máximo horario:

$$Q_{mh} = Q_p * 1.8 = 556.87 \text{ L/s}$$

- Dato para el caudal de contribución:

$$Q_c = Q_{mh} * 0.8 = 445.50 \text{ L/s}$$

- Dimensionamiento de la PTAR utilizando decantadores:

En relación con la propuesta sometida a análisis de simulación, se plantearon los siguientes componentes, considerando lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45):

- a) Cámara de rejas gruesas.
- b) Cámara de rejas finas.
- c) Desarenador rectangular.
- d) Canal Parshall.
- e) Decantador primario.
- f) Filtro percolador.
- g) Decantador secundario.
- h) Digestores primario y secundario.
- i) Cámara de contacto.

Tabla 16. *Datos de diseño para el cálculo de las dimensiones de las rejas gruesas.*

Ítem	Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de contribución proyectado	Q _{mh}	L/s	445.50
			m ³ /h	1 603.79
2	Velocidad en el canal de llegada	V ₁	m/s	0.45
3	Velocidad a través de las rejas (limpio)	V _r		0.70
4	Espesor de barra	t	mm	10
5	Grosor del marco	L		50
6	Separación entre barras	a		40
7	Inclinación de las rejillas	α	°	60
8	Ancho total del canal	W	m	1.5

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

- a) Datos complementarios para la cámara de rejas gruesas:

- Dato para el caudal de diseño:

$$Q_d = \frac{Q_{mh}}{1.8} = 247.50 \text{ L/s}$$

- Dato para el tirante de agua en el canal:

$$H = \frac{Q_{mh}}{V_1 * W * 1000} = 0.66 \text{ m}$$

- Dato para el número de barras:

$$N_b = \frac{w * t}{t + a} = 28$$

- Dato para la eficiencia de rejillas:

$$E = \frac{a}{t + a} = 0.80$$

- Dato de la velocidad a través de las rejillas:

$$V_r = \frac{V_1}{E} = 0.56 \frac{m}{s}$$

- Dato de la pérdida de carga:

$$h_L = \frac{(V_r 50\%)^2 - (V_1)^2}{2g} * 0.7 = 0.08 \text{ m}$$

- Dato de la tasa de residuos sólidos:

$$RS = 17513 * a^{-2.053} = 11 \text{ L/1000} * m^3$$

- Dato de producción de residuos sólidos:

$$PRS = RS * CAUDAL * \left(\frac{86.4}{1000}\right) = 0.242 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 17. *Datos de diseño para el cálculo de las dimensiones de las rejillas finas.*

Ítem	Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de diseño	Qd	L/s	247.50
			m ³ /h	891.00
2	Caudal de contribución proyectado	Qmh	L/s	445.50
			m ³ /h	1 603.79
3	Velocidad en el canal de llegada	V1	m/s	0.75
4	Velocidad a través de las rejillas (limpio)	Vr		1.2
5	Espesor de barra	t		6
6	Grosor del marco	L	mm	40
7	Separación entre barras	a		15
8	Inclinación de las rejillas	α	°	75
9	Ancho total del canal	W	m	1.2

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendejú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

b) Datos complementarios para la cámara de rejillas finas:

- Dato del tirante de agua en el canal:

$$H = \frac{Q_{mh}}{V_1 * W * 1000} * 1.8 = 0.71 \text{ m}$$

- Dato del número de barras:

$$N_b = \frac{(w - t)}{(t + a)} = 67$$

- Dato de la velocidad a través de las rejillas:

$$V_r = V_1 / E = 1.05 \text{ m/s}$$

- Dato de la tasa de residuos sólidos:

$$RS = 17513 * a^{-2.053} = 84.92 \text{ L/1000 * m}^3$$

- Dato de la producción de residuos sólidos:

$$PRS = RS * CAUDAL * (86.4/1000) = 1.82 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tabla 18. *Datos de diseño para el cálculo de las dimensiones del desarenador rectangular.*

Ítem	Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de contribución proyectado	Qmh	L/s	445.50
			m ³ /h	1 603.79
2	Número de desarenadores	N	unidad	2
3	Ancho del desarenador	W	m	1.5
4	Velocidad de flujo	V	m/s	0.3
5	Relación L/H	R		25
6	Carga de arena	Ca	L/hab/año	5

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

c) Datos complementarios para el desarenador rectangular:

- Dato del caudal de diseño:

$$Q_d = Q_{mh} / N = 0.223 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Dato de la velocidad de sedimentación (OS.090 (30); Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), SUNASS (45)):

$$V_s = 0.025 \text{ m/s}$$

- Dato de la altura del sedimentador:

$$H = Q_d / (W * V) = 0.495 \text{ m}$$

- Dato del largo del desarenador:

$$L = R * H = 9.9 \text{ m}$$

Consideración del 25 % adicional según la Norma OS-090:

$$L_t = L * 1.25 = 12.375 \text{ m}$$

- Dato de la tasa de aplicación:

$$T = (3600 * Q_d) / (W * L) = 54.00 \frac{\text{m}^3/\text{m}^2}{\text{h}}$$

- Dato de la velocidad de sedimentación:

$$V_s = Q_d / A = 0.018 \text{ m/s}$$

- Dato del tiempo de residencia:

$$TR = (L * W * H) / Q_d = 33.00 \text{ s}$$

- Dato del volumen del desarenador:

$$V = H * W * L = 7.351 \text{ m}^3$$

- Dato del volumen de arena recogida:

$$\text{Var} = \frac{(\text{Pob.} * C_a)}{(52 * 1000)} = 14.28 \text{ m}^3/\text{semana}$$

- Dato de la altura de zona de recolección de arena:

$$H_a = \text{Var} / (W * L) = 0.962 \text{ m}$$

Tabla 19. *Datos de diseño para las dimensiones del canal Parshall.*

Ítem	Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de contribución proyectado	Qmh	L/s	445.50
			m³/s	0.45
2	Profundidad de flujo	H	m	0.45
3	Relación de sumergencia	Hb/Ha		0.7
4	Ancho de canal	A	m	1.5

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

d) Datos complementarios para el canal Parshall:

- Dato del ancho de garganta:

$$(1/3) * A < W < (1/2) * A$$

$$0.4\text{m} < 0.457\text{m} < 0.6\text{m}$$

- Dato de la profundidad de agua (Ha):

$$H_a = (Q_d/1.054) \wedge (1/1.538) = H_a = 0.57 \text{ m}$$

- Dato de la profundidad de agua (Hb):

$$H_b = 0.7 * H_a = 0.40\text{m}$$

- Dato de la profundidad aguas arriba sobre el fondo del canal:

$$X = H - H_b = 0.05\text{m}$$

- Dato de la pérdida de carga (OS.090 (30); Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), SUNASS (45)):

$$h = 8.5\text{cm}$$

- Dato de la profundidad aguas arriba sobre el fondo del canal (OS.090 (30); Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), SUNASS (45)):

$$H - h = 0.37\text{m}$$

- Datos para el dimensionamiento del canal Parshall:

Tabla 20. Dimensiones para el canal Parshall.

A =	1.449 m	K =	0.076 m
B =	1.42 m	N =	0.229 m
C =	0.762 m	R =	0.508 m
D =	1.026 m	M =	0.381 m
E =	0.915 m	P =	1.676 m
F =	0.61 m	X =	0.051 m
G =	0.915 m	Y =	0.076 m

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

Tabla 21. Datos de diseño para las dimensiones del decantador primario.

Ítem	Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de contribución proyectado	Qmh	L/s	445.50
			m ³ /h	1 603.79
2	Velocidad ascensional a caudal de diseño	Va	m ³ /m ² *h	1.75
			m/h	40
3	Tiempo hidráulico de residencia	THR	2	H
4	Número de decantadores	N	Unidad	3
5	Distancia desde el vertedero a la pared interna	R	M	0.5
6	Eliminación de sólidos en suspensión	%S	%	55
7	Eliminación del DBO	%DBO	%	35
8	Fango - sedimentos a la salida	Cf	kg/m ³	20
9	Borde libre de canal de recolección	b	m	0.7

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

e) Datos complementarios para el decantador primario:

- Dato del caudal del decantador:

$$Q_{ds} = (1.8 * Q_d)/N = 962.28 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Dato de la superficie del decantador:

$$A = Q_{ds}/V_a = 549.87 \text{ m}^2$$

- Dato del diámetro interno:

$$\phi = (4 * A/\pi) * 0.05 = 26.46 \text{ m}$$

- Dato del volumen cilíndrico útil:

$$V_u = Q_{ds} * THR = 1924.55 \text{ m}^3$$

- Dato de la profundidad cilíndrica útil:

$$H = V_u/A = 3.5 \text{ m}$$

- Dato de la longitud del vertedero en el decantador:

$$L_v = 2 * \pi(\phi/2 - R) = 110.83$$

- Dato de la carga máxima sobre el vertedero:

$$C = Q_{ds} * L_v = 8.682 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{h}$$

- Dato del área del fondo del tanque:

$$A_4 = A_2 - A_3 = 1.70 \text{ m}^2$$

- Dato de la altura del tanque sedimentador:

$$h_1 = \frac{A_4}{L_v} = 0.34 \text{ m}$$

- Dato del área de zona de ventilación:

$$A_5 = \%SL * A_1 = 22.85 \text{ m}^2$$

- Dato del ancho de la zona de ventilación:

$$W = A_5/(2 * L) = 1.43 \text{ m}^2$$

- Dato del volumen de almacenamiento y digestión:

$$V_2 = 70 * (P_{ob.}/N) * f_{cr}/1000 = 852.39 \text{ m}^3$$

- Dato del volumen de almacenamiento y digestión unitario:

$$V_3 = V_2/(N_1 * N_2) = 213.10 \text{ m}^3$$

- Dato de la altura de la zona rectangular en la zona de digestión:

$$h_4 = V_5/A_7 = 5.972 \text{ m}$$

Tabla 22. Datos de diseño para el cálculo del dimensionamiento del filtro percolador.

Ítem	Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de contribución proyectado	Qmh	L/s	445
			m ³ /h	1 604
2	Profundidad del filtro para el medio plástico	ht	m	6.5
3	Número de tanques	N	unidad	20
4	Área superficial específica del medio	S	m ² /m ³	120
5	Porcentaje de vacíos	% vacíos	%	95
6	Área de orificios del falso fondo del sistema de drenaje	Aff	m ²	13.8
7	Espacio libre entre la parte inferior del distribuidor y el medio filtrante	Esp. libre	cm	22
8	Numero de brazos del distribuidor	A	Unidad	4
9	Pendiente de recolección del líquido del fondo	Pend	%	1
10	Eliminación de sólidos en suspensión	%S	S	50
11	Porcentaje de remoción DQO en la salida	%DQO	%	65

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

- f) Datos complementarios del filtro percolador:

- Dato de la constante de tratabilidad:

$$K_h = 0.037 * (1.08)^{t-15} - 15 = 0.0216 \text{ m/d}$$

- Dato del volumen del filtro:

$$V = \frac{Q_{ds} * \ln \left(\frac{S_{aDBO}}{S_{aDBO}} \right)}{K_h * S} = 2869.45 \text{ m}^3$$

- Dato del área superficial:

$$A_s = V / h_t = 441.45 \text{ m}^2$$

- Dato del diámetro del filtro:

$$D = 2 * \sqrt{A_s / \pi} = 16.56 \text{ m}$$

- Dato de la carga hidráulica superficial:

$$CHS = Q_r / A = 8.72 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * d = 0.36 \text{ m}^3 / \text{m}^2 * \text{h}$$

- Dato del caudal de dosificación, cm/paso del brazo del distribuidor:

$$\text{Dosif} = 19 * \text{COV} \text{ cm/paso} = 12.87 \text{ cm/paso}$$

- Dato de la velocidad de rotación del distribuidor (rpm):

$$n = (1.66 * CHS) / (A * \text{Dosif}) = 0.003 \text{ rpm}$$

Tabla 23. *Datos de diseño para el cálculo del dimensionamiento del decantador secundario.*

Ítem	Datos de Diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de contribución proyectado		L/s	353 724
			m ³ /h	1273.406
2	Velocidad ascensional a caudal de diseño	V _a	m ³ /m ² *h	1.5
3	Carga superficial	CS	m/d	36
4	Tiempo hidráulico de residencia	THR	h	3
5	Numero de sedimentadores	N	Unidad	10
6	Distancia desde el vertedero a la pared interna	R	m	0.5
7	Eliminación de sólidos en suspensión	%S	%	62
8	Eliminación de DBO	%DBO	%	38
9	Borde libre de canal de recolección	b	m	0.2

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

g) Datos complementarios del decantador secundario:

- Dato del caudal máximo por sedimentador:

$$Q_{ds} = (1.8 * Q_d) / N = 160.379 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Dato de la superficie del sedimentador:

$$A = Q_{ds} / V_a = 106.919 \text{ m}^2$$

- Dato del diámetro interno:

$$\varnothing = (4 * A/\pi)^{0.5} = 11.67 \text{ m}$$

- Dato del volumen cilíndrico útil:

$$V_u = Q_{ds} * T = 481 \text{ m}^3$$

- Dato de la profundidad cilíndrica útil:

$$H = V_u / A = 4.5 \text{ m}$$

- Dato de la longitud del vertedero en sedimentador:

$$L_v = 2 * \pi(\varnothing/2 - R) = 33.5 \text{ m}$$

- Dato del ancho de canal de recolección:

$$a = R - 0.15 = 0.35 \text{ m}$$

- Dato de la altura de canal de recolección:

$$H_o = \frac{(Q_{ds}/(1.38 * a))^{\frac{2}{3}}}{10} = 0.479 \text{ m}$$

- Dato de la producción de fangos secundarios:

$$PF = 24 * Q_d * C_s * \%S/1000 = 1530.96 \text{ kg/día} =$$

$$PF = Q_d * C_s * \%S/1000 = 63.79 \text{ kg/h}$$

- Dato del caudal de fangos secundarios:

$$QF \text{ secundarios} = QF/C_f = 4.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tabla 24. Datos de diseño para el dimensionamiento del digestor primario y secundario.

Ítem	Aspectos necesarios de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
Digestor primario				
1	Caudal de contribución proyectado	Qmh	L/s	445.50
			m ³ /h	1 604
2	Porcentaje relativo del lodo	% HL	%	93
3	Porcentaje sólidos del lodo	% SL	%	7
4	Eficiencia del digestor primario	E	%	0.7
5	Número de digestores primarios	N	Unidad	2
6	Coeficiente de producción	Y	gSSV/gDBO	0.08
7	Tiempo de retención del digestor primario	Θ	Días	20
8	Reducción esperada de volátiles del fango	% RSV	%	40
9	Sólidos volátiles contenidos en el fango	% SV	%	60
10	Altura cilíndrica útil del digestor primario	h	m	8
11	Altura del fondo cónico del digestor primario	hc	m	2
Digestor secundario				
12	Tiempo de retención del digestor secundario	Θ	Días	6
13	Altura cilíndrica útil de digestor secundario	h	m	8
14	Altura del fondo cónico del digestor secundario	hc	m	2
15	Número de digestores secundarios	N	Unidad	1
16	% de metano en el gas	% CH ₄	%	65
17	% de remoción de DQO del efluente	% DQO	%	55

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

h) Datos complementarios de los digestores primario y secundario:

- Dato del caudal total de fangos a digerir:

$$QL_{total} = QL_{primario} + QL_{secundario} = 75.657 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Dato de la concentración de fangos a digerir:

$$CF = Scl(\text{totales})/QL(\text{total}) = 71.400 \text{ kg}/\text{m}^3$$

- Dato del volumen total de digestores primarios:

$$VTp = CF(\text{diario}) = 34272.00 \text{ m}^3$$

- Dato del volumen unitario de digestores primarios:

$$V_u = VT_p/N = 17136 \text{ m}^3$$

- Dato del volumen total de digestores secundarios:

$$VT_s = \theta * CF(\text{diario}) = 10281.6 \text{ m}^3$$

Tabla 25. Datos de diseño para el dimensionamiento de la cámara de contacto.

Ítem	Datos de diseño	Símbolo	Unidad	Valor
1	Caudal de contribución proyectado	Qmh	L/s	445.50
			m ³ /día	38 491
2	Dosis de cloro	Cl ₂	mg/L	6
3	Temperatura del agua	T°agua	°C	19
4	Tiempo contacto a caudal regulado	TCQmax	min.	15
5	Número de unidades	N	Unidad	4
6	Profundidad útil	h	m	4
7	Relación longitud/anchura de la balsa	Rel.		1.45

Fuente: adaptado de lo requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).

- i) Datos complementarios de la cámara de contacto:

- Dato del caudal máximo por línea:

$$Q_{ds} = Q_{max} / N = 400.95 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Dato del consumo medio de cloro:

$$\text{ConsumoCl}_2 = (Q_d/1000) * \text{Cl}_2 * 24 = 230.95 \text{ kg/día} = 9.6 \text{ kg/h}$$

- Dato del volumen unitario de la balsa:

$$V_u = (TCQ_{max}/60) * Q_{ds} = 100.24 \text{ m}^3$$

- Dato del volumen total de la balsa:

$$V_t = V_u * N = 400.95 \text{ m}^3$$

- Dato de la superficie unitaria de la balsa:

$$As = Vu / h (273) = 50.12 \text{ m}^2$$

- Dato de la longitud de la balsa:

$$L = (As * Rel)^{1/2} = 8.5 \text{ m}$$

- Dato de la anchura de la balsa:

$$H = As/L = 5.87 \text{ m}$$

4.2. Análisis de la solución

Para alcanzar el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación, es preciso considerar lo determinado en torno a su relevancia para la factibilidad y viabilidad de la solución. El hecho de cumplir con los métodos de cálculo estandarizados, basados en lo propuesto por la normativa vigente del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en marco de lo establecido por el Reglamento de Edificaciones (D.S. N° 011-2006-VIVIENDA), es decir, en base a lo señalado en la Norma OS.090 - Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (30), evidencia el cumplimiento de términos de factibilidad, considerando también a los métodos de viable aplicación en función de los parámetros considerados como contaminantes criterio, comprendidos como parámetros generados por la fuente doméstica, abordando en dicho énfasis el contexto de viabilidad de los procesos de tratamiento para aquellos: cámaras de rejillas (gruesas, o de ingreso, y finas), desarenador, canal Parshall, decantador primario, percolador circular, decantador secundario, digestores anaerobio primario y secundario, y cámara de contacto.

La terminología que se orienta a los objetivos de conservación ambiental, es decir, al alcance de parámetros por debajo de los LMP, son producto secundario lo cual debe responder la infraestructura de servicio como aporte viable de retribución de servicios ambientales, siendo así que se denota el interés de viabilidad de los objetivos específicos, entonces es preciso comprender que el interés de emplear un medio informático tecnológico, dentro de las alternativas que existen, es justamente responder a esa necesidad de viabilidad como aporte de su empleo, de modo que lo proyectado evidencie un aporte de la investigación.

Así también, y correspondiendo a las fases de un proyecto de inversión, es preciso denotar la importancia de aporte en la viabilidad del empleo de un simulador de procesos, enmarcando a ello en el inicio del proyecto, donde se mide el valor y la viabilidad del plan y acorde a la inclusión de un estudio de factibilidad, donde ésta comprenda una evaluación de las metas del proyecto, cronograma y costos para determinar si el plan debe ser ejecutado, de forma que la propuesta se orientará a equilibrar los requisitos del proyecto con los recursos disponibles para observar si la sostenibilidad de la infraestructura se vea garantizada. También es oportuno señalar acerca de la planificación del proyecto, como segunda fase de intervención, donde se brindan los medios adecuados para producir resultados de calidad, manejar el riesgo, crear aceptación, comunicar los beneficios a las partes interesadas y administrar a los proveedores, de modo que todo aquello se observe como fortalecido en marco de la oportuna toma de decisiones derivada de la planificación efectiva del proyecto.

Las demás fases: ejecución, supervisión, seguimiento y control, y cierre del proyecto, no competen propiamente a la propuesta presente, empero es preciso denotar la relevancia de anticiparse a riesgos mediante el empleo de la tecnología.

Es oportuno mencionar también al enfoque socioambiental, que se asocia, en su abordaje, con la proposición de la potencial reducción de concentraciones y más aún con presentar medios por los cuales se hace tangible dicho ideal, es decir, presentar esquemas de procesos comprendidos para dichos fines al ser sometidos a procesos de transformación (procesos de tratamiento), lo cual también se asocia con el alcance de factibilidad que permite el empleo del simulador, que es equivalente a proponer experimentos en investigaciones de corte científico sujeto a ensayos, de forma que se sustenta el alcance de aportes en el conocimiento derivado de la propuesta de investigación tecnológica.

Así también, es preciso considerar al enfoque económico de forma general al no obtener data específica por el hecho de que la EPS Sedam Huancayo no mantiene una proyección por la actualización y estandarización de tarifas económicas, lo cual requiere de abordar terminología en relación al retorno de inversión, lo cual, al evidenciar una propuesta, se recomendará (sección de trabajos futuros) a la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS) correspondiente y que debe ser acorde a lo propuesto por entes gubernamentales que mantienen en agenda el desarrollo de dicha infraestructura de servicios.

Para abordar propiamente al acápite de diseño, es necesario denotar la relevancia del conocer acerca de un proceso, siendo éste un conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados, precisando también que todo proceso es una secuencia ordenada de actividades cuyo producto tiene un valor, entendiéndose que aquello es lo que se aprecia, estima o aporta. Los elementos de un proceso, según la Norma Internacional ISO 9001 (47), son los siguientes:

- *Input* o entrada (para el caso, afluente con carga contaminante).
- *Proceso* (propiamente dicho), que aborda a la secuencia de actividades a desarrollo con el objeto de disminuir dicha carga contaminante.
- *Output* o salida (en términos para el estudio, agua tratada).



Figura 17. Representación del proceso.

Fuente: ISO (47).

Se observa en la figura 17, a la par de la secuencia de actividades, a los términos “recursos” y “gestión”; se entienden por recursos los medios por los cuales se tratará el agua residual, generando subprocesos específicos para la naturaleza apropiada de cada parámetro, mientras que se entiende por gestión a lo administrativamente idóneo respecto del manejo de recursos en el proceso de transformación.

A partir de ello, es oportuno denotar ahora sobre los componentes del software Stella para tener base de abordaje, así como el complemento de lo ya mencionado acerca de procesos (flujo):

- Stella es un programa de simulación informático, que proporciona un marco de referencia y una interfase gráfica de usuario para la observación e interacción cuantitativa de las variables de un sistema (entendido como un conjunto ordenado de procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo de procesos que tiene relación entre sí).

- La interfase se puede utilizar para describir y analizar sistemas biológicos, físicos, químicos o sociales, algunos considerados como complejos; dicha complejidad que se puede representar con 4 elementos o bloques de construcción: stock, flujo, conector y convertidor (figura 18).

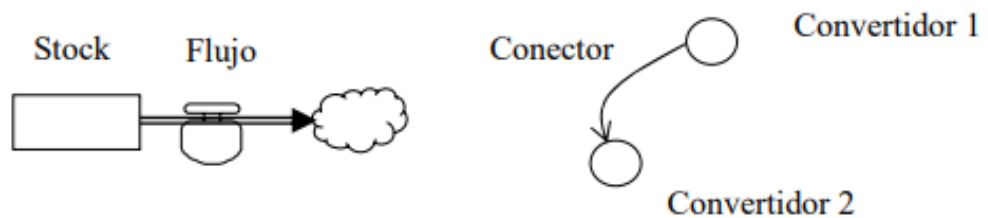


Figura 18. Recopilación de representación de elementos de construcción de procesos en Stella.

Fuente: elaboración propia según lo cotejado del software Stella.

Los elementos comprenden lo siguiente:

- Stock: es un símbolo respecto de una actividad que acumula o consume recursos, por ejemplo: agua acumulada.
- Flujo: es la tasa de cambio de un stock, por ejemplo, los flujos son el agua que entra y el agua que sale.
- Convertidor: se utiliza para tomar datos de entrada y manipularlos para convertir esa entrada en alguna señal de salida.
- Conector: es una flecha que le permite a la información pasar entre: convertidores; stocks y convertidores; stocks, flujos y convertidores.

A partir de ello, se propone la representación de procesos como propiamente el diseño de la propuesta objeto de la investigación.

4.3. Diseño

A continuación, se presentan las representaciones de los flujos de proceso, considerando los elementos del software Stella acorde a la identificación de requerimientos de diseño que consideren cada proceso específico de tratamiento.

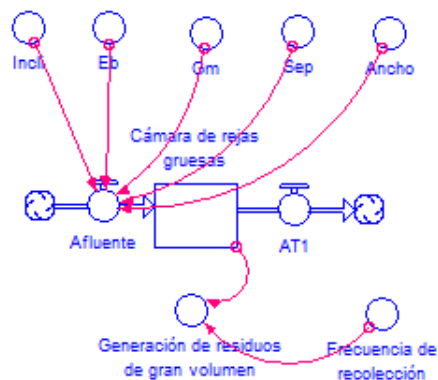


Figura 19. Representación del flujo - Cámara de rejillas gruesas.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En la representación para la cámara de rejillas gruesas (figura 19), como proceso inicial que corresponde al pretratamiento, se cotejaron los siguientes parámetros de operación y su relación con los elementos de Stella:

- Stock: cámara de rejillas gruesas.
- Flujo (ingreso): afluente (consideración del caudal de distribución proyectado).
- Convertidores (al afluente): inclinación (Incli), espesor de la barra (Eb), grosor del marco (Gm), separación entre barras (Sep), ancho del canal.
- Convertidores (del stock): generación de residuos de gran volumen, frecuencia de recolección.
- Flujo (salida): agua tratada 1 (AT1, caudal de distribución proyectado).

El alcance de dicho proceso de tratamiento es el desbaste físico, donde se observa la generación de subproductos o residuos de volumen mayor corresponde al objeto de su operación. La proyección con Stella infiere que los convertidores sean precisos para las características del efluente, principalmente respecto del caudal de distribución proyectado a 20 años al efluente, lo cual, como hito inicial, se orienta a cumplir con la primera fase de tratamiento de aguas residuales que aportaría en viabilizar en los procesos siguientes, con la finalidad de alcanzar (proyección de alcance) el cumplimiento de los ECA y LMP; posterior a ello, corresponde proponer la alternativa orientada a retener sólidos de menor volumen, donde también se precisa la necesidad de abordar a una frecuencia de recolección como alternativa de aplicación directa para la continuidad del proceso.

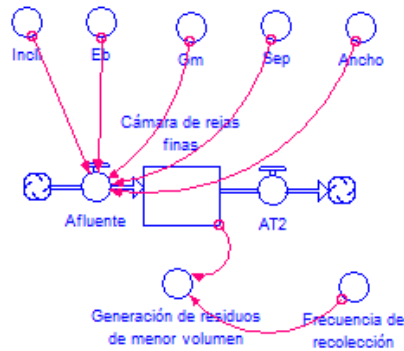


Figura 20. Representación del flujo - Cámara de rejillas finas.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En la figura 20 se denota la representación del flujo correspondiente al proceso de tratamiento de cámaras de rejillas finas, donde se denotan los componentes de Stella siguientes:

- Stock: cámara de rejillas finas.
- Flujo (ingreso): afluente (consideración de caudal de distribución proyectado).
- Convertidores (al afluente): inclinación (Incli), espesor de la barra (Eb), grosor del marco (Gm), separación entre barras (Sep), ancho del canal.
- Convertidores (del stock): generación de residuos de menor volumen, frecuencia de recolección.
- Flujo (salida): agua tratada 2 (AT2, caudal de distribución proyectado).

En dicho frente, la cámara de rejillas finas abarca a la generación de residuos de un volumen y peso específico menor, lo cual hace complementario a este proceso respecto al de la cámara de rejillas gruesas, por lo cual también se precisa la necesidad de abordar a una frecuencia de recolección como alternativa de aplicación directa para la continuidad de los procesos del tratamiento de aguas residuales, empero, el presente proceso se complementa con el desarenador, de modo que se completen las alternativas de pretratamiento.

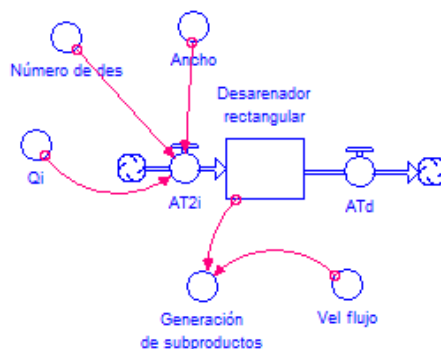


Figura 21. Representación de flujo - Desarenador rectangular.

Fuente: elaboración propia con Stella.

Como infraestructura hidráulica que tiene como función remover arenas, gravas y otras partículas pequeñas de naturaleza mineral, así como sustancias orgánicas que no sean de fácil putrefacción, el desarenador rectangular (figura 21) operará considerando una separación natural, es decir, donde haya un escenario de decantación denotando un desarenador convencional, lo cual se aplicará a las condiciones y características del efluente, partiendo del caudal de distribución proyectado, de forma que se consideraron los siguientes componentes de Stella para el proceso del desarenador:

- Stock: desarenador rectangular.
- Flujo (ingreso): AT2 (agua derivada de las rejas gruesas y finas, considerando el caudal de distribución proyectado).
- Convertidores (al afluente): Qi (caudal de ingreso), número de desarenadores, ancho de los desarenadores.
- Convertidores (del stock): generación de subproductos, velocidad de flujo.
- Flujo (salida): agua tratada tras desarenador (ATd).

Se precisa que dichos parámetros incidan en la proyección que aportará en la viabilidad de operaciones, lo cual infiere en el comportamiento del tratamiento que se espera sea efectivo para cumplir con los ECA y LMP. En secuencia a lo presenta, para considerar lo resultante derivado del proceso de desarenador, es necesario precisar que éste se propone por su convencionalidad, es decir, cotejará la necesidad de abarcar a las actividades de ingreso respecto del caudal, el ancho de los desarenadores y el número de éstos, además de los elementos derivados propiamente de los desarenadores que condicionan la continuidad de operaciones,

es decir, la generación de subproductos (tasa de generación de lodos y arena) y la velocidad del flujo; se observa propiamente que se dará la generación de lodos y arena, así como aquel frente supondrá el almacenamiento de aquellos aspectos ambientales derivados del proceso de desarenado, a lo que se infiere proponer aquel escenario de control del almacenamiento, de forma que se alcance la continuidad de operaciones. Es oportuno mencionar que las fases del pretratamiento aportan de forma sustancial a que los procesos del tratamiento primario, secundario y terciario se den de forma efectiva, infiriendo que el software Stella aporta en la proyección del tratamiento integral de las aguas residuales, por más de las limitaciones expuestas en un capítulo anterior.

A partir de lo presentado, correspondiente a la fase de pretratamiento, se continua con el tratamiento primario, lo cual deriva de regular el caudal de tratamiento mediante el canal Parshall.

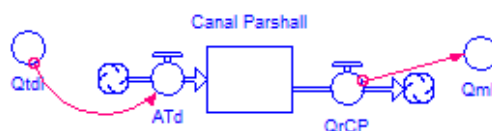


Figura 22. Representación de flujo - Canal Parshall.

Fuente: elaboración propia con Stella.

Para la presente, la finalidad del canal Parshall se asocia con la regulación de caudales que ingresarán a los procesos de tratamiento primario, secundario y terciario, por lo cual, en la figura 22 se representan los puntos a considerar en dicho proceso, siendo los siguientes elementos de Stella:

- Stock: canal Parshall.
- Flujo (ingreso): ATd (agua tratada derivada del desarenador).
- Convertidor del flujo de ingreso: constante de caudal (Q_{tdi}).
- Convertidor de flujo de salida: caudal de distribución regulado (Q_{mh}).
- Flujo (salida): efluente con caudal regulado.

Tras la verificación de la constante del caudal, el agua pretratada ingresa al siguiente proceso, propiamente del tratamiento primario. La regulación del caudal permitirá tener una constancia del mismo, lo cual infiere a que la dinámica de procesos, en relación al empleo de Stella, se mantenga uniforme en las fases

posteriores de tratamiento de aguas residuales, además de que las consideraciones de dimensionamiento técnico, más allá de solo responder a la normativa vigente, sean de viable apreciación para el alcance de estar por debajo de los ECA y LMP en términos de concentraciones, infiriendo en la relevancia del caudal de distribución proyectado.

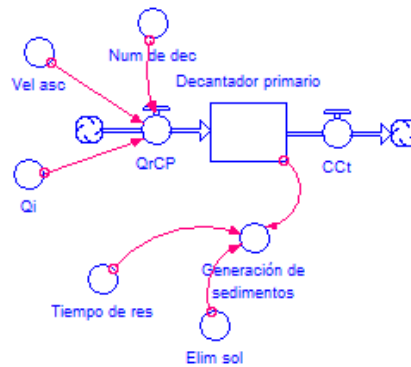


Figura 23. Representación de flujo - Decantador primario.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En la figura 23 se muestra la representación del flujo para el decantador primario, como proceso inicial del tratamiento primario que corresponde a la remoción de las partículas en suspensión por acción de la gravedad, por lo tanto, la decantación provoca que las partículas cuya densidad sea mayor que el agua sedimente en el fondo del decantador mientras que el agua libre de partículas sólidas sale del decantador, proceso que abarca a los procesos de floculación y sedimentación, para lo cual, la representación denota los siguientes elementos de operación:

- Stock: decantador primario.
- Flujo (ingreso): caudal regulado (QrCP).
- Convertidores (afluente): caudal de ingreso (Qi), velocidad de ascenso (Vel asc), número de decantadores (Num de dec).
- Convertidores (del stock): generación de sedimentos, convertidores específicos: tiempo de residencia, tasa de eliminación de sólidos.
- Flujo (salida): caudal tratado (CCt).

Se observa que se genera como tal un subproducto de la floculación y sedimentación, es decir, propiamente los sedimentos, para lo cual se requieren de agregar químicos que favorezcan a ésta, además de considerar una tasa de

generación de sedimentos de forma que se evidencie la necesidad de realizar actividades de remoción y limpieza de éstos. Nuevamente se infiere en el cumplimiento de lo técnico propuesto a nivel normativo (OS.090), sin embargo, la inclusión del caudal de distribución en las proyecciones sujetas a la dinámica de sistemas acarreará al alcance del aporte de viabilidad para la fase de operación.

El empleo de coagulantes y floculantes convencionales representa la necesidad de optar por un ensayo previo de prueba de jarras para determinar la cantidad ideal de empleo, la cual debe realizarse para garantizar la eficiencia de las operaciones, así como para asegurar la continuidad de éstas.

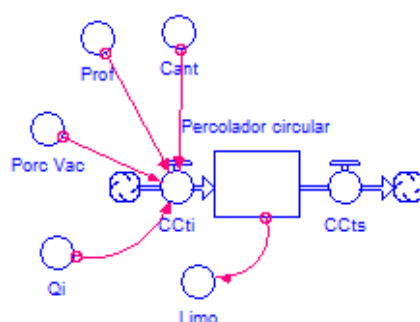


Figura 24. Representación de flujo - Filtro percolador circular.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En secuencia a lo presentado, los filtros percoladores se encuentran enmarcados dentro del grupo de reactores de crecimiento asistido, y según Ramalho (48), éstos se rellenan de limo por el cual se percola el agua residual. “Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. La capa del limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 0.1 y 2.0 mm que está formado de una subcapa aerobia y de otra anaerobia”, precisa textualmente el autor citado (48).

Así también, precisa que cuanto mayor sea la DBO del afluente, más rápida será el consumo de oxígeno y, por lo tanto, la subcapa aeróbica a emplear en el tratamiento será más delgada. Por otra parte, los altos caudales, como lo precisado y proyectado en el estudio, favorecen el mantenimiento de una subcapa aeróbica más espesa, debido al oxígeno disuelto que se aporta (44).

En los filtros percoladores (figura 24), las sustancias orgánicas y coloidales se separan mediante oxidación aeróbica, biosorción, coagulación y degradación anaeróbica. Ninguna reducción real en la carga orgánica de la filtración mecánica. Se denota la relevancia del presente proceso en marco de la remoción de la materia orgánica del efluente, por tanto, se consideran los siguientes elementos de Stella:

- Stock: filtro percolador circular.
- Flujo (ingreso): caudal tratado derivado del decantador primario (CCti).
- Convertidores (afluente): caudal de ingreso (Q_i), porcentaje de vacíos (Porc vac), profundidad (prof), cantidad (cant).
- Convertidor (stock): proporción de limo (limo).
- Flujo (salida): caudal tratado (CCts).

Se observa la relevancia de las concentraciones de los contaminantes criterio orgánicos, así como el limo a emplear y a generar en el tratamiento como tal, de forma que ambos frentes constituyan un tratamiento ideal acerca de la remoción de la carga orgánica en el efluente, relevante en términos de que éste proviene de una fuente doméstica/sanitaria, además de que no remover efectivamente la materia orgánica acarrearía a generar subproductos en procesos finales del tratamiento, como es el caso de los trihalometanos (THM) en contacto con el cloro residual.

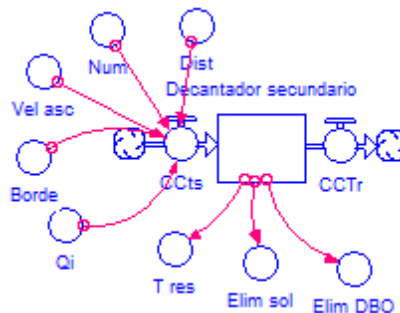


Figura 25. Representación de flujo - Decantador secundario.

Fuente: elaboración propia con Stella.

La funcionalidad del decantador secundario (figura 25) se asemeja al decantador primario, considerando que se dará una generación de carga orgánica que supondrá nuevamente la presencia de sólidos en suspensión, de forma que se refuerce su eliminación por acciones de sedimentación, infiriendo en alcanzar a cumplir con los ECA y LMP acorde a la proyección que permite el simulador.

Se consideran para el presente proceso los siguientes elementos de operación en Stella:

- Stock: decantador secundario.
- Flujo (ingreso): caudal tratado derivado de los filtros percoladores circulares (CCTs).
- Convertidores (afluente): caudal de ingreso (Q_i), borde de canal de recolección, velocidad de ascenso ($Vel\ asc$), número de sedimentadores (Num), distancia del vertedero a la pared interna ($Dist$).
- Convertidor (stock): tiempo de residencia ($t\ res$), eliminación de sólidos ($Elim\ sol$), eliminación de DBO ($Elim\ DBO$).
- Flujo (salida): caudal tratado ($CCTr$).

Para el presente caso, también se generan potenciales sedimentos, para lo cual, al igual que en la decantación primaria, se debe considerar una tasa de generación de sedimentos de forma que se evidencie la necesidad de realizar actividades de remoción y limpieza de éstos considerando los valores derivados del stock presentado, que se componente como convertidores resultantes del proceso. Así también, la consideración de dichos parámetros permitirá generar escenarios de funcionalidad que respondan a las características del efluente, considerando la proyección del período de diseño.

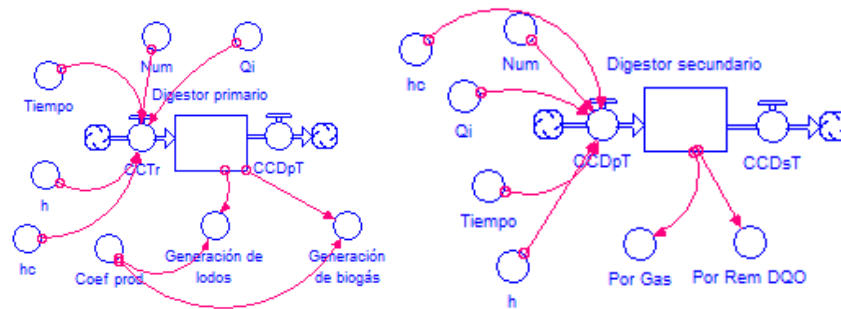


Figura 26. Representación de flujo - Digestor primario y secundario.

Fuente: elaboración propia con Stella.

Para el presente proceso, se debe precisar que dicha operación de digestión considera un escenario anaerobio que ofrece una ventaja sobre los sistemas convencionales (lagunas de oxidación, tanque Imhoff, etc.), puesto que tiende por

reducir los costes de inversión al no requerir de un espesador de lodos requerido por todo digestor previamente, además de reducir el costo de la obra civil.

Teóricamente, se considera al empleo de digestores como un proceso lento y que necesitar de considerar parámetros como la temperatura, el pH y un tiempo de duración específico que sea adecuado, de modo que los microorganismos proliferen y alcancen a metabolizar la materia orgánica oportunamente. En secuencia a ello, los lodos que son transportados al digestor presentan microorganismos y una carga orgánica derivada del proceso de digestión, lo cual se convierte en elementos simples y estables. Al desarrollarse en ausencia de aire, el oxígeno contenido en la materia orgánica en conjunto con la presencia de potenciales nitratos y sulfatos, es empleado por los organismos anaerobios, produciendo elementos que se emplean en el propio proceso de digestión: metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y agua.

Así también, es preciso mencionar que el lodo debe estar dentro del digestor a una temperatura adecuada (35°C) para que los microorganismos no mueran alcanzando ello recirculando el lodo dentro del digestor y llevándolo a un intercambiador de calor (aumento de temperatura). El excedente generado corresponderá a materia orgánica en forma de lodo que podrá ser reciclaje, así como se tiene la presencia de biogás, el cual deberá ser controlado para fines de no saturación, así como, potencialmente, dispuesto para la generación de energía.

Los parámetros que se observan en la figura 26 corresponden a:

- Digestor primario:
 - Stock: digestor primario.
 - Flujo (ingreso): caudal tratado derivado de los decantadores secundarios (CCTr).
 - Convertidores (afluente): caudal de ingreso (Q_i), altura cilíndrica útil (h), altura del fondo cónico (h_c), tiempo de retención, número de digestores (Num).
 - Convertidor (stock): generación de lodos, coeficiente de producción (Coef prod), generación de biogás.
 - Flujo (salida): caudal tratado (CCDpT).

- Digestor secundario:
 - Stock: digestor secundario
 - Flujo (ingreso): caudal tratado (CCDpT).
 - Convertidores (afluente): caudal de ingreso (Q_i), altura cilíndrica útil (h), altura del fondo cónico (h_c), tiempo de retención, número de digestores (Num).
 - Convertidor (stock): % de gas metano (Por Gas), % de remoción de DQO (Por Rem DQO).
 - Flujo (salida): caudal tratado (CCDsT).

Se denota la relevancia de la generación de lodos y de biogás como aspectos ambientales producto de la digestión anaerobia, a lo cual, aquellos deben ser proyectados de forma que se previsualicen dos frentes: el fin del tratamiento de las aguas residuales de fuente doméstica y la potencial valorización de residuos sólidos y fuente de generación de energía, así como se establezcan medidas para regular dicho frente que garantice la continuidad de operaciones.

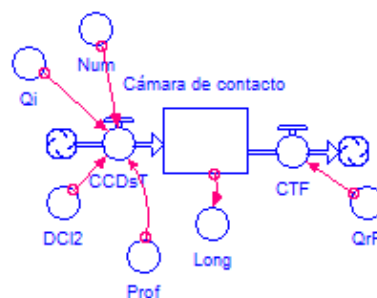


Figura 27. Representación de flujo - Cámara de contacto.

Fuente: elaboración propia con Stella.

La cámara de contacto representa al tratamiento terciario o complementario, el cual aborda a la cloración como proceso de desinfección del agua sujeta a tratamiento, de forma que se combata la potencial presencia de microorganismos patógenos que no fueron removidos en los tratamientos primario y secundario. Como tal, el parámetro de alcance se deriva de la dosis de cloro (Cl_2) a aplicar al efluente, de forma que se constituya como un efluente tratado que cumpla condiciones para su empleo o liberación al ambiente sin que cause mayor impacto. La dosis de cloro también requiere de ensayos a nivel de laboratorio de forma que se determine una ideal que se mantenga como cloro residual, así como sea empleada de forma

eficiente de forma que no genere sobrecostos en la operación integral de la PTAR. Los elementos de Stella presentados en la figura 27 son:

- Stock: cámara de contacto.
- Flujo (ingreso): caudal tratado derivado de los digestores (CCDsT).
- Convertidores (afluente): caudal de ingreso (Q_i), número de unidades (Num), profundidad útil (prof), dosis de cloro (DCl_2).
- Convertidor (stock): relación longitud/anchura de la balsa (Long).
- Flujo (salida): caudal tratado (CTF).
- Convertidor (flujo de salida): caudal final del proceso de tratamiento (Q_rF).

En el capítulo siguiente, se presentan las funciones correspondientes a los valores resultantes del dimensionamiento que corresponden a los flujos de procesos realizados en Stella.

Es preciso mencionar que la proyección acerca de la dinámica del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, basado en los procesos dimensionados, considerando la principal característica del afluente en su ingreso respecto del valor del caudal de distribución proyectado a 20 años, sin embargo, es evidente que se necesita caracterizar de forma integral a las fuentes de generación de aguas residuales domésticas del distrito de Huancayo, así como determinar las concentraciones de los contaminantes criterio pertinentes, lo cual se precisa como una limitante del presente estudio, lo cual evidencia que la proyección y aporte en términos de viabilidad del empleo del simulador Stella se orienta a las condiciones de operación dimensionadas y requeridas para el tratamiento efectivo del mencionado caudal, infiriendo que se orienta a cumplir con el tratamiento adecuado, oportuno y sostenible del afluente, lo que permitirá cumplir con los ECA y LMP, por ende, aportará en la conservación ambiental.

CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN

5.1. Construcción

Para la representación de la construcción previa que evidenciará el desarrollo de pruebas y el alcance de resultados, ésta se da a partir del dimensionamiento propiamente dicho, abordando la necesidad de exponer la conexión entre procesos que correspondan a cada bloque (tipología) del tratamiento, de forma que al realizar las pruebas, se garantice la continuidad de los mismos y su lógica de funcionalidad; en dicho frente, la representación de la construcción se realizará en base a los tipos de tratamiento: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

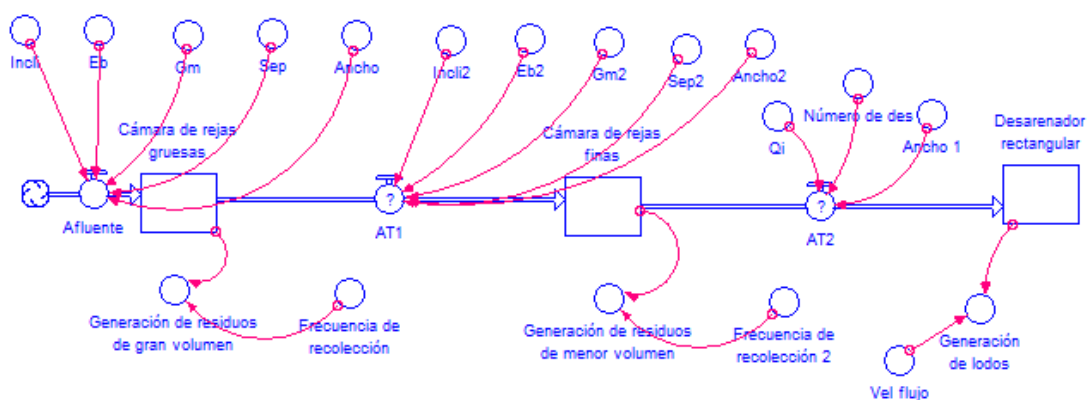


Figura 28. Representación de los procesos de pretratamiento.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En la figura 29 se observan los procesos que corresponden al pretratamiento, iniciando por el empleo de la cámara de rejillas gruesas, para pasar a la cámara de rejillas finas y el desarenador rectangular; es preciso detallar que aquellos procesos responden a la convencionalidad de recursos tecnológicos que corresponden al desbaste de aguas residuales, así como se mantienen acorde a lo requerido por la norma OS.090 (30), de forma que un primer alcance acerca de métodos de viable aplicación aborda la identificación de requerimientos que demuestren factibilidad en la práctica.

A continuación, se precisan los datos correspondientes a los elementos del software Stella, que justamente permitió alcanzar la propuesta de continuidad de la presente fase inicial de la PTAR (pretratamiento).

Tabla 26. *Datos correspondientes a los elementos de Stella para los procesos de pretratamiento.*

Cámara de rejillas gruesas	Cámara de rejillas finas	Desarenador
Stock: requerimiento de la cámara de rejillas gruesas.	Stock: requerimiento de la cámara de rejillas finas.	Stock: requerimiento: proceso de desarenador.
Convertidores (flujo: afluente): f(10°, 10, 50, 40, 1500).	Convertidores (flujo: afluente): f(75°, 6, 40, 15, 1200).	Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 3, 1.5).
Convertidores (stock): f(0.242, Val. afluente).	Convertidores (stock): f(1.82, Val. afluente).	Convertidores (stock): f(Val. Desarenador, 0.3).
Flujo (salida): 445.5(1)	Flujo (salida): 445.5(1)	Flujo (salida): 445.5(1)

Fuente: elaboración propia.

El hecho de considerar el caudal de distribución proyectado (445.5 L/s), así como el dimensionamiento técnico de las rejillas gruesas, demuestra el requerimiento mínimo de 1.5 m de anchura total del canal de ingreso, valor relevante en el dimensionamiento a considerar respecto del terreno y que se encuentra dentro de los valores predispuestos por la norma OS.090 (30), dicho valor se contrasta por ser el de mayor requerimiento en campo, así como de relevancia para la captación del caudal esperado y de valor proyectado, el cual si tendría por reducirse (a 1.0 m) saturaría la cámara de rejillas gruesas al generar una pendiente de similar comportamiento (ver figura 29) entre aquel requerimiento y la generación de residuos de gran volumen, mientras que al tener el valor dimensionado (1.5 m) se

tiene una pendiente en el gráfico que muestra que la cámara de rejillas gruesas no presenta el mencionado similar comportamiento, sino tiende por generar una diferencial en la pendiente (ver figura 30) que lo hace viable considerando la misma proyección de la generación de residuos, presentando mayores oportunidades de continuidad de las operaciones frente a la brecha mínima que se tenía al optimizar el espacio de separación justo a ensayo y error.

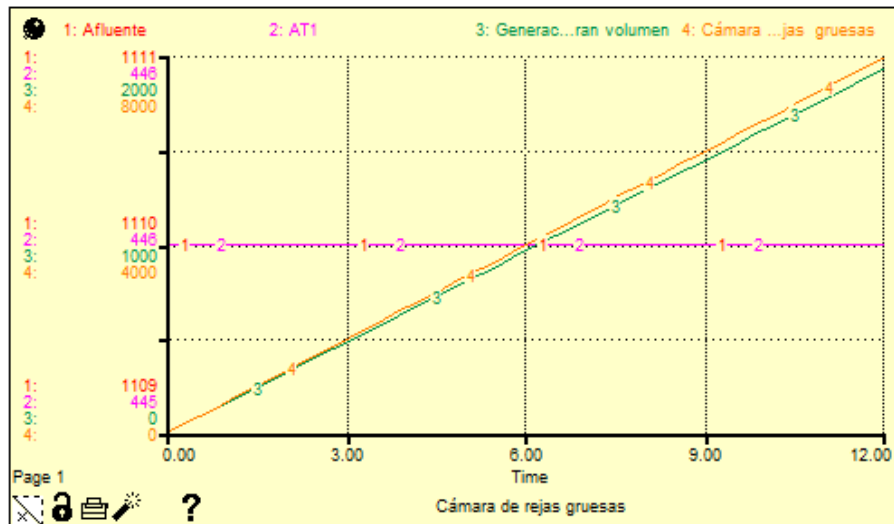


Figura 29. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejillas gruesas, considerando un valor de anchura de 1.0 m.

Fuente: elaboración propia con Stella.

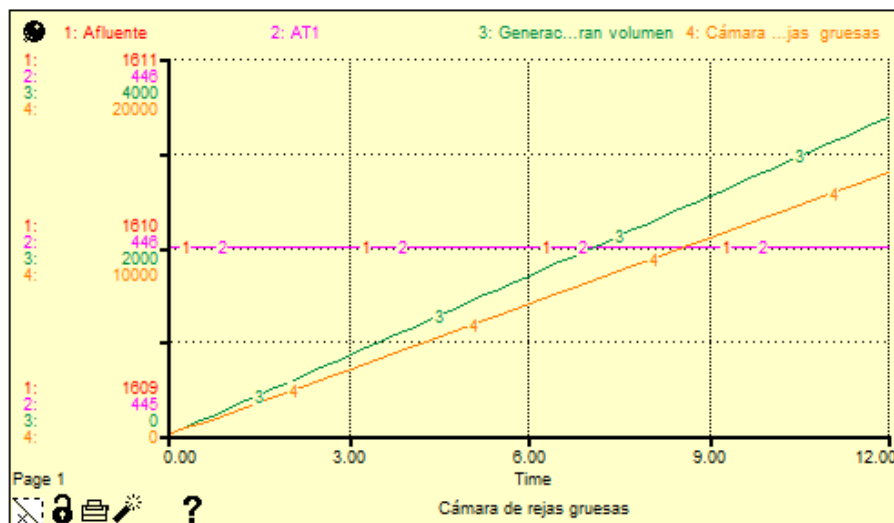


Figura 30. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejillas gruesas, considerando un valor de anchura de 1.5 m, válido acorde al dimensionamiento realizado.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En complemento a ello, es posible inferir en la generación de potenciales riesgos de darse por la reducción por espacio disponible en terreno, a lo cual, el valor de dimensionamiento propuesto para aquello refleja un comportamiento ideal donde al mantener dicho dimensionamiento (30) en función del espacio de terreno disponible alcanzará a cubrir adecuadamente la tasa de generación de residuos sólidos de gran volumen, evidenciando ser un factor de viabilidad, donde los demás valores de diseño, al ser menores en dimensiones, alteran mínimamente el comportamiento de dicha relación que se asocia directamente con la continuidad de operaciones, demostrando inicialmente que el software Stella aporta de forma significativa a desarrollar ensayos de prueba y error para consolidar la toma de decisiones oportuna y adecuada que respalde al dimensionamiento técnico del proceso.

Por otro lado, es preciso denotar el abordaje en trabajos futuros de la variable gestión de residuos sólidos domésticos, lo cual depende de los escenarios de segregación, recolección, transporte y disposición final adecuada de éstos de forma adecuada, ya que, al evidenciar contextos en los cuales se da un inadecuado manejo de residuos, éstos podrían ser derivados al cauce del efluente a tratar, modificando así el rendimiento de la fase de rejillas gruesas y, siendo un tema aparte de la investigación, deberá ser optimizado en la práctica de forma que se prevea el escenario proyectado; dicho contexto podría llegar a alterar la viabilidad del proyecto, evidenciando que las ideas derivadas del empleo del software también aportan en la identificación de factores que podrían incidir en la conservación del ambiente, en alcance de los objetivos propuestos en la investigación.

Respecto al empleo de las rejillas finas, se consideró un conector de ingreso correspondiente al "agua tratada 1 (AT1)" a lo cual ingresa el afluente derivado de la cámara de rejillas gruesas. También se consideró el caudal de distribución proyectado, así como el dimensionamiento técnico (30) de las rejillas gruesas demuestra el requerimiento mínimo de 1.2 m de anchura total del canal de ingreso, lo cual podría evidenciar que existe una mayor rigurosidad requerida de parte del mantenimiento de las rejillas finas para asegurar la continuidad de operaciones al considerar un menor espacio de terreno disponible a diferencia de las rejillas gruesas, así como considerando la acumulación de residuos de menor volumen que representarían la generación de una acumulación (potencial) en el efluente, De igual forma, si se cambiase el entorno de requerimiento técnico a un ancho menor del canal de ingreso, por más pequeña que fuese la modificación a 1 m de ancho

(figura 31), el funcionamiento no se dará como fue proyectado (sobrepasando la capacidad dimensionada), ya que el considerar un espacio como el proyectado (1.2 m), garantizará que se tenga una disponibilidad de área adecuada para contener los residuos de menor volumen sin alterar el flujo del agua a tratar (figura 32), evidenciando que de la disponibilidad de terreno en la práctica, se requerirá de un mayor esfuerzo operacional y económico en la fase de operación del pretratamiento para el desbaste inicial, de modo que se observa el aporte del empleo del soporte informático en la toma de decisiones respecto del mantenimiento requerido por la PTAR, escenario equivalente respecto de las rejas gruesas (comportamiento de las pendientes). Así también, la modificación del dimensionamiento de las rejas finas, de reducirse o ampliarse, requerirá de un mayor espacio en el terreno para plasmar la idealización de la infraestructura, lo cual gana importancia para la viabilidad del desarrollo del proyecto, sin embargo, lo propuesto se denota como de alcance real al cumplir con la normativa vigente (OS.090), además de que la funcionalidad de éstas se orienta a limitar el paso de residuos de menor volumen, siendo rigurosos para su dimensionamiento.

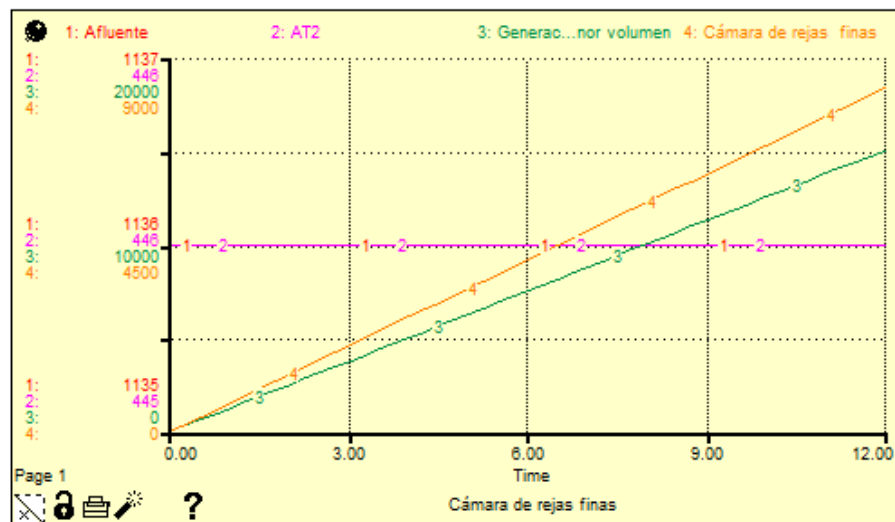


Figura 31. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejas finas, considerando un valor de anchura de 1.0 m.

Fuente: elaboración propia con Stella.

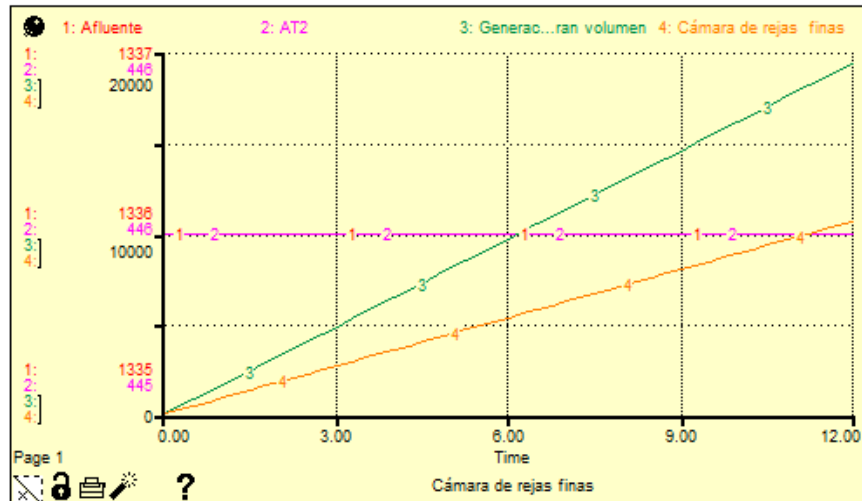


Figura 32. Gráfico correspondiente a los datos presentados para las rejillas finas, considerando un valor de anchura de 1.2 m, válido acorde al dimensionamiento realizado

Fuente: elaboración propia con Stella.

En lo que respecta a la fase final del pretratamiento, correspondiente al desarenador rectangular, se denotan parámetros de ingreso similares en términos de concentración de los contaminantes del efluente, sin embargo, se espera y se sostiene la necesidad de que no lleguen sólidos de gran volumen y/o que sean perceptibles de forma física y directa; así como, en los ensayos se considera el ingreso de un valor de caudal de distribución proyectado (445.50 L/s, calculado según requerido por la norma OS.090 (30) y considerando lo propuesto por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45), presentado en el Capítulo IV) igual en ambos frentes del mencionado ensayo. Se logró identificar mediante los ensayos de prueba y error a través del software Stella que el parámetro del convertidor del stock que representa a la velocidad del flujo mantiene una relación directa con la generación de subproductos y, de modificarse (un valor doble de velocidad de flujo: 0.6 m/s), se sobrepasará la capacidad del dimensionamiento para 3 desarenadores necesarios para el caudal de ingreso (figura 33), mientras que al mantenerse el valor calculado (31) de 0.3 m/s, se encuentra un paralelismo de la pendiente que evidencia la continuidad de operaciones para la consideración de los 3 desarenadores propuestos respecto de su generación esperada de subproductos (figura 34), evidenciando la necesidad de optar por la verificación del caudal a partir del presente proceso, ya que juega un rol importante para la continuidad de los procesos de tratamiento, alcanzando dicho resultado en función de lo proyectado empleando el soporte tecnológico Stella.

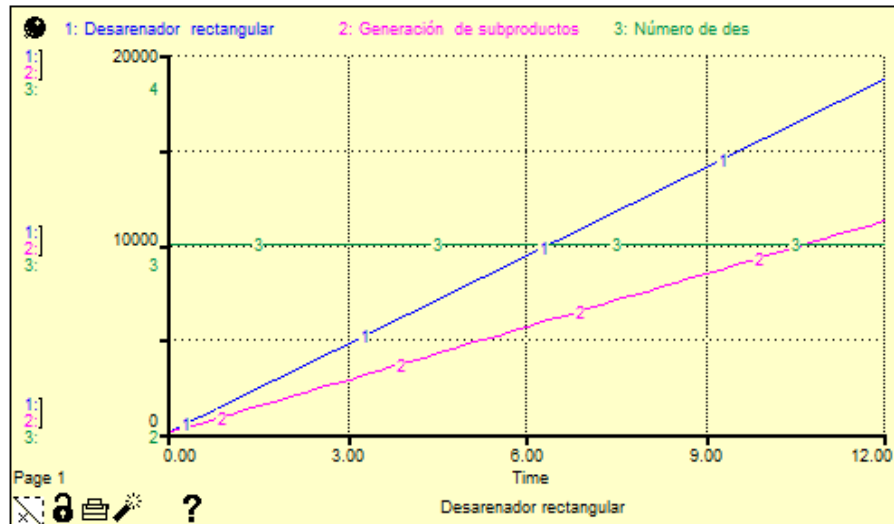


Figura 33. Correspondiente a los datos presentados para los desarenadores, considerando un valor de velocidad de flujo del doble de lo proyectado (0.6 m/s).

Fuente: elaboración propia con Stella.

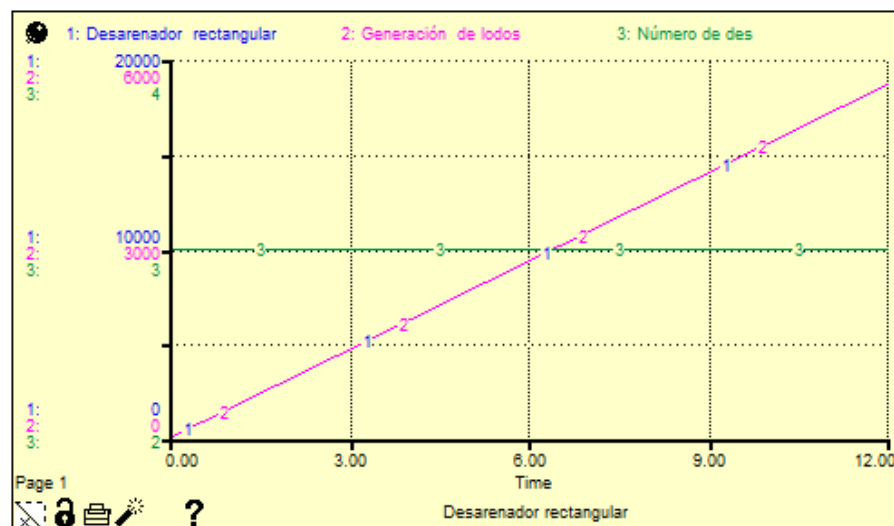


Figura 34. Correspondiente a los datos presentados para los desarenadores, considerando el valor de velocidad de flujo proyectado (0.3 m/s).

Fuente: elaboración propia con Stella.

Hasta el presente acápite, se observa que principalmente el software Stella requiere de modificar datos derivados del dimensionamiento del pretratamiento propio de la PTAR, donde el hecho de considerar aspectos de viabilidad complementan a lo factiblemente proyectado con base al aporte en la toma de decisiones tras el desarrollo de ensayos de prueba y error que son presentados a través de gráficos, de modo que también factores asociados y externos que no fueron considerados

como convertidores necesarios para los procesos presentados, pueda formar parte también de pruebas de ensayo que se realicen en las fases de operación y mantenimiento de la PTAR, lo cual recae directamente en afirmar que se aporta en escenarios de continuidad de procesos que directamente aporta de forma significativa en el control de aspectos ambientales, por ende, favorece a la conservación ambiental desde una perspectiva inicial, manteniendo los criterios de cumplimiento de factibilidad y viabilidad proyectada.

A partir de lo presentado, se aborda la regulación de caudal denotada como de necesidad y los procesos del tratamiento primario.

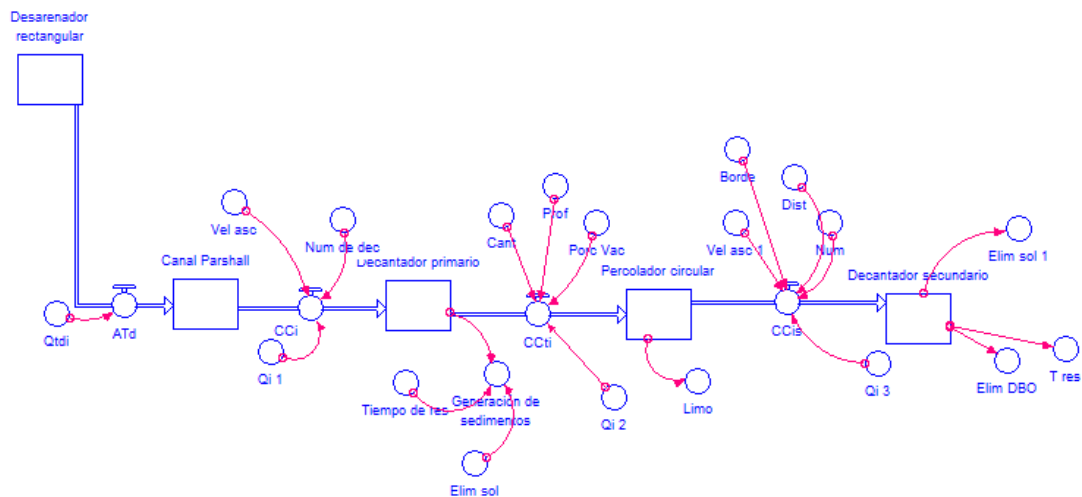


Figura 35. Representación de los procesos de regulación del caudal y tratamiento primario.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En la figura 35 se prosigue con la presentación del dimensionamiento y lo que representa ello en el software Stella, iniciando con lo correspondiente a la regulación del caudal, a lo cual la técnica que se asocia a la factibilidad de aplicación corresponde al canal Parshall, acorde a la exigencia de la normativa y responde a la identificación de requerimientos; es preciso mencionar la relevancia en el tratamiento de información proyectada para la presente fase, de forma que las condiciones asociadas a vertimientos de aguas residuales domésticas, que influyan en su tratamiento, no se observen como una limitante de la viabilidad y se alcance un aporte adecuado del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la conservación ambiental. A continuación se precisan los datos correspondientes a los convertidores del software Stella para los procesos del tratamiento primario.

Tabla 27. *Datos correspondientes a los elementos de Stella para los procesos de regulación del caudal y de tratamiento primario.*

Regulación del caudal	Decantador primario	Percolador circular (preliminar)	Decantador secundario
Stock: canal Parshall.	Stock: decantador primario.	Stock: filtro percolador circular.	Stock: decantador secundario.
Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 0.7, 1.5).	Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 1.75, 3).	Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 0.95, 6.5, 20).	Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 0.7, 1.75, 3, 0.5).
Flujo (salida): 445.5(1):	Convertidores (stock): f(2, 0.55).	Convertidores (stock): f(2).	Convertidores (stock): f(2, 0.55, 0.35).
consideración del caudal de distribución para las siguientes etapas.	Flujo (salida): 445.5(1)	Flujo (salida): 445.5(1)	Flujo (salida): 445.5(1)

Fuente: elaboración propia.

Es oportuno señalar que si bien se denotan stocks de regulación de caudal (previo al canal Parshall) y de caudal regulado (posterior al canal), la función de dicho frente es necesariamente regular el flujo del agua, a lo cual los convertidores se asocian a aquellos necesarios frente de velocidad de desplazamiento del agua en la PTAR.

El canal Parshall, de una profundidad de flujo directamente proporcional a la unidad de longitud (0.45 m) requerido para mantener constante el caudal de ingreso, mantiene un criterio lógico de selección y que concuerda con lo calculado para la profundidad de flujo, alcanzando valores dentro de la normativa vigente (0.4 - 0.6); el simulador permitió consolidar información acerca de la constancia del caudal, el cual, si fuese variado respecto de una profundidad de flujo mayor (fuera de la norma) requiera de constatar el valor de pérdida de carga y de profundidad requerida, denotando que viabiliza el término técnico de constatar estar dentro de la normativa vigente, sentido en el cual aporta en la investigación y en la toma de decisiones oportuna frente a los procesos posteriores de tratamiento; es oportuno mencionar que los ensayos posteriores en Stella se realizaron considerando el valor del caudal de distribución proyectado (445.5 L/s), en perspectivas de considerar un valor pertinente al periodo de diseño (30) que representará el abordaje de escenarios de capacidad efectiva y permita inferir en decisiones orientadas a garantizar la continuidad de los procesos.

Para los valores correspondientes al decantador primario, se llegó a identificar que a un caudal de ingreso regulado, es decir menor al máximo horario (considerado que es asumido como valor de salida para las consideraciones máximas de tratamiento), el valor de tiempo de residencia en el decantador es el de relevancia sobre la consideración de la velocidad de ascenso, ya que al tener un valor de residencia como el proyectado (figura 35) se alcanza a observar un escenario donde la generación de sólidos tiende por “superar” mínimamente la capacidad de los decantadores (pendiente 2 por debajo de la pendiente 1 -figura 35- que responde a lo dimensionado (31)), a lo cual, si éste subiese a un valor mayor al doble de residencia (figura 36), se tiene una predicción adecuada sobre la capacidad de los decantadores, lo cual repercute que el agua sujeta a tratamiento necesita de permanecer un mayor tiempo de residencia para alcanzar una óptima remoción de sólidos en suspensión, escenario que potencialmente generaría un cuello de botella de las operaciones posteriores, evidenciando la necesidad de optar por floculadores y sedimentadores que provengan, en concentración de su empleo, de pruebas como las de jarras para así permitir que lo proyectado se cumpla.

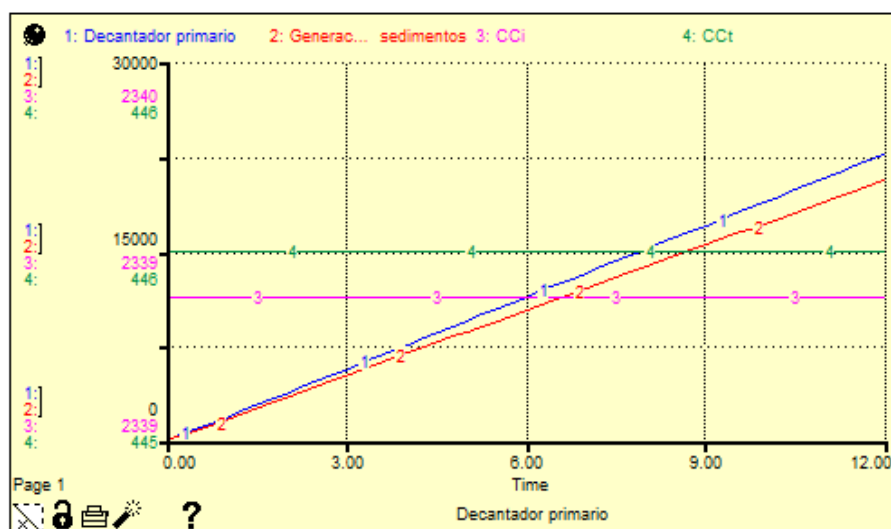


Figura 36. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores primarios, considerando un valor de tiempo de residencia menor (2).

Fuente: elaboración propia con Stella.

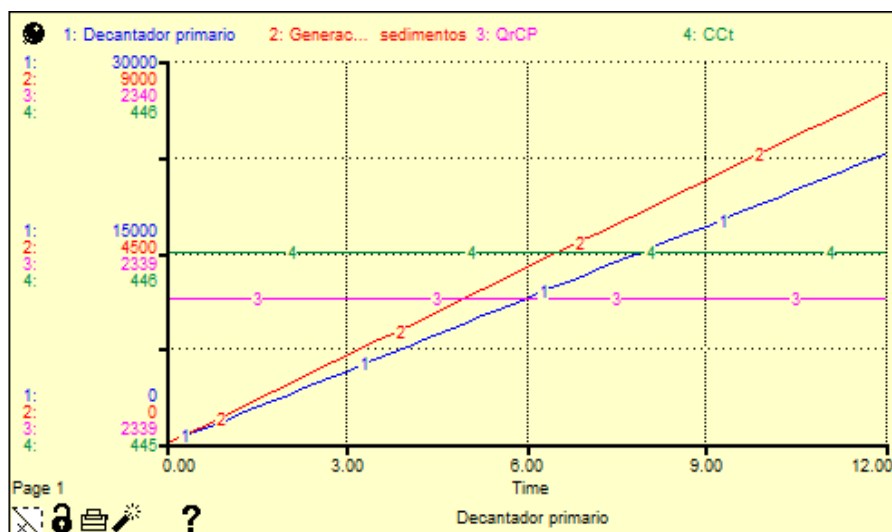


Figura 37. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores primarios, considerando un valor de tiempo de residencia mayor (5).

Fuente: elaboración propia con Stella.

Los ensayos de prueba y error al emplear Stella demuestran la necesidad de emplear químicos que viabilicen la generación de flóculos para el presente proceso, de modo que lo esperado para el tratamiento del caudal de distribución proyectado sea efectivo, de modo que aquello supondrá un incremento respecto del valor operativo de la PTAR, sin embargo, con un evidente aporte en toda la fase de operaciones para con la conservación del ambiente, ya que se alcanzaría a tratar el caudal proyectado y esperado con énfasis de cumplimiento de los LMP de forma oportuna para los contaminantes propios a combatir en el presente proceso.

Respecto del filtro percolador circular, de igual forma considerando el caudal de contribución regulado de ingreso, es decir, menor al máximo horario considerado (que es asumido como valor de salida para las consideraciones máximas de tratamiento), se tiene que el valor teórico de 2 mm de espesor limo (44), para dicho caudal, tiende por ser faltante para encontrar un equilibrio y la continuidad de operaciones (pendientes 1 y 4 -figura 38- no constantes por lo mínimo requerido), lo cual se presenta en la figura siguiente; dicha precisión de tener un espesor de limo (filtro) menor a lo proyectado (30), se posiciona como un frente de alcance real de viabilidad frente a tener un requerimiento mayor, sin embargo, el hecho de racionalizar recursos pertinentes no influye positivamente en la toma de decisiones para la presente sección, aporte alcanzado mediante la proyección empleando el simulador.

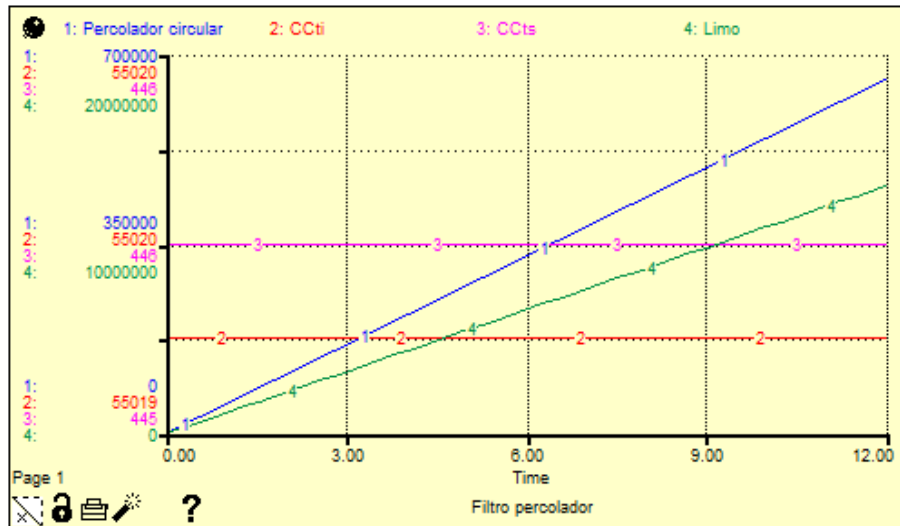


Figura 38. Correspondiente a los datos presentados para los filtros percoladores, considerando un valor teórico de limo a emplear.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En contraparte, el empleo de 10 mm propuesto permitirá tener una constancia real entre la capacidad de los percoladores y la remoción esperada de su empleo (figura 39), donde se evidencia el requerimiento de mayor material para las operaciones efectivas de la PTAR, específicamente para la presente operación, lo cual supondrá de un esfuerzo económico mayor pero aún menor frente a otras alternativas de tratamiento que requieren, por ejemplo de mayores demandas principalmente energéticas y de empleo de tecnologías de alcance real; dicho escenario hace énfasis en el alcance proyectivo de la tarifa de tratamiento de aguas residuales, demostrando su importancia en su abordaje, para así anticiparse en la generación de escenarios sostenibles de operaciones, demostrando el aporte del simulador en términos de prever escenarios de viabilidad socioeconómica que sean efectivas y productivas en el momento de su desarrollo (fase de operación). El análisis del filtro percolador en la fase de tratamiento primario, y no convencionalmente como tratamiento secundario, se asoció a que se propone emplear digestores como alternativa de tratamiento secundario, mas no sistemas de lodos activados propiamente dicho o lagunas de oxidación, explicada a posterior que no fue seleccionado por temas de extensión requerida, es así que el complemento, según la teoría consultada, comprende al filtro percolador como tratamiento que se da previamente a dichos sistemas de digestión, así como se presente ello previamente al proceso de decantación/sedimentación, lo cual también es referido a nivel teórico.

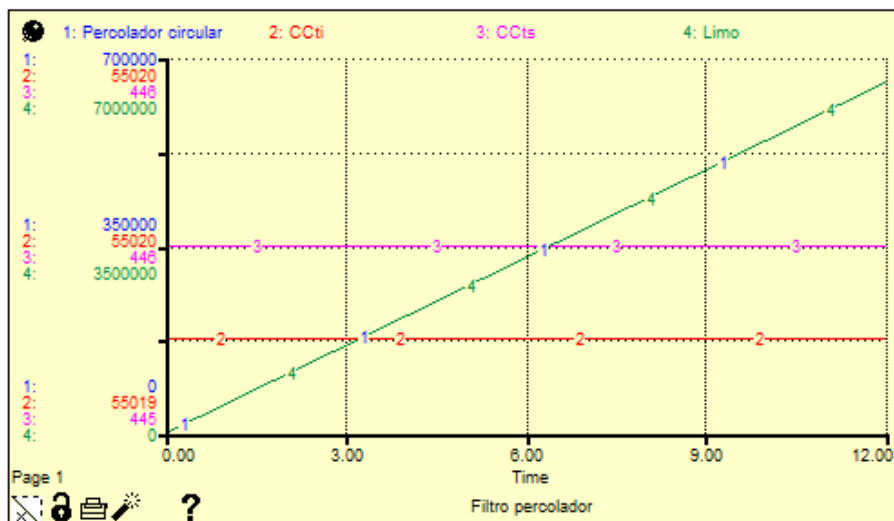


Figura 39. Correspondiente a los datos presentados para los filtros percoladores, considerando un valor proyectado de necesidad de limo a emplear.

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Para finalizar el bloque de tratamiento primario, el decantador secundario constituye un soporte o apoyo al decantador primario, donde su dimensionamiento evidencia una constancia respecto a lo esperado para la remoción de sólidos y de DBO (55 y 35 % respectivamente), lo cual se tiende por cumplir de una mejor forma al inicio de operaciones respecto del periodo de diseño (figura 40) que va disminuyendo a medida que alcanza la proyección a 20 años (presentando a 12 años en el gráfico por finalidad de presentación adecuada de las pendientes, siendo éstas la 4 y 5 que están por debajo de la pendiente 1 en la figura 40), lo cual se llegaría a superar tras sumar dos decantadores secundarios extras (inicialmente se proyectan 3, lo que debería pasar a 5), lo cual demostraría alcanzar, mínimamente, dichos % de remoción esperando (pendientes especificadas correspondientes al presente párrafo, mostrado en la figura 41), ya que, al hacer el ensayo con 4 decantadores se mantiene un escenario similar, lo cual evidencia que el empleo de Stella aporta en la toma de decisiones que reflejarían contingencias en las operaciones de la PTAR, sin embargo, ello sujeto a la disponibilidad del terreno así como de las consideraciones fisiográficas de éste, de forma que también se alcance a aportar con la conservación del ambiente, la viabilidad de la infraestructura y la continuidad de operaciones.

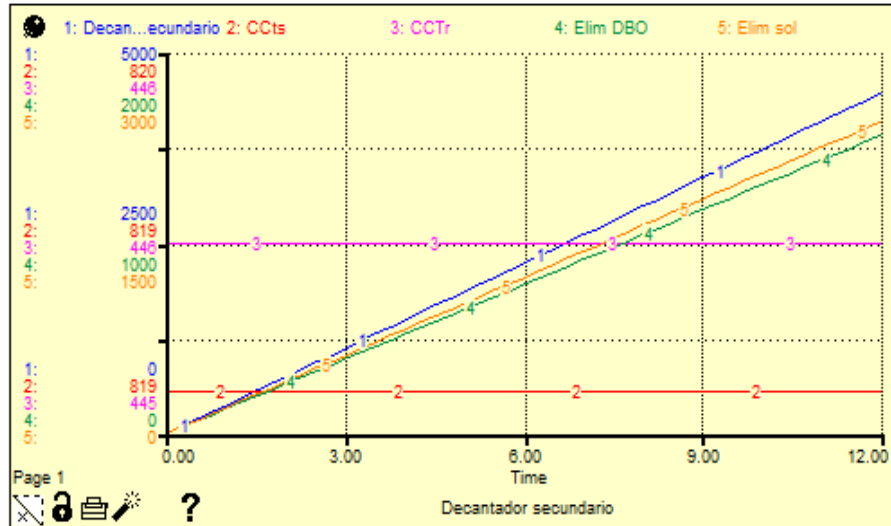


Figura 40. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores secundarios (cantidad proyectada), considerando un valor teórico (%) de remoción de DBO y sólidos.

Fuente: elaboración propia con Stella.

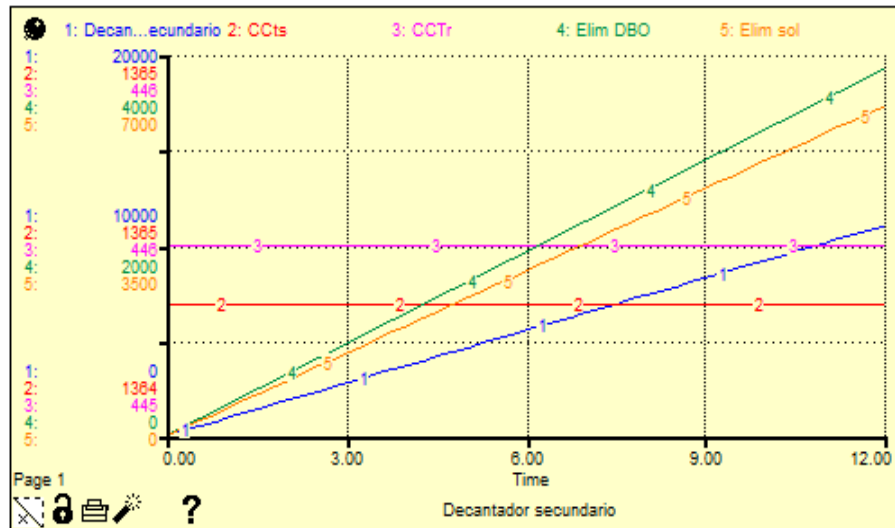


Figura 41. Correspondiente a los datos presentados para los decantadores secundarios, considerando un valor teórico (%) de remoción de DBO y sólidos que se cumpla en el tiempo al considerar 2 decantadores adicionales a lo proyectado.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En forma complementaria, se procede a presentar el análisis para el tratamiento secundario y terciario dimensionados y sujetos a prueba a través del software Stella.

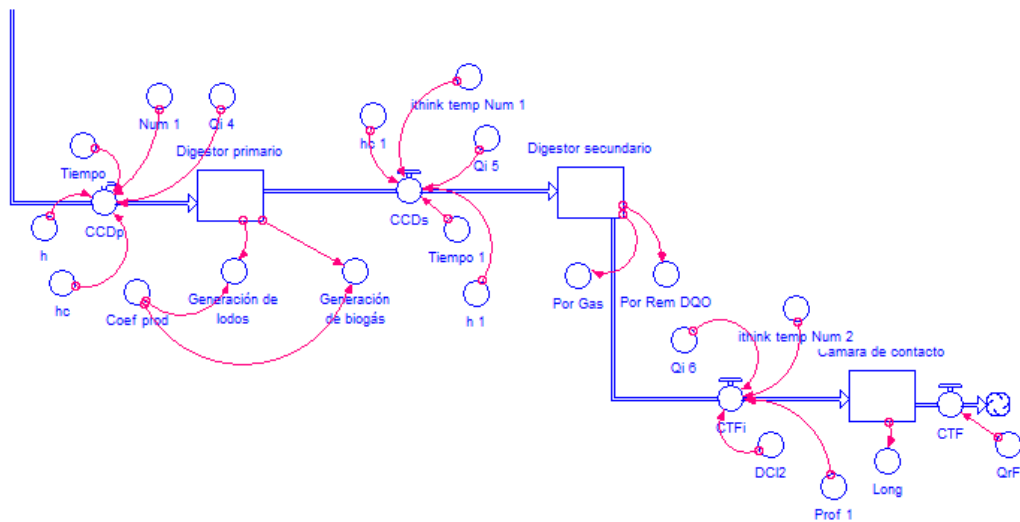


Figura 42. Representación de los procesos del tratamiento secundario y tratamiento terciario.

Fuente: elaboración propia con Stella.

En la figura 42 se presentan los procesos del tratamiento secundario, que justamente se observó como alternativa factible y viable de aplicación y necesidad de ésta para la realidad territorial del distrito de Huancayo, que corresponde al empleo de digestores, primario y secundario, además de la cámara de contacto; como se mencionó para las fases anteriores, aquello corresponde y se contrasta con lo mencionado por la normativa vigente (identificación de requerimientos) y que es preciso de abordar a la tecnología de digestión de flujo ascendente de lodos anaerobio ya que ofrece una ventaja sobre otros sistemas, denominados como convencionales, puesto que reduce el costo de inversión al eliminar el espesador de lodos que requiere todo digestor como etapa previa, además de reducir el costo de la obra civil del propio digestor. Es oportuno mencionar que aquellos otros sistemas, como los lodos activados, lagunas aireadas, difusores de membrana, requieren de características de terreno no disponibles en extensión el objeto de estudio (ver Anexo 4) respecto de la cercanía de población y otras consideraciones donde los subproductos de la degradación de materia orgánica pueda llegar a generar conflictos, así como, en términos de los difusores, requeriría de una evaluación complementaria a la presente investigación, considerando el análisis de rentabilidad del proyecto, es decir, es posible que no sea viable en términos económicos para realidad nacional en tratamiento de aguas residuales domésticas.

A continuación, también se precisan los datos correspondientes a los convertidores del software Stella correspondientes.

Tabla 28. *Datos correspondientes a los elementos de Stella para los procesos del tratamiento secundario y cámara de contacto.*

Digestor primario	Digestor secundario	Cámara de contacto
Stock: requerimiento del digestor primario	Stock: requerimiento del digestor secundario.	Stock: requerimiento: proceso de cloración (cámara de contacto).
Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 8, 2, 20, 2).	Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 8, 2, 6, 1).	Convertidores (flujo: afluente): f(445.5, 4, 4, 6).
Convertidores (stock): f(0.08, 0.97, 0.07).	Convertidores (stock): f(0.65, 0.55).	Convertidores (stock): f(1.45, Val. Cámara de contacto).
Flujo (salida): 445.5(1).	Flujo (salida): 445.5(1).	Flujo (salida): f(445.5, 1).

Fuente: elaboración propia.

Se precisa que se debe contar con 2 digestores primarios para alcanzar una eficiencia de digestión (remoción esperada) del 70 % de contaminantes que ingresan al proceso; el entorno de factibilidad del caudal regulado responderá a alcanzar escenarios de eficiencia en el tratamiento que se contrasta con el alcance de lo predispuesto en la normativa (30), asumiendo un tiempo de digestión de 20 días que evidencia el cumplimiento efectivo en términos de generación de lodos y de biogás, mostrado en el figura 43, sin embargo, dicho escenario tiende por mejorar (no ser tan constante o estar al filo de la capacidad, mayor separación de las pendientes de la figura 44) al considerar 1 digestor primario adicional (figura 44), a lo cual existe una leve mejora respecto de las pendientes presentadas empero requerirá de un redimensionamiento en la práctica (terreno) y considerando el tiempo prolongado de digestión, se vería incrementado el coste de operación para el presente proceso; en dicho frente, se considera que lo efectivo es asumir como aquel adicional al digestor secundario, que represente un dimensionamiento similar pero considerando un tiempo de digestión de solo 6 días, de forma que se prevea el alcance de los % de remoción esperados para la generación de biogás y remoción de DQO (figura 45) (30).

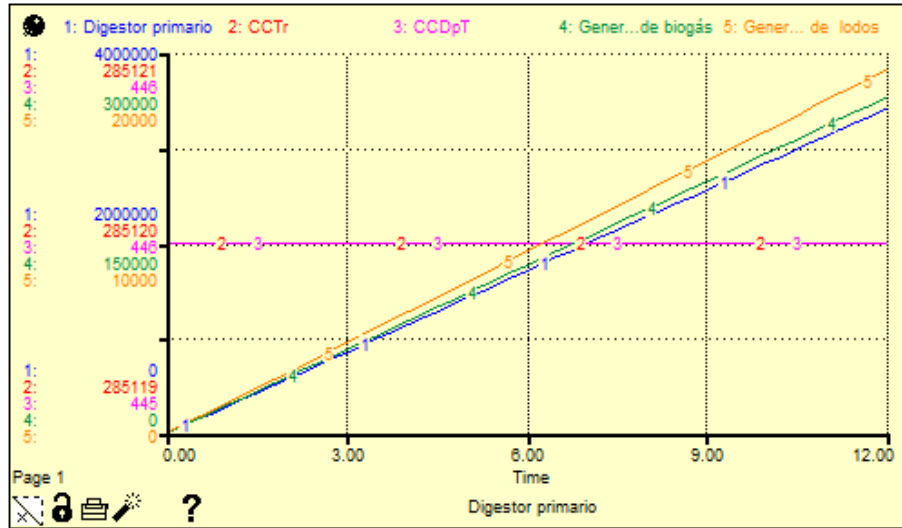


Figura 43. Correspondiente a los datos presentados para los digestores primarios, evidenciando que se tienen valores esperados de generación de biogás y de lodos considerando la capacidad de los digestores.

Fuente: elaboración propia con SPSS.

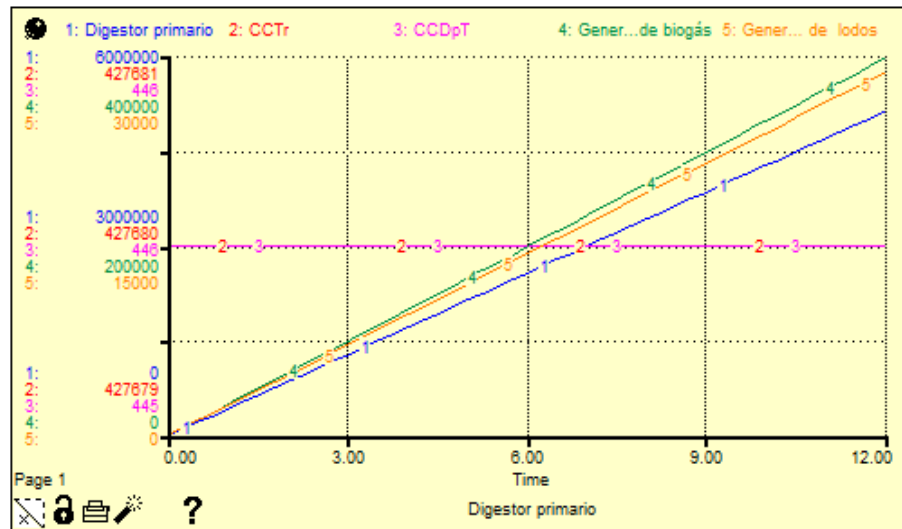


Figura 44. Correspondiente a los datos presentados para los digestores primarios, evidenciando que se tienen valores optimizados de generación de biogás y de lodos considerando la capacidad al sumar un digester.

Fuente: elaboración propia con SPSS.

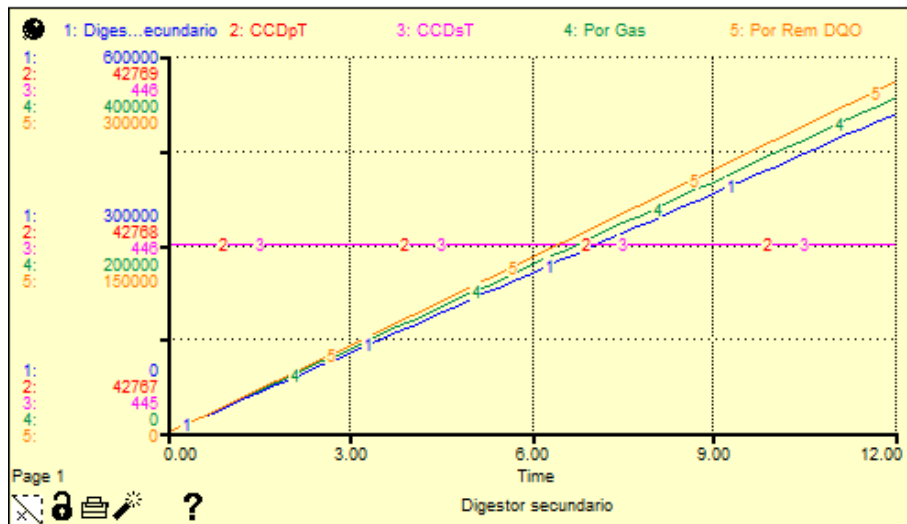


Figura 45. Correspondiente a los datos presentados para el digestor secundario, evidenciando que se tienen valores de generación de biogás y de lodos considerando la capacidad del digestor (complemento real y efectivo a los digestores primarios).

Fuente: elaboración propia con SPSS.

Al igual que para los casos anteriores, el empleo de pruebas en el software Stella procura evidenciar potenciales mejoras a tener en cuenta en el desarrollo (planificación) de lo concerniente al proyecto de inversión de PTAR, demostrando su aporte en términos de garantizar la viabilidad del caso, consolidando data precisa para la factibilidad y viabilidad del dimensionamiento y procurando evidenciar un aporte en la conservación del ambiente al garantizar el alcance de % de remoción esperados (30) y la continuidad de operaciones.

Para finalizar, se presenta el análisis puntual para los stocks de la cámara de contacto, considerando primordialmente una dosis ideal de cloro en forma de gas, de forma que se eliminen patógenos persistentes en el efluente, resaltando este valor como 6 mg/L para el caudal analizado a lo largo de los procesos, con un tiempo de contacto de 15 minutos manteniéndose acorde a la normativa vigente (30) y considerando 4 unidades de contacto y una relación de longitud/anchura de la infraestructura de 1.45, demostrando la continuidad y constancia de operaciones para el proceso (figura 46); es oportuno mencionar que el empleo del simulador favorece a generar una perspectiva dinámica (de sistemas) respecto de evidenciar una propuesta de fácil comprensión frente al dimensionamiento técnico requerido frente al desarrollo de proyectos de inversión que involucren a infraestructuras de servicios.

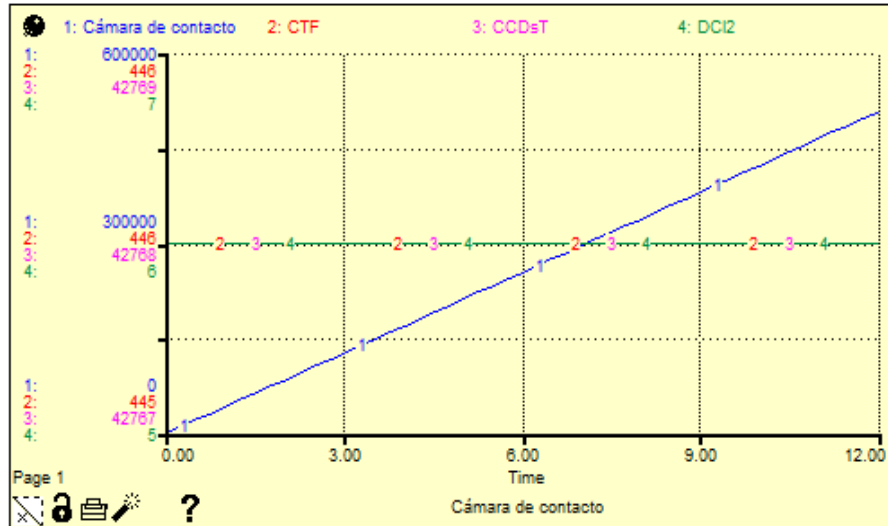


Figura 46. Correspondiente a los datos presentados para la cámara de contacto, donde se evidencia la constancia del empleo de dosis de cloro y su constancia en la operatividad de la cámara de contacto.
Fuente: elaboración propia con SPSS.

5.2. Discusión de los resultados alcanzados

A partir de lo presentado en la fase de construcción y considerando el esquema integral de procesos presentado en la figura 47, se procede a constatar lo alcanzado en forma de resultados con los antecedentes cotejados para la investigación.

Es oportuno detallar que la representatividad de pruebas, significa ingresar las variables de stocks, flujos y convertidores que fueron señalados en la fase de construcción, ya que, a diferencia de tener experimentos, el empleo de la tecnología disponible supondrá el manejar información y estar sujetos a pruebas de ensayo y error respecto de lo que haya sido calculado (dimensionamiento (30)), de modo que el mecanismo de representación y proyección (simulador) viabilice intenciones de formulación para su desarrollo efectivo.

En dicha idea, para proyectar el tratamiento de aguas residuales se requiere de considerar diversos procesos entre los cuales se denotan requerimientos físicos y biológicos, los cuales deben ser evaluados constantemente frente a potenciales cambios estructurales y físicos, encontrando un primero enfoque de aporte acerca del empleo del simulador en torno a la toma oportuna de decisiones; de igual modo, el optar por el empleo de herramientas tecnológicas se direcciona al alcance de un ideal de practicidad y de viabilidad en el desarrollo del conocimiento, de manera que la obtención de conocimientos prácticos y representativos respecto de la anticipación de consecuencias en el desarrollo de proyectos permitirá considerar escenarios de mejora continua (12) al proyectar y prever los recursos que sean necesarios en torno a los criterios de operación, así como mantener la continuidad del caso de la infraestructura de servicios, sin embargo, es preciso denotar que se pueden presentar considerables escenarios, para lo cual la estandarización de los procesos técnicamente necesarios, así como las variables de operación del lugar en estudio, es necesaria y de aporte significativo (13), de forma el dimensionamiento presentado en la investigación (30), al ser sometido al contexto de simulación, representa un aporte real en la viabilidad del proyecto respecto de su alcance.

Se observa también la continuidad de procesos y su asociación con la funcionalidad de un sistema simulado que abarca a cotejar criterios técnicos acorde a la naturaleza de desarrollo del precisado sistema, de modo que, dichos parámetros, sean sometidos a evaluaciones de mejora constante en función del desarrollo tecnológico, así como considerando potenciales riesgos y oportunidades de mejora que influirán en el desempeño óptimo de la infraestructura de servicios, lo cual recaerá en generar escenarios de conservación ambiental adecuados de forma que el empleo de simuladores, indirectamente, llegan a concebir contextos de proyección considerando factores de la dinámica ecosistémica que aportan información de entrada, de modo que se obtengan

“stocks” de predicción y se aporte en el ahorro de costos tras la parada de la operación en planta, para el caso refiriendo a mantenimientos (15), además de coberturar un óptimo tiempo de labores; es preciso mencionar que la finalidad de cotejo de detalles específicos técnicos con una precisión que corresponda al cumplimiento de la normativa legal, acerca del estado y continuidad de los procesos de un sistema para la presente el tratamiento de aguas residuales domésticas, aborde un contexto de predicción que se oriente al comportamiento futuro de la planta de tratamiento y evidenciar una tendencia por su automatización, donde dicha realidad de factibilidad se verá proyectada y de análisis inmediato al emplear a la tecnología informática utilizada en la presente investigación, encontrando que la elección de requerimiento técnicos apropiados tiende por automatizarse mediante el simulador para agilizar en la toma de decisiones y se aborden problemáticas de la realidad actual que permitiría el alcance de la sostenibilidad, siendo oportuno también el realizar experimentos en cada fase o etapa del tratamiento, lo cual involucraría a generar escenario de fraccionamiento por procesos, es decir trabajar de forma específica para generar a partir de ello el sistema dinámica en su conjunto, de modo que se identifiquen con mayor precisión oportunidades de mejora acorde a la naturaleza del lugar de emplazamiento del proyecto en su momento (14), abordando conceptos del desarrollo científico.

Así también y como se estuvo mencionando, el tratamiento de las aguas residuales reducirá la contaminación paisajística e hídrica, favoreciendo a alcanzar la calidad de vida, sin embargo, aquello se alcanzaría al cumplir oportunamente criterios técnicos de diseño a futuro y de cumplimiento actual (orientación por el periodo de diseño); frente a ello, se tiene la regulación de caudal como eje principal de continuidad, en marco del respeto de capacidades proyectadas, que permitirá obtener un aforo adecuado del efluente a tratar, lo cual se asocia con el diseño de un canal medidor Parshall, encontrando una concordancia y necesidad de considerar dicho frente de tratamiento, siendo oportuno también el procurar desarrollar propuestas donde se valore al tema de pendiente (factor necesario a asumir en la proyección del diseño) y/o curso de la sección de la cuenca a intervenir, de modo que sea un apoyo natural en la conducción del agua a tratar, así como identificar un límite de pendiente que permita prevenir embalses (19), nuevamente incidiendo que la elección abordada aporta en la continuidad del tratamiento, por ende, aporta en el desarrollo de la PTAR.

Por otro lado, es preciso mencionar que la falta de alcance de tecnologías a aplicar en los procesos de tratamiento de aguas residuales, escenario de factibilidad, condiciona diseñar

alternativas adicionales para así alcanzar remociones mayores y significativas. Análisis como por ejemplo del ciclo de vida, permitirá evaluar categorías de relevancia ambiental asociados a los escenarios de calentamiento global o de potenciales marcos de eutrofización, los cuales también son marcados por los períodos estacionales, donde en los meses de precipitación es necesario redoblar esfuerzos de control (18), a lo cual, el dimensionamiento (30) aborda dicho parámetro al proyectar un caudal de distribución proyectado, así como de frente regulado, que permita evidenciar y tomar decisiones en marco de asegurar la continuidad de las operaciones de la infraestructura, partiendo que el aporte en términos de viabilidad es representativo al emplear softwares de simulación. Considerando dicha idea, se tiene que a nivel teórico a mayor caudal que ingresa al tratamiento, menor es el grado de remoción, por lo cual es necesario optar por tratamientos que se complementen entre sí, considerando la disponibilidad de la fuente de energía requerida además de la viabilidad que permitirá la operación y mantenimiento continuo, evidenciando nuevamente que el empleo de simuladores de procesos, representa un medio eficaz y de fácil uso en términos de proyectar procesos continuos como es el caso de los de una PTAR. Es necesario generar una configuración en el simulador que garantice la no generación de nuevos aspectos ambientales, de modo que exista un escenario de prevención y así también orientar a una perspectiva de reúso del agua tratada (17), con fines de riego, que contribuya a la preservación del agua destinada a consumo.

De forma complementaria y considerando como fases/procesos del tratamiento de las aguas residuales al pretratamiento (desbaste, desarenador), tratamiento primario (sedimentador primario, percolador), tratamiento secundario (digestores) y la cámara de contacto como tratamiento terciario complementario (19), se precisa que dicha proyección sea completada con escenario de caracterización del efluente respecto de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, además de, como se mencionó, alternativas que surjan de la experimentación de forma que se aporte en la efectividad de los tratamiento detallados, así como se propongan nuevos escenarios de contingencia, en marco de garantizar la continuidad de los procesos. Dicha proyección también aportará en la evaluación ambiental asociada al desarrollo de la PTAR, de forma que garantizará contextos de conservación del ecosistema tras el tratamiento de las aguas residuales, considerando el abordaje del total de factores intrínsecos al escenario que enmarca dicho problema ambiental; se complementa dicha idea al mencionar que es necesario considerar como parámetros fundamentales de diseño a la selección adecuada de la tecnología de tratamiento, el caudal, la población (generadora de fluentes y a servir) y los escenarios de parada necesaria con fines de mantenimiento, así como la predicción de otras reacciones

asociadas a las propiedades de los componentes orgánicos, mencionando para ello que los sistemas de simulación son efectivos y demuestran la viabilidad del desarrollo de proyectos considerando contingencias respecto de la variabilidad de la operación de éstos en el tiempo, demostrando ser una estrategia a replicar para alcanzar escenarios de sostenibilidad (20), así como el aporte benéfico de las PTAR en la conservación del ambiente tiende por ser significativo, sin embargo, su existencia no garantiza dicho fin, estando condicionadas a procesos de la dinámica ecosistémica del lugar intervenido.

Finalmente, la necesidad de la continuidad de operaciones donde se controlen los factores de ingreso y salida de los procesos, considerando una escala de trabajo apropiada, será significativa en términos de su réplica a gran escala, denotando que el empleo de simulador permite observar posibilidades de optimización de los procesos unitarios en las PTAR, evidenciando nuevamente que su relevancia de aporte en la viabilidad, parte de la determinación de parámetros técnicos, para lo cual el desempeño ambiental óptimo se verá reflejado en el alcance de éstos respecto de lo requerido por la normativa, evidenciando que no solo se emplean softwares de simulación para determinar potencialmente dichos valores, sino se aborda, en base a su cálculo/identificación previa, escenarios donde su conexión entre sí, su significancia para los procesos y actividades de la PTAR, denotará un aporte significativo en la toma de decisiones y por fin garantizar el tratamiento de contaminantes criterio de un componente ambiental físico (agua) de necesidad urgente para fines poblaciones, de producción y de conservación ambiental (servicio ecosistémico) en la actualidad, de forma que su replicación y consideración de empleo se observa como de una necesidad obligatoria en la ingeniería, de forma que los encargados de los proyectos comuniquen eficientemente sus ideales técnicos y tecnológicos, lo cual no suele ser comprendido en un primer frente por la población, en especial la directamente “afectada” por el desarrollo de la infraestructura, así como el empleo de la tecnología de simulación se orienta al alcance de escenarios de continuidad, demostrando su aporte en el programa de seguimiento y control propia de la fase de operación de proyectos. Su arraigo depende de que tanto a nuestro alcance se presente, así como denota la necesidad de generar nuevas competencias y habilidades en marco de la creatividad e ingenio que se denotan como cualidades de la ingeniería propiamente dicha, de forma que se orienten a esfuerzos de gestión al alcance de la sostenibilidad.

CONCLUSIONES

- El empleo de un simulador de procesos, software Stella, aporta en la viabilidad asociada a la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021, ya que aborda el escenario de automatización de la data técnica de dimensionamiento, además, permite identificar potenciales cuellos de botella en los procesos de tratamiento.
- Las condiciones asociadas a vertimientos de aguas residuales domésticas que influyen en su tratamiento en el distrito de Huancayo, abordan a factores como el caudal de distribución proyectado (445.50 L/s) en base a un período de diseño apropiado (20 años), además de las condiciones de operación propiamente de la PTARD, ya que, el proyectar la continuidad de los procesos estando dentro de los parámetros exigidos por la norma OS.090, requiere de una rigurosidad a lo cual el software Stella aporta en proyectar escenarios claves a considerar para garantizar la continuidad de operaciones, denotadas en los diagramas, generados con Stella, presentados en el Capítulo IV, donde se observan los parámetros de ensayo y error demostrado mediante las pendientes de relación de los diagramas presentados, identificando que condiciones como la extensión del terreno disponible influye también en el dimensionamiento de los procesos de tratamiento, evidenciando que un ancho de rejas gruesas de mayor anchura, la cual fue dimensionada (1.5 m), así como lo dimensionado para las rejas finas (1.2 m) y considerando una velocidad de flujo proyectado de 0.3 m/s permite inferir en la continuidad de operaciones de la PTARD, lo cual corresponde a procesos del pretratamiento, así también para el tratamiento primario un tiempo de residencia mayor (proceso de decantación), empleo de limo en el filtro (10 mm) y el empleo de 2 decantadores primarios permitirán la mencionada continuidad y remoción efectiva de contaminantes criterio correspondientes (DBO, sólidos), así como, frente al tratamiento secundario, el hecho de complementar al digestor primario con uno secundario, de menores dimensiones, permite alcanzar escenarios viables de operación.
- Los métodos de viable aplicación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo abordan al pre tratamiento y tratamiento primario convencional, es decir, el empleo de rejas y desbaste (desarenado), la regulación del caudal mediante el canal Parshall, el empleo de decantadores/sedimentadores, filtro percolador y el empleo para el tratamiento secundario de digestores, escenario reforzado con el empleo de la cámara de

contacto necesaria para eliminar los patógenos derivados de la carga contaminante doméstica/sanitaria, todo ello derivado de pruebas de ensayo y error, además considerando el área potencial de terreno disponible, lo cual limita la proposición de emplear lagunas de oxidación o tratamientos que requieren de una mayor extensión, además de mantener una cercanía a la población (asentamientos informales) en la zona final del río Shullcas, confluente con río El Mantaro, que corresponde a la jurisdicción de Huancayo como distrito.

- El aporte del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la conservación ambiental se orienta por generar la continuidad de los servicios hídricos aguas abajo tras la consideración de la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para agua, de forma que, el aporte en la viabilidad de la infraestructura derivada del empleo del software Stella, se denote como de alcance real para el desarrollo de la misma, lo cual se evidencia como de suma urgencia para el distrito y ciudad de Huancayo.

TRABAJOS FUTUROS

- Se debe abordar el dimensionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para el casco urbano integral de la ciudad de Huancayo, considerando la viabilidad de terreno donde se edificarán las infraestructuras, lo cual podría representar ser una limitante.
- Considerar el enfoque de gestión de riesgos de desastres en el desarrollo de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y que involucre al empleo de simuladores para la toma de decisiones en marco del análisis hidrogeológico, de forma que se también se complemente a la información disponible para viabilizar el desarrollo del proyecto.
- Identificar la necesidad de la población aleñada a los lugares seleccionados, de forma que también se considere dicha información para la toma de decisiones que aporte en la viabilidad del desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales, principalmente en términos de decisión de las Empresas Prestadoras de Servicios, como es el caso de SEDAM Huancayo en la investigación, de forma que también se anticipen formas de comunicación e instauración de tarifas reales y de acceso de la población que no generen conflictos socioambientales.
- Emplear simuladores de similar índole al software Stella, de forma que se complemente con información que aporte al desarrollo tecnológico.
- Realizar el análisis de viabilidad asociada al periodo de retorno de inversión cuando se tenga la disponibilidad de datos económicos/tarifarios disponibles por parte de la EPS Sedam Huancayo.
- Considerar los potenciales efectos de las anomalías climáticas para garantizar la continuidad del caudal a tratar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA [en línea]. *Propuesta: aguas residuales y sostenibilidad* [fecha de consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.dar.org.pe/archivos/docs/agua/propuesta_cl.pdf.
- (2) MINISTERIO DE AGRICULTURA. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, N° 29338. Lima: El Peruano, 2010.
- (3) SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. *Eje I: Medio ambiente y recursos hídricos transfronterizos*. Lima: SUNASS - AAPS, 2018.
- (4) PAUCAR, F. y ITURREGUI, P. Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. *South Sustainability*, 2020, 1(1).
- (5) JULLIAN, C., y otros. Evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica ante escenarios de conservación de vegetación nativa y expansión de plantaciones forestales en el centro-sur de Chile. *Bosque*, 2018, 39(2).
- (6) MINISTERIO DEL AMBIENTE [en línea]. MINAM hace entrega de Estudio de recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica al Gobierno Regional de Junín, 2016 [fecha de consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/perucrecimiento/2016/06/06/minam-hace-entrega-de-estudio-de-recuperacion-del-servicio-ecosistemico-de-regulacion-hidrica-al-gobierno-regional-de-junin/>.
- (7) CONSORCIO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA ECORREGIÓN ANDINA [en línea]. 62 especialistas de todo el Perú contribuirán a la conservación y recuperación de los ecosistemas, 2020 [fecha de consulta: 15 de junio de 2021.]. Disponible en: <https://condesan.org/2020/11/03/62-especialistas-peru-contribuiran-la-conservacion-recuperacion-los-ecosistemas/>.
- (8) SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las EPS de saneamiento*. Lima SUNASS, 2015.
- (9) GARRIGUES [en línea]. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Huancayo, el Tambo y Chilca, 2021 [fecha de consulta: 15 de junio de 2022]. Disponible en: https://www.garrigues.com/es_ES/proyectos-infraestructura/planta-tratamiento-aguas-residuales-huancayo-tambo-chilca.
- (10) PROINVERSIÓN [en línea]. Cartera de Proyectos de Proinversión, 2021 [fecha de consulta: 15 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.investinperu.pe/es/app/DatosProyecto?idAPPProyecto=85>.

- (11) SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las Entidades Prestadoras de Servicio de Saneamiento*. Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa, 2015.
- (12) SÁNCHEZ, J., MEJÍA, A. y AMOROCHO, C. Software de ingeniería especializado en el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual: revisión. *Ingeniería y Región*, 2015, 13(1).
- (13) VILANOVA, R., SANTÍN, I. y PEDRET, C. Control y operación de estaciones depuradoras de aguas residuales: modelado y simulación. *Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 2017, (14).
- (14) MANEA, E. Simulation of full-scale wastewater treatment biological processes. INCD ECOIND, 2016.
- (15) ALEX, J., JUMAR, U. y AMARGO, U. On-line simulation of wastewater treatment plants. *IFAC Proceedings Volumes*, 1999, 32(2). ISSN: 0-08-043248-4.
- (16) CASTILLO, R. y CÁRDENAS, J. Evaluación de la eficiencia de un módulo de lodos activados en el tratamiento de agua residual doméstica del distrito de San Miguel. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2019.
- (17) SILVA, D. Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el riego de áreas verdes en el distrito de Los Olivos. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020.
- (18) TORRE, A. Diseño y análisis ambiental de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Huaraz. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018.
- (19) HIDALGO, C. Propuesta de diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el barrio El Milagro, Huaraz - Ancash, 2018. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huaraz: Universidad César Vallejo, 2018.
- (20) CASTRO, N. Diseño y simulación de un proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas para la generación simultánea de energía eléctrica mediante celdas de combustible microbianas. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Colombia: Universidad de San Buenaventura, 2014.
- (21) DUCCI, J., DE LA PEÑA, M. y ZAMORA, V. *Tratamiento de aguas residuales en México*. México D.F.: Banco Interamericano de Desarrollo, 2013.
- (22) LAHERA, V. Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 2010, 12(2). ISSN: 1405-8626.

- (23) MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Los servicios ecosistémicos como oportunidad para el desarrollo sostenible en el Perú*. Lima, 2016.
- (24) MOLINA, M., y otros. *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales*. Lima: Ingeniería de Aguas Residuales, 2014.
- (25) SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. *Tratamiento y reuso de aguas residuales*. Lima, 2016.
- (26) LOZANO-RIVAS, W. *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2012.
- (27) CARRASCO, J. *Diseño del sistema de alcantarillado combinado para los barrios de San Juan Bautista alto y bajo en la parroquia de Cumbayá*. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Ecuador: Escuela Politécnica Regional, 2006.
- (28) CRISTANCHO, D., ROJAS, J. y BOHÓRQUEZ, J. *Análisis de la generación de GEI en la cuenca del río Bogotá (Colombia) y un panorama comparativo entre las cuencas de las capitales de México y Perú*. *South Florida Journal of Development*, 2021, 2(1). ISSN: 2675-5459.
- (29) ARTOS, B. y CONSTANTE, J. *Modelado y simulación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales empleando modelos ASM*. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- (30) MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. *Norma OS.090*. Lima, 2015.
- (31) ZÁRATE, C. y HUARANCA, S. *Modelamiento y simulación ambiental para evaluar la contaminación por arsénico del Río Tambo - Arequipa*. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2014.
- (32) CANDELARIA, B., y otros. *Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 2011. ISSN: 1870-0462.
- (33) PÉREZ-MAQUEO, O., y otros. *Modelos de simulación para la elaboración y evaluación de los programas de servicios ambientales hídricos*. México: Instituto Nacional de Ecología, 2005.
- (34) RONDÓN, E., y otros. *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2016.
- (35) IBARRA, D. y REDONDO, J. *Modelo sistémico para el manejo de residuos sólidos en Instituciones Educativas en Colombia*. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, 2011.

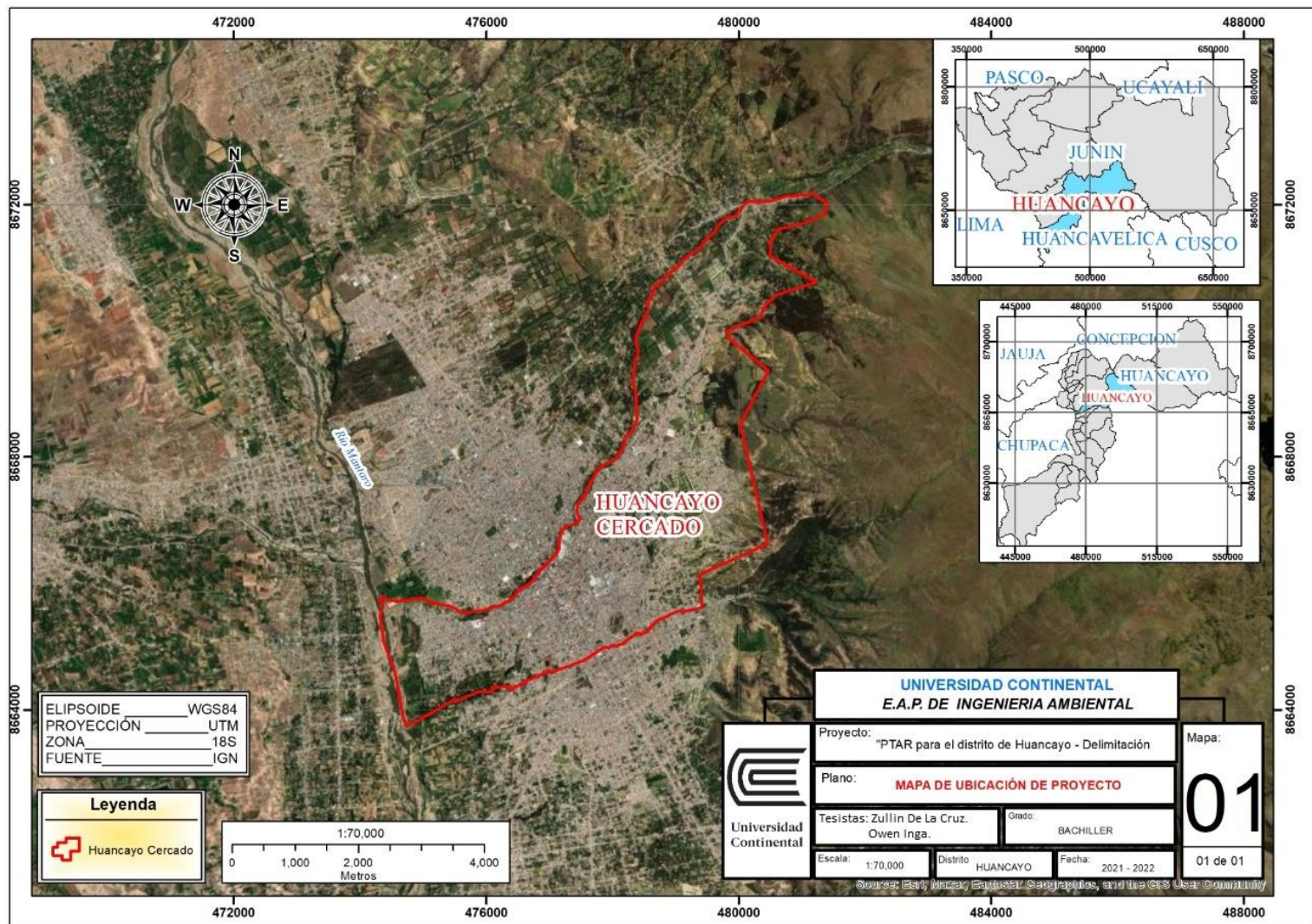
- (36) LARA, J. Integración de herramientas de simulación para la realización de aplicaciones de enseñanza. Tesis doctoral (Doctor en Ingeniería Informática). España: Universidad Autónoma de Madrid, 2020.
- (37) SIFUENTES, A. y BENITES, E. Evaluación de Impacto Ambiental de nutrientes (nitratos y fosfatos) mediante la simulación de sistemas dinámicos en la bahía interior de Puno, Perú. XII Congreso Regional para Norteamérica y el Caribe, 2016.
- (38) INGA, E. Modelo dinámico de sistemas para determinar la calidad de agua en la Laguna Patarcocha por vertimiento de aguas residuales de los Asentamiento Humanos aledaños, Pasco, 2016. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2016.
- (39) CAMACHO, A. y ARIOSA, L. *Diccionario de términos ambientales*. La Habana: Centro Félix Varela, 2000. ISBN: 959-7071-16-9.
- (40) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ-COLLADO, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill Education, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- (41) HUAMANÍ, P. *La investigación tecnológica*. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2016.
- (42) RAMOS, C. Modelo de tratamiento de aguas residuales lodos activados convencional en el Valle del Mantaro. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.
- (43) BENDEZÚ, R. y MARTÍNEZ, A. Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores-lodos anaeróbicos ecológicos para el distrito de Huancayo, provincia de Huancayo - Junín. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Peruana Los Andes, 2017.
- (44) LAURA, E. Propuesta de mejora en el proceso de estudios de los proyectos de inversión, de la empresa Sedam Huancayo. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2018.
- (45) SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el ámbito de las Empresas Prestadoras*. Lima: Dirección de Fiscalización, 2022.
- (46) MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. OS.100 *Consideraciones básicas de diseño de infraestructura Sanitaria*. Lima, 2006.
- (47) ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Norma Internacional ISO 9001*. Ginebra: ISO, 2015.
- (48) RAMALHO, R. *Tratamiento de aguas residuales*. Londres: Reverté, 1996. ISBN: 9788429179750.

ANEXOS

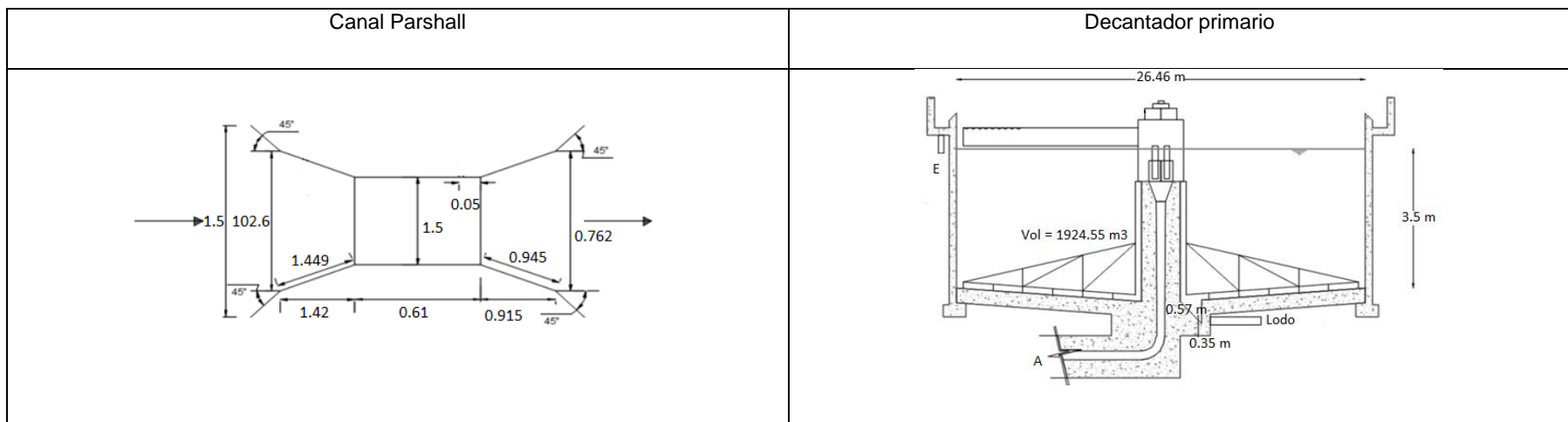
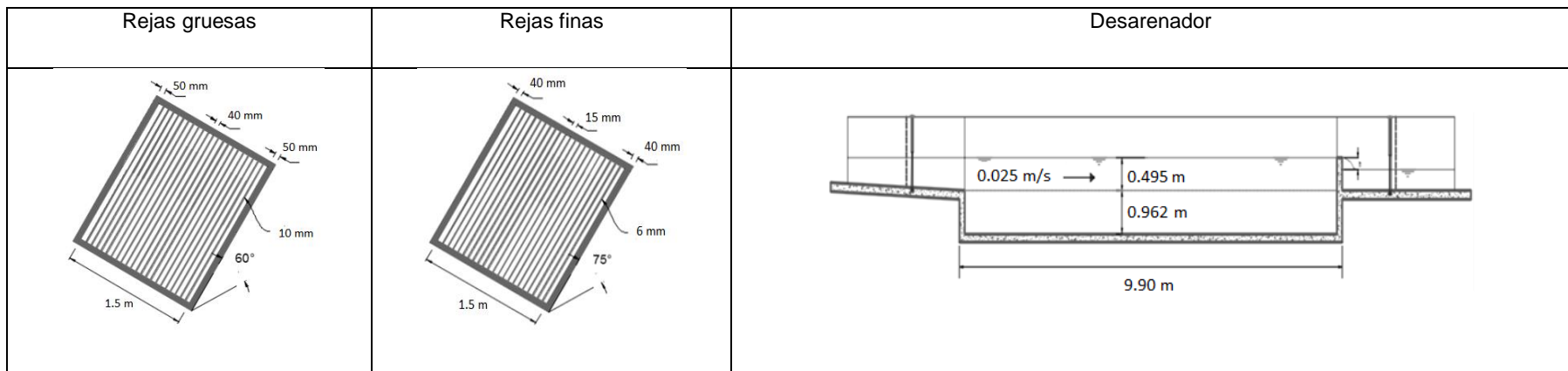
Anexo 01. Matriz de consistencia.

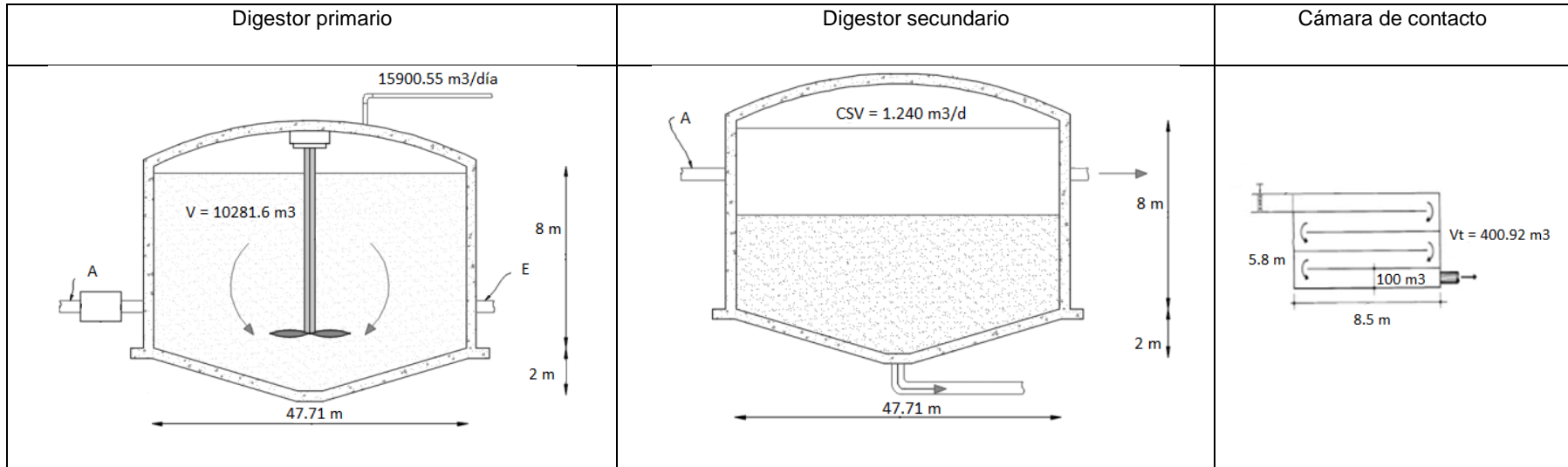
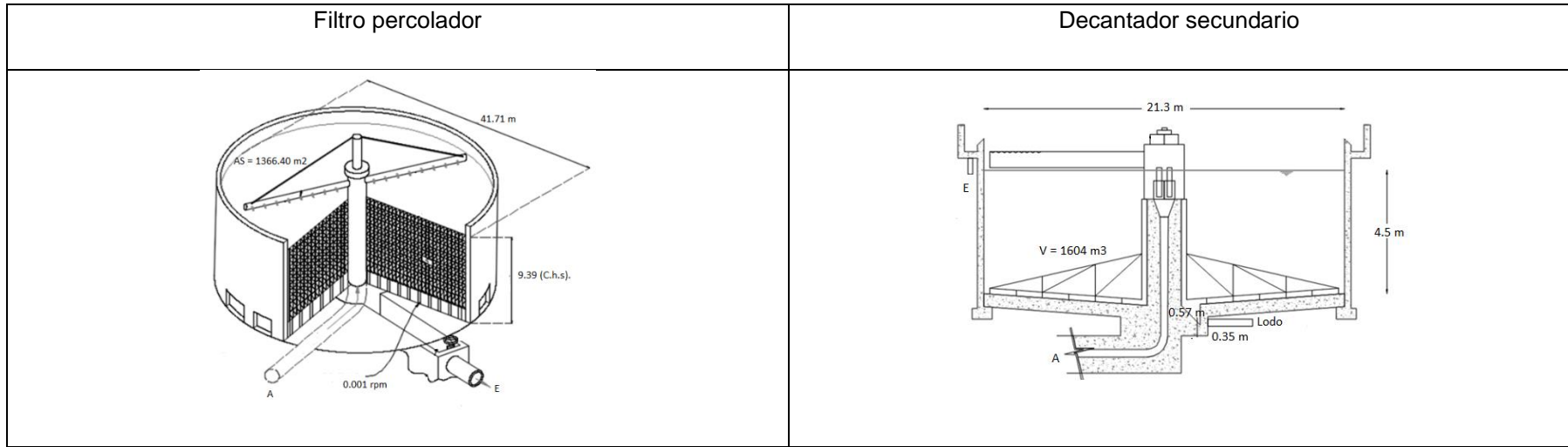
Problemas	Objetivos	Metodología
<p>Problema general: ¿Cuál es el aporte del uso de un simulador de procesos, software Stella, para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021?</p> <p>Problemas específicos: *¿Cuáles son las condiciones asociadas a vertimientos de aguas residuales domésticas que influyen en su tratamiento en el distrito de Huancayo? *¿Cuáles los métodos de viable aplicación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo? *¿Cuál es el aporte del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la conservación ambiental?</p>	<p>Objetivo general: Determinar el aporte del uso de un simulador de procesos, software Stella, para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo, 2021.</p> <p>Objetivos específicos: *Identificar las condiciones asociadas a vertimientos de aguas residuales domésticas que influyen en su tratamiento en el distrito de Huancayo. *Identificar los métodos de viable aplicación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo. *Establecer el aporte del tratamiento de las aguas residuales domésticas en la conservación ambiental.</p>	<p>Método específico: Simulación de procesos.</p> <p>Tipo de investigación: Tecnológica.</p> <p>Población: Abarcó a las tecnologías disponibles de simulación de procesos que sean aplicados para dimensionar procesos, como lo requerido para proyectar la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, donde se puedan conjugar sus características de dimensionamiento y operatividad.</p> <p>Muestra: Considerando el aporte tecnológico, abarcó a la identificación y análisis de los requerimientos técnicos que viabilicen la propuesta de tratamiento de aguas residuales en relación a lo establecido en la población de estudio, considerando como tal el empleo del software Stella para fines pertinentes de simulación de procesos, acorde a lo presentado en las bases teóricas que evidencian su empleo en casos de estudio similares.</p> <p>Técnicas de recolección de datos: Observación; cotejo de base de datos.</p>

Anexo 2. Mapa de delimitación del distrito de Huancayo.

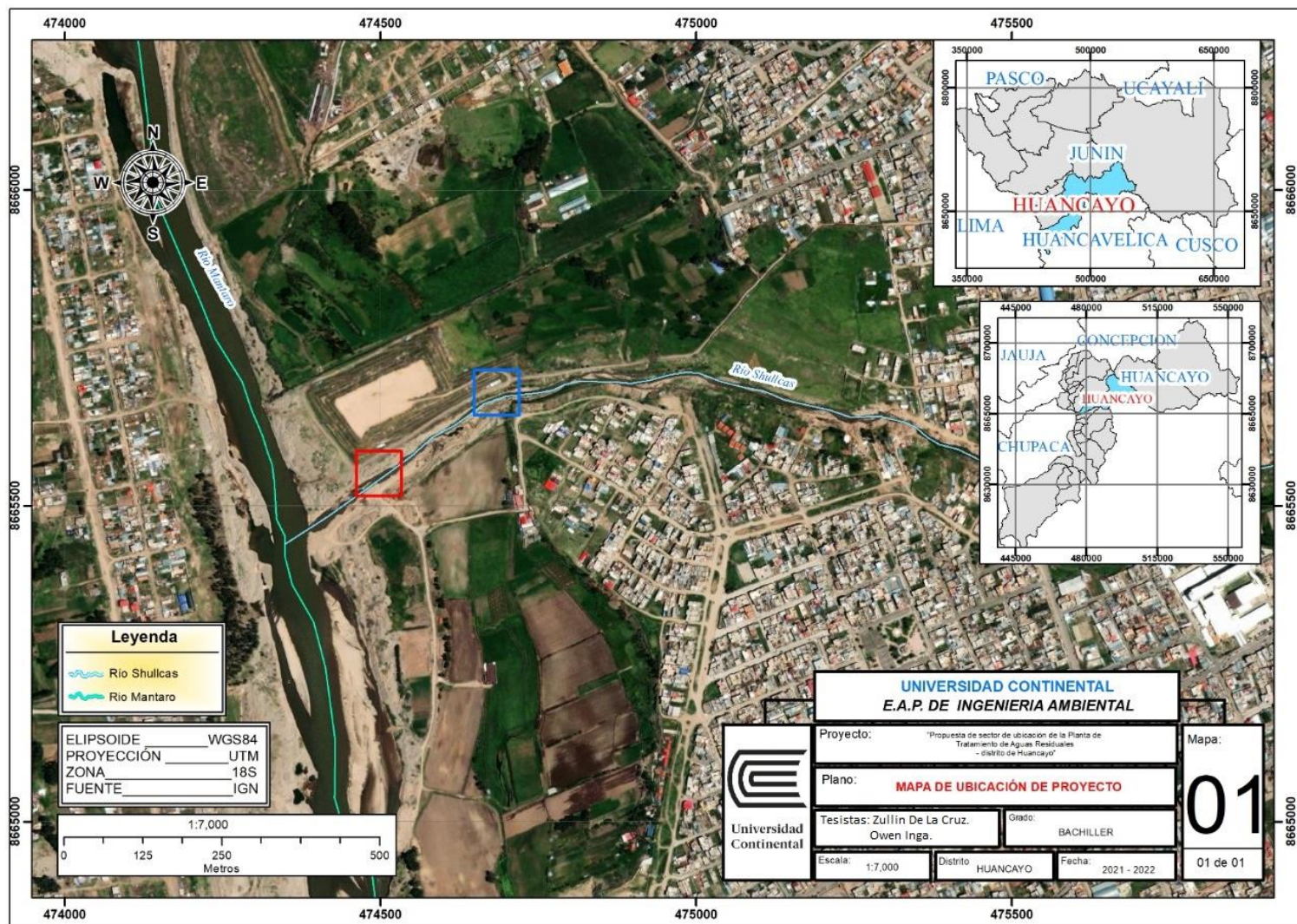


Anexo 3. Representaciones gráficas del dimensionamiento de los procesos propuestos de la PTAR (considerando lo propuesto por la norma OS.090 (30), por Ramos (42), Bendezú y Martínez (43), Laura (44) y por la SUNASS (45).





Anexo 4. Identificación de puntos para el desarrollo del proyecto de la PTAR - Zona de la Ribera.



Anexo 5. Estándares de Calidad Ambiental para agua (D.S. N° 004-2017-MINAM) categoría 3 y 4.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES.

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ⁻ -N) +	mg/L	100		100
Nitritos (NO ⁻² -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				

Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO.

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036

Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**

Anexo 6. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

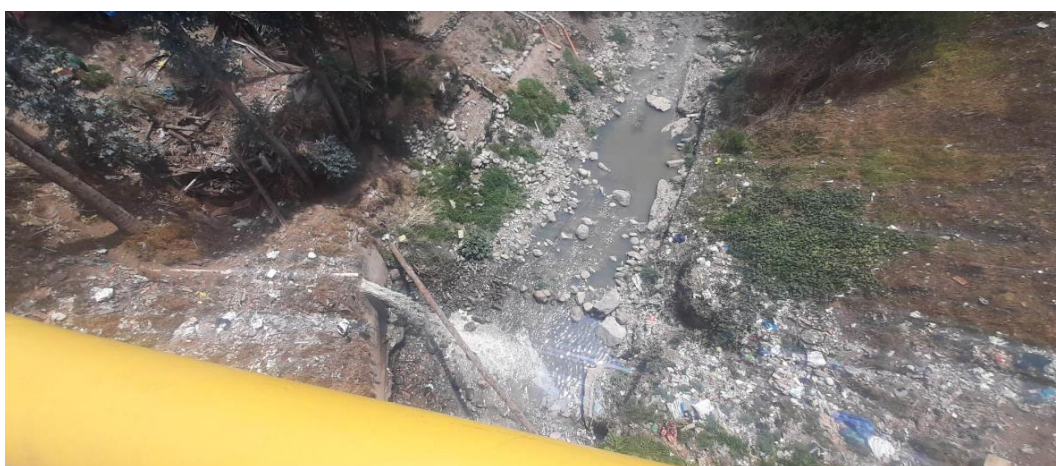
ANEXO

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES
PARA LOS EFLUENTES DE PTAR**

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Anexo del D.S. N° 003-2010-MINAM.

Anexo 7. Panel fotográfico.



Fotografías 1 y 2. Descarga de aguas residuales - Puente Ferrocarril. Se observa la presencia de residuos sólidos, así como un aporte significativo en el caudal del río Shullcas.



Fotografía 3 y 4. Descarga de aguas residuales - Puente Huancavelica. Se observa un mayor aporte de caudal al río Shullcas.





Fotografías 5, 6 y 7. Descarga de aguas residuales - Puente Carrión. Se observan riberas del río Shullcas con presencia de desmonte y residuos de demolición, así como la presencia de residuos sólidos y de gestión no municipal en el caudal del río Shullcas.



Fotografías 8 y 9. Sector de La Ribera adyacente al río Shullcas. Se observan áreas con edificaciones urbanas, que limitan el espacio disponible para el desarrollo de una infraestructura de tratamiento de aguas residuales en el sector final del río Shullcas previo a su afluente al río Mantaro. Se observa gran cantidad de reciclaje informal de residuos sólidos, así como el depósito de desmonte de forma arraigada.

Anexo 8. Lista de cotejo de campo (consolidado de la observación en campo).



Lista de cotejo de campo

Instrucciones: marcar con una X y rellenar según se identifiquen en campo consideraciones para los puntos de observación, correspondientes a las descargas de aguas residuales en el distrito de Huancayo.

Título de la tesis: Simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas generadas en el distrito de Huancayo mediante el software Stella - 2021.

Tesistas: Owen Inga Marcelo, Zullin De la Cruz Canchumani.

(consolidado)

Observaciones de campo:

*) Fechas: Septiembre 2021 - octubre 2022.

Punto de evaluación 01: Puente Santiago Antúnez de Mayolo	
Presencia de descarga de aguas residuales	Si () No (X)
Presencia de residuos sólidos	Si (X) No ()
Presencia de desmonte	Si () No (X)
Percepción de olores (descomposición de materia orgánica)	Si (X) No ()
Presencia de viviendas	Si (X) No ()
Otras observaciones: Caudal con menor presencia de contaminantes, presencia de vegetación natural.	
Punto de descarga 02: Puente Los Andes (ferrocarril)	
Presencia de descarga de aguas residuales	Si (X) No ()
Presencia de residuos sólidos	Si (X) No ()
Presencia de desmonte	Si () No (X)
Percepción de olores (descomposición de materia orgánica)	Si (X) No ()
Presencia de viviendas	Si (X) No ()
Otras observaciones: Caudal natural menor, mayor caudal residual, descarga de aguas residuales de forma constante, abundante presencia de residuos sólidos.	
Punto de descarga 03: Puente Calle Real	
Presencia de descarga de aguas residuales	Si (X) No ()
Presencia de residuos sólidos	Si () No (X)
Presencia de desmonte	Si () No (X)
Percepción de olores (descomposición de materia orgánica)	Si (X) No ()
Presencia de viviendas	Si (X) No ()
Otras observaciones: Caudal mayor, fuerte presencia de aguas residuales, presencia de población aledaña y expuesta a desbordamientos.	
Punto de descarga 04: Puente Huancavelica	
Presencia de descarga de aguas residuales	Si (X) No ()
Presencia de residuos sólidos	Si (X) No ()
Presencia de desmonte	Si () No (X)
Percepción de olores (descomposición de materia orgánica)	Si (X) No ()
Presencia de viviendas	Si (X) No ()
Otras observaciones: Caudal contaminado y con "recarga" constante de aguas residuales, presencia de residuos sólidos.	
Punto de descarga 05: Puente Carrión (La Ribera)	
Presencia de descarga de aguas residuales	Si (X) No ()
Presencia de residuos sólidos	Si (X) No ()
Presencia de desmonte	Si (X) No ()
Percepción de olores (descomposición de materia orgánica)	Si (X) No ()
Presencia de viviendas	Si (X) No ()
Otras observaciones: Caudal totalmente contaminado (aguas residuales, residuos sólidos, desmonte), descarga continua de aguas residuales.	