

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por la ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL Y SANITARIA



TESIS

**EFICACIA DE LOS BIODIGESTORES
AUTOLIMPIABLES EN LAS UNIDADES BÁSICAS DE
SANEAMIENTO CON ARRASTRE HIDRÁULICO
(UBS - AH) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS, HUANDO 2019**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA

PRESENTADO POR:

BACH. DOMÍNGUEZ CCAYCURI, LIZ MÓNICA

BACH. ROJAS LEONARDO, KATERIN VIVIANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCAVELICA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 16 días del mes de octubre del año 2019, a horas 5:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Pedro Antonio PALOMINO PASTRANA (PRESIDENTE)**, **M.Sc. Jorge Luis HUERE PEÑA (SECRETARIO)**, **M.Sc. Fernando Martín TORIBIO ROMÁN (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 007-2019-FCI-UNH, de fecha 16 de enero del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 179-2019-FCI-UNH de fecha 14 de octubre del 2019, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "EFICACIA DE LOS BIODIGESTORES AUTOLIMPIABLES EN LAS UNIDADES BÁSICAS DE SANEAMIENTO CON ARRASTRE HIDRÁULICO (UBS-AH) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, HUANDO 2019", presentada por las Bachilleres **Katerin Viviana ROJAS LEONARDO** y **Liz Mónica DOMÍNGUEZ CCAYCURI**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; en presencia del **M.Sc. Víctor Guillermo SÁNCHEZ ARAUJO**, como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...6:15...; se invitó al público presente y a las sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Katerin Viviana ROJAS LEONARDO

APROBADO POR mayoria

DESAPROBADO

Liz Mónica DOMÍNGUEZ CCAYCURI

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

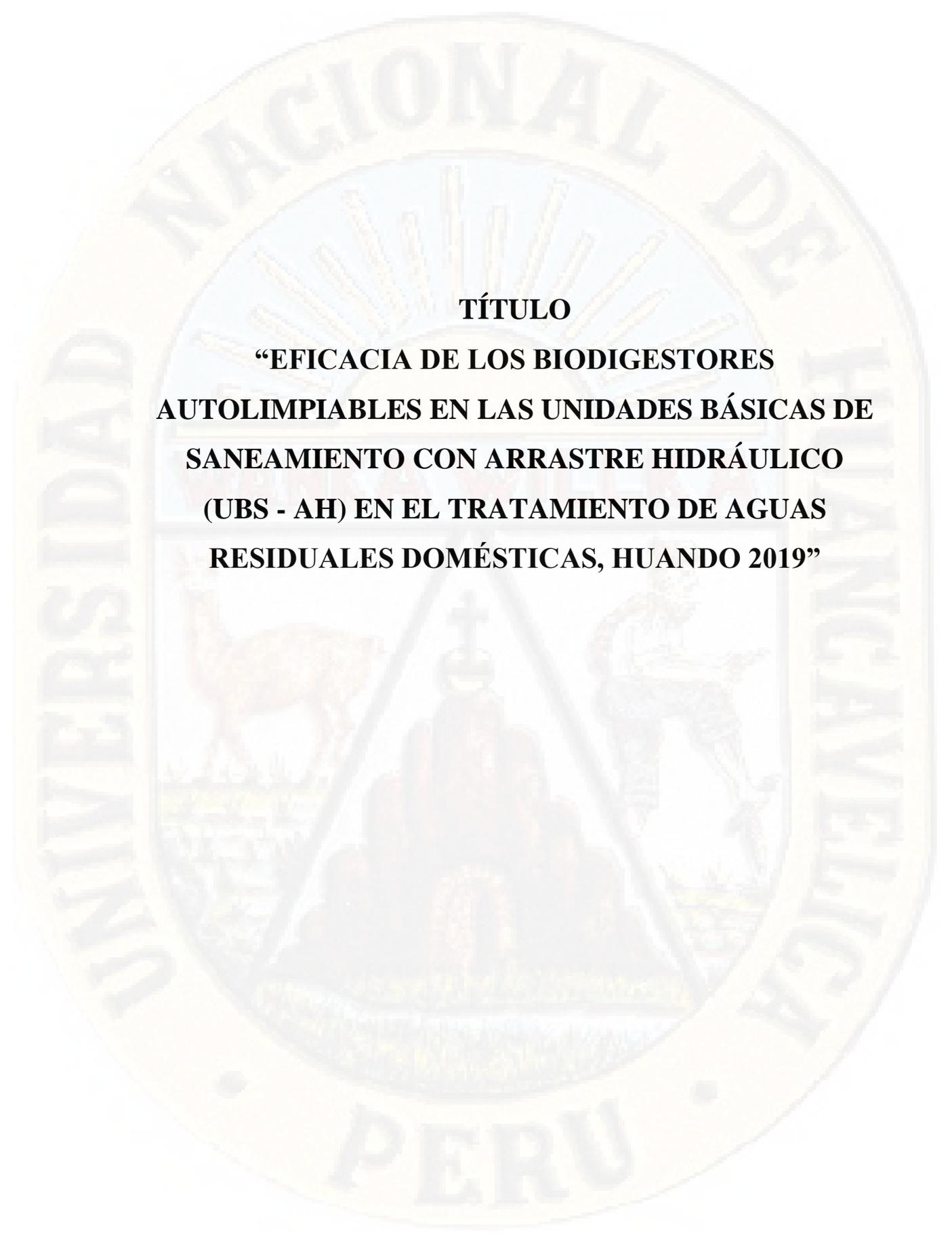
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

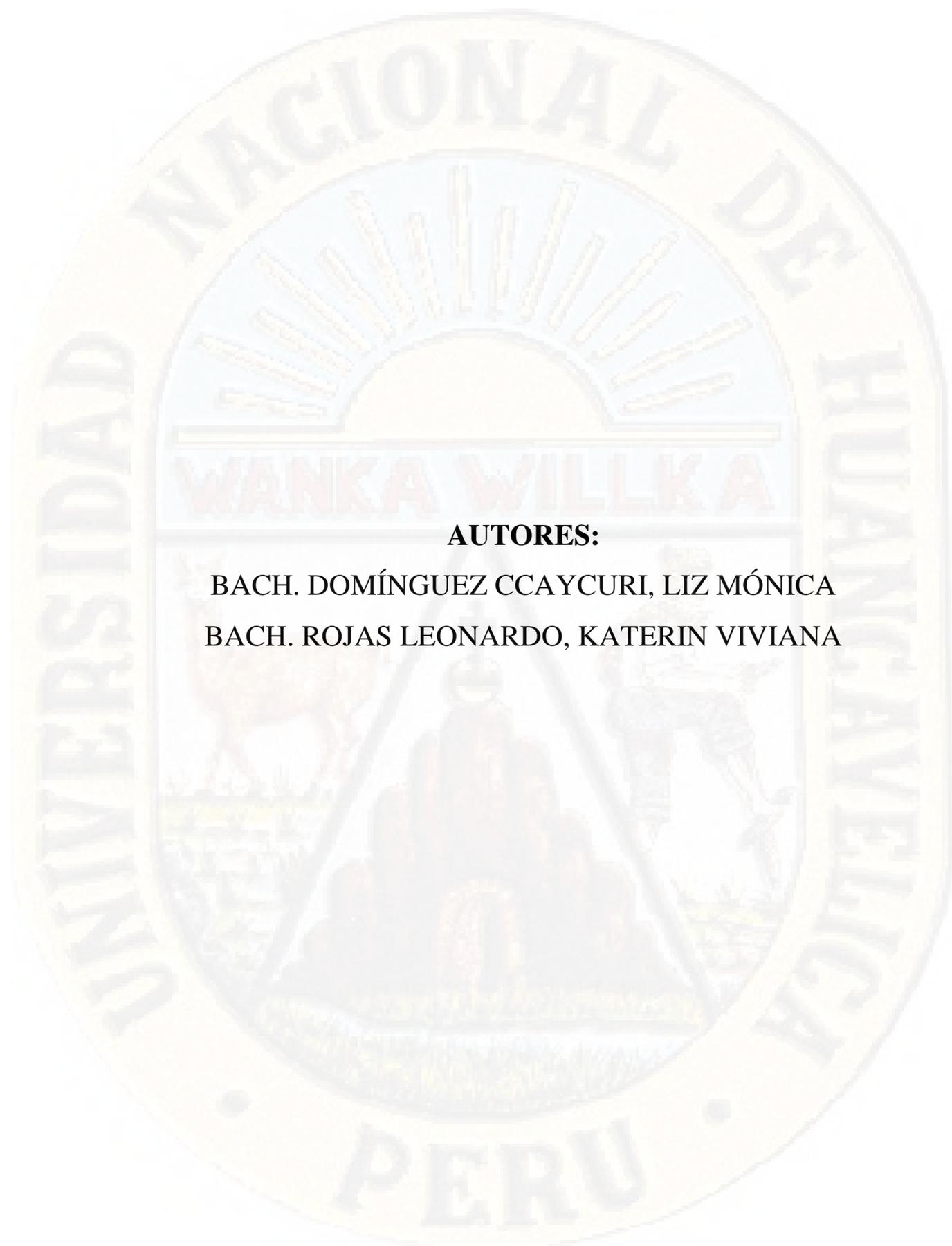
Secretario

Vocal

Vº Bº Decano



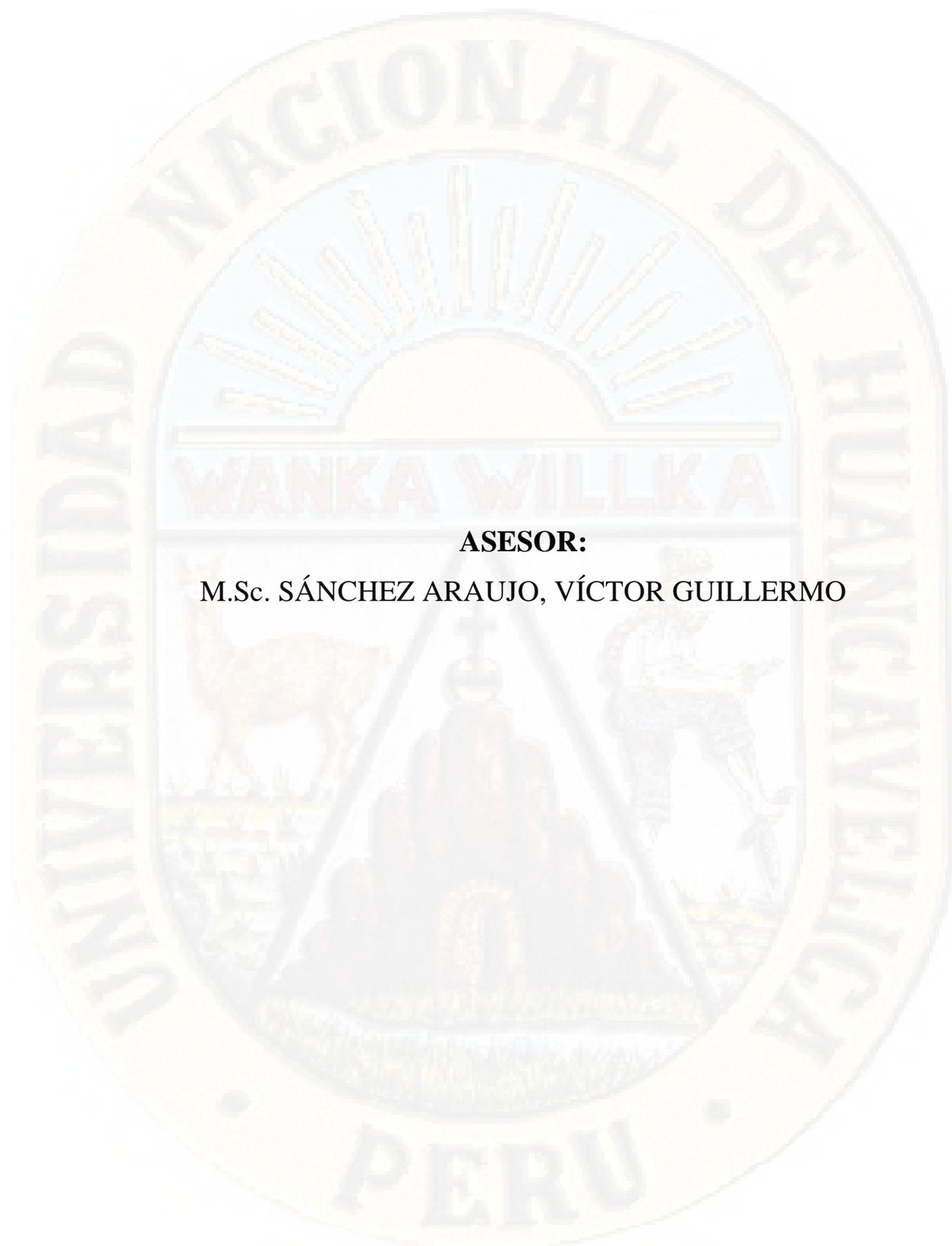
TÍTULO
“EFICACIA DE LOS BIODIGESTORES
AUTOLIMPIABLES EN LAS UNIDADES BÁSICAS DE
SANEAMIENTO CON ARRASTRE HIDRÁULICO
(UBS - AH) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS, HUANDO 2019”



AUTORES:

BACH. DOMÍNGUEZ CCAYCURI, LIZ MÓNICA

BACH. ROJAS LEONARDO, KATERIN VIVIANA



ASESOR:

M.Sc. SÁNCHEZ ARAUJO, VÍCTOR GUILLERMO

DEDICATORIA

La presente tesis la dedicamos a nuestros padres, Flora Violeta, Ccaycuri Arias y Crystell María, Leonardo Quillatupa – Ángel Humberto, Rojas Menéndez; por brindarnos su amor y apoyo incondicional durante toda nuestra vida, gracias a su gran sacrificio alcanzamos uno de los deseos más ansiados, es una dicha y bendición el ser sus hijas.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional de Huancavelica y personas interesadas en temas referidos a la presente tesis.

Bach. Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica

Bach. Rojas Leonardo, Katerin Viviana

AGRADECIMIENTOS:

Agradecemos a Dios por habernos dado unos padres maravillosos, quienes nos brindaron el apoyo y fortaleza en los momentos más difíciles de nuestras vidas y por formarnos con valores e incentivarnos a alcanzar nuestros objetivos, uno de ellos el lograr ser profesionales.

Agradecemos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional de Huancavelica, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al M.Sc. Sánchez Araujo, Víctor Guillermo; asesor de la presente tesis, quien nos ha tutelado en la realización de la tesis hasta lograr culminar satisfactoriamente esta etapa de nuestra vida profesional.

Bach. Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica

Bach. Rojas Leonardo, Katerin Viviana

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS:.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1 Descripción del problema.....	5
1.2 Formulación del problema	9
1.2.1. Problema general	9
1.2.2. Problemas específicos	9
1.3 Objetivos	10
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
1.4 Justificación.....	12
1.5 Limitación.....	13
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1 Antecedentes.....	15

2.2 Bases teóricas.....	24
2.3 Bases conceptuales	25
2.4 Definición de términos	65
2.5 Hipótesis.....	67
2.6 Variables	68
2.7 Operacionalización de variables.....	70
CAPÍTULO III.....	71
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	71
3.1 Ámbito temporal y espacial.....	71
3.2 Tipo de investigación	74
3.3 Nivel de investigación	74
3.4 Población, muestra y muestreo.....	76
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	78
3.6. Técnicas y procesamiento de análisis de datos	126
CAPÍTULO IV	129
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	129
4.4. Análisis de información	129
4.1 Principios de la investigación y Prueba de hipótesis.....	153
4.2 Discusión de resultados.....	189
CONCLUSIONES.....	200
RECOMENDACIONES.....	201
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	202
APÉNDICE.....	208

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de biodigestores según capacidad del contenedor</i>	51
Tabla 2 <i>Dimensiones y características del biodigestor autolimpiable</i>	52
Tabla 3 <i>Dimensiones y características de la cámara de extracción de lodos de las UBS - AH</i>	56
Tabla 4 <i>Cantidad de cámaras de infiltración según caudal y tipo de suelo</i>	57
Tabla 5 <i>Longitud de zanjas de infiltración, longitud de tuberías 4 " según tipo de suelo y capacidad de biodigestor</i>	58
Tabla 6 <i>Eficiencia de los biodigestores autolimpiables Rotoplas</i>	64
Tabla 7 <i>Definición operativa de variables</i>	70
Tabla 8 <i>Cronograma total de duración del proyecto de tesis</i>	72
Tabla 9 <i>Muestras de las unidades básicas de saneamiento con biodigestores</i>	77
Tabla 10 <i>Coordenadas de las UBS – AH, seleccionadas para muestreo</i>	81
Tabla 11 <i>Control de monitoreo de los 6 biodigestores de las UBS -AH</i>	93
Tabla 12 <i>Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales</i>	97
Tabla 13 <i>Volúmenes mínimos de muestras de aguas residuales</i>	100
Tabla 14 <i>Técnicas de recolección de datos de laboratorio</i>	104
Tabla 15 <i>Numero de muestras de los coliformes termotolerantes</i>	116
Tabla 16 <i>Diluciones seriadas de la muestra de agua residual</i>	121
Tabla 17 <i>Valores referenciales para las eficiencias de remoción en los biodigestores, Huando 2019</i>	127
Tabla 18 <i>Eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión (STS)</i>	132
Tabla 19 <i>Eficiencia de remoción de demanda química de oxígeno (DQO)</i>	134
Tabla 20 <i>Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</i> ..	136
Tabla 21 <i>Eficiencia de remoción de los aceites y grasas (AyG)</i>	138
Tabla 22 <i>Eficiencia de remoción de los coliformes termotolerantes (CTT)</i>	140
Tabla 23 <i>Estadística descriptiva de los parámetros físicos en los puntos de monitoreo</i>	141
Tabla 24 <i>Estadística descriptiva de los parámetros químicos en los puntos de monitoreo</i>	143

Tabla 25	<i>Estadística descriptiva de los parámetros químicos en los puntos de monitoreo.....</i>	<i>145</i>
Tabla 26	<i>Evaluación de los resultados de los efluente mediante D.S N° 003-2010-MINAM.</i>	<i>146</i>
Tabla 27	<i>Test de normalidad para sólidos totales en suspensión en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH).....</i>	<i>153</i>
Tabla 28	<i>Test de normalidad de demanda química de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH).....</i>	<i>154</i>
Tabla 29	<i>Test de normalidad de demanda bioquímica de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH).....</i>	<i>155</i>
Tabla 30	<i>Test de normalidad de los aceites y grasas en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH).....</i>	<i>156</i>
Tabla 31	<i>Test de normalidad de coliformes termotolerantes en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH).....</i>	<i>157</i>
Tabla 32	<i>Test de normalidad de la temperatura en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH).....</i>	<i>158</i>
Tabla 33	<i>Test de normalidad del pH en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)</i>	<i>159</i>
Tabla 34	<i>Prueba de T de Student para una proporción - sólidos totales en suspensión (STS).....</i>	<i>167</i>
Tabla 35	<i>Prueba de T de Student para una proporción - demanda química de oxígeno (DQO).....</i>	<i>169</i>
Tabla 36	<i>Prueba de T de Student para una proporción - demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).....</i>	<i>170</i>
Tabla 37	<i>Prueba de T de Student para una proporción - aceites y grasas.....</i>	<i>171</i>
Tabla 38	<i>Prueba de T de Student para una proporción - coliformes termotolerantes</i>	<i>173</i>
Tabla 39	<i>Prueba de T de Student para la temperatura.....</i>	<i>174</i>
Tabla 40	<i>Prueba de T de Student para sólidos totales en susoensión con LMP</i>	<i>176</i>
Tabla 41	<i>Prueba de T de Student para el Ph con LMP</i>	<i>177</i>
Tabla 42	<i>Prueba de T de Student para la demanda química de oxígeno (DQO), con los LMP.....</i>	<i>178</i>

Tabla 43 <i>Prueba de T de Student para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con los LMP</i>	179
Tabla 44 <i>Prueba de T de Student para los aceites y grasas con los LMP</i>	181
Tabla 45 <i>Prueba de T de Student para coliformes termotolerantes con los LMP</i> ...	182
Tabla 46 <i>Matriz de consistencia</i>	209
Tabla 47 <i>Resultado de parámetros físicos - químicos y microbiológicos durante el 1er monitoreo</i>	212
Tabla 48 <i>Resultado de parámetros físico – químico y microbiológicos durante el 2do monitoreo</i>	213
Tabla 49 <i>Resultado de parámetros físico – químico y microbiológicos durante el 3er monitoreo</i>	214
Tabla 50 <i>Etiqueta adhesiva para etiquetar los frascos</i>	223
Tabla 51 <i>Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo</i>	224
Tabla 52 <i>Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales</i>	225

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura.</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de pH... 38</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3. Proceso de la digestión anaerobia.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4. Criterios principales que se pueden considerar en una evaluación.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5. Partes del biodigestor autolimpiable Rotoplas.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 6. Componentes del biodigestor.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 7. Dimensiones del biodigestor autolimpiable.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 8. Primera etapa del biodigestor autolimpiable.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 9. Segunda y tercera etapa del biodigestor autolimpiable.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 10. Esquema del tratamiento de aguas residuales domesticas con el biodigestor autolimpiable Rotoplas.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 11. Cámara de extracción de lodos.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 12. Cámara de infiltración.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 13. Instalación de biodigestor.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 14. Mantenimiento del biodigestor autolimpiable Rotoplas.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 15. Ubicación y localización del área de estudio.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 16. Sistema de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico con biodigestor autolimpiable Rotoplas.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 17. Partes del biodigestor autolimpiable Rotoplas.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 18. Nivel de agua y partes del biodigestor.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 19. Funcionamiento del biodigestor autolimpiable Rotoplas.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 20. Detalles del filtro del biodigestor.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 21. Acumulación y extracción de lodos.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 22. Caja de lodos.</i>	<i>90</i>
<i>Figura 23. Diagrama de flujo del análisis de STS.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 24. Diluciones seriadas de la muestra de agua residual.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 25. Comparación de temperatura entre el agua residual tratada y LMP... 147</i>	<i>147</i>
<i>Figura 26. Comparación SST del agua residual tratada y LMP.</i>	<i>148</i>

Figura 27. Comparación de pH del agua residual tratada y LMP.....	148
Figura 28. Comparación de la DQO del agua residual tratada y LMP.....	149
Figura 29. Comparación de la (DBO5) entre el agua residual tratada y LMP....	150
Figura 30. Comparación de aceites y grasas del agua residual tratada y LMP. ...	150
Figura 31. Comparación de Coliformes termotolerantes del agua residual tratada y LMP.....	151
Figura 32. Test de normalidad de sólidos totales en suspensión en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH), cuantiles normales.....	154
Figura 33. Test de normalidad de demanda química de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.....	155
Figura 34. Test de normalidad de demanda bioquímica de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.....	156
Figura 35. Test de normalidad de aceites y grasas en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.....	157
Figura 36. Test de normalidad de coliformes termotolerantes en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.....	158
Figura 37. Test de normalidad de temperatura en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.....	159
Figura 38. Test de normalidad de potencial de hidrógeno, en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.....	160
Figura 39. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula (Ho), en términos de sólidos totales en suspensión.....	168
Figura 40. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, en términos de demanda química de oxígeno.....	169
Figura 41. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, en términos de demanda bioquímica de oxígeno.....	170
Figura 42. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, en términos de aceites y grasas.....	172
Figura 43. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, en términos de coliformes termotolerantes.....	173
Figura 44. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, en términos de temperatura.....	175

Figura 45. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de sólidos totales en suspensión.....	176
Figura 46. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , para el potencial de hidrógeno.....	177
Figura 47. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de demanda química de oxígeno.	179
Figura 48. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 en términos de demanda bioquímica de oxígeno.	180
Figura 49. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de aceites y grasas.....	181
Figura 50. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de coliformes termotolerantes.....	182
Figura 51. Límites de confianza parámetros físicos temperatura.....	219
Figura 52. Límites de confianza parámetros físicos STS.	219
Figura 53. Límites de confianza parámetros químicos pH.	220
Figura 54. Límites de confianza parámetros químicos DQO.....	220
Figura 55. Límites de confianza parámetros químicos (DBO_5).....	221
Figura 56. Límites de confianza parámetros químicos AyG.	221
Figura 57. Límites de confianza del parámetro microbiológico CTT.....	222
Figura 58. Cadena de custodia del 1er monitoreo.....	227
Figura 59. Cadena de custodia del 2do monitoreo.	228
Figura 60. Cadena de custodia 3er monitoreo.....	229
Figura 61. Resultados del 1er monitoreo de los afluentes y efluentes del biodigestor.....	230
Figura 62. Resultados del 2do monitoreo de los afluentes y efluentes del biodigestor.....	233
Figura 63. Resultados del 3er monitoreo de los afluentes y efluentes del biodigestor.....	236

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice 1. Matriz de consistencia.	208
Apéndice 2. Resultado de parámetros físico – químico y microbiológicos durante los 3 monitoreos.....	212
Apéndice 3. Datos de todos los efluentes procesados en el Sistema SAS.	215
Apéndice 4. Límites de confianza para los parámetros físicos químicos y microbiológico.	219
Apéndice 5. Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.....	223
Apéndice 6. Tabla T – Student.....	226
Apéndice 7. Cadena de custodia adjunta a las muestras de agua residual.	227
Apéndice 8. Reporte de resultados del monitoreo de efluentes de los biodigestores autolimpiables	230
Apéndice 9. Panel fotográfico.....	239

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Pozo de absorción colmatado.....	91
Fotografía 2. Punto de monitoreo del afluyente (A), tomados del biodigestor.	95
Fotografía 3. Punto de monitoreo del efluente (E), tomados del pozo de percolación.....	96
Fotografía 4. Medición de la temperatura ambiental.....	101
Fotografía 5. pH metro digital HI 8424.	102
Fotografía 6. Equipo Soxhlet (frasco de extracción o decantación).....	109
Fotografía 7. Viales para DQO de rango bajo marca Hach.....	111
Fotografía 8. Equipo Reactor digestor RD 125.	112
Fotografía 9. Colorímetro DR 2010.....	112
Fotografía 10. Botellas de (DBO ₅) y agua destilada estéril.	113
Fotografía 11. Incubadora a 20 °C.....	114
Fotografía 12. Esterilización de agua destilada y materiales.....	116
Fotografía 13. Especificaciones del caldo bilis verde brillante.	117
Fotografía 14. Pesaje de caldo bilis verde brillante en la balanza analítica digital.	118
Fotografía 15. Desinfecto y esterilización de la zona de trabajo.....	119
Fotografía 16. Muestras de agua residual del afluyente y efluente de los 6 biodigestores.....	119
Fotografía 17. Solución de caldo verde brillante.....	120
Fotografía 18. Dilución con caldo verde brillante de 9 ml y campanas Durham. ..	120
Fotografía 19. Incubación de las diluciones seriadas a 44.5 °C.	122
Fotografía 20. Especificaciones del Agar Mac. Conkey.	123
Fotografía 21. Recuento de colonias con microscopio de poco aumento.....	125
Fotografía 22. Autorización del presidente y encargado del Área Técnica Municipal para la realización de la tesis.....	239
Fotografía 23. Rotulado de los frascos.	239
Fotografía 24. Frascos etiquetados para su respectivo análisis.	240
Fotografía 25. Punto de monitoreo del afluyente tubo de ingreso al biodigestor.	240

Fotografía 26. Punto de monitoreo del efluente a la salida del biodigestor o al ingreso del pozo percolador.....	241
Fotografía 27. Parámetros tomados en campo Temperatura y pH, con un pH metro digital HI 8424.....	241
Fotografía 28. Parámetros tomados en campo Temperatura y pH, con un Multiparámetro marca Hanna.....	242
Fotografía 29. Parámetros tomados en laboratorio Temperatura y pH, con un Potenciómetro.....	242
Fotografía 30. Análisis del parámetro microbiológico por el método de tubos múltiples.	243
Fotografía 31. Tubos preparados para incubar, determinación de los coliformes termotolerantes.	243
Fotografía 32. Dificultades presentadas por el desconocimiento en temas de tratamiento de aguas residuales por parte de los beneficiarios.....	244
Fotografía 33. Colapso de pozo percolador por mal estudio de suelos y falta de mantenimiento en el sistema.....	244

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en el Centro Poblado de Nueva Acobambilla, Distrito de Huando - Huancavelica, constituidos por 3 monitoreos, en los meses de febrero, marzo y abril del año 2019. Se colectaron muestras, a la entrada y salida de seis biodigestores. Se analizó los parámetros físicos: temperatura (T°) y sólidos totales en suspensión (STS); químicos: potencial de hidrógeno (pH), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), aceites y grasas (AyG); y microbiológicos: coliformes termotolerantes (CTT). Obtenidos los resultados del afluente y efluente, se obtuvo la eficacia de los biodigestores, el cual está determinado por el grado de cumplimiento de los objetivos específicos planteados; para el cual se calculó la eficiencia de remoción, con resultados promedios de: 50.09 % en remoción de STS, 73.14 % de remoción de DQO, 71.47 % en remoción de DBO_5 , 93.45 % en remoción de AyG, y 36.75 % en remoción de CTT. También se evaluó con el D.S. N° 003-2010-MINAM, determinándose que los efluentes cumplen con los LMP; donde las medias de los resultados en los efluentes fueron: 13.73 ($^{\circ}C$) de T° , 123.92 (mg/L) de STS, 6.93 (unidades) de pH, 92.42 (mg/L) de DQO, 80.25 (mg/L) de DBO_5 , 10.04 (mg/L) de AyG, 2237.06 (NMP/100 mL) de CTT, para una temperatura ambiental de 8.3 $^{\circ}C$. Concluyendo que los biodigestores autolimpiables, son eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Palabras clave: Arrastre hidráulico, biodigestores, aguas residuales.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the effectiveness of self-cleaning biodigesters in basic sanitary units with hydraulic drag (UBS - AH), in the treatment of domestic wastewater, in the New Acobambilla Village Center, District of Huando - Huancavelica, constituted by 3 monitoring, in the months of February, March and April of the year 2019. Samples were collected, at the entrance and exit of six biodigesters. The physical parameters were analyzed: temperature (T°) and total suspended solids (STS); Chemicals: hydrogen potential (pH), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD₅), oils and fats (AyG); and microbiological: thermotolerant coliforms (CTT). Obtained the results of the tributary and effluent, the effectiveness of the biodigesters was obtained, which is determined by the degree of compliance with the specific objectives set; for which the removal efficiency was calculated, with average results of: 50.09 % in STS removal, 73.14% COD removal, 71.47% in BOD₅ removals, 93.45% in AyG removal, and 36.75% in CTT removal. It was also evaluated with the D.S. N° 003-2010-MINAM, determining that the effluents comply with the LMP; where the means of the results in the effluents were: 13.73 ($^{\circ}$ C) of T° , 123.92 (ml / L) of STS, 6.93 (units) of pH, 92.42 (mg / L) of COD, 80.25 (mg / L) of BOD₅, 10.04 (mg / L) of AyG, 2237.06 (NMP / 100 mL) of CTT, for an ambient temperature of 8.3 $^{\circ}$ C. Concluding that self-cleaning biodigesters are effective in the treatment of domestic wastewater.

Keywords: Hydraulic drag, biodigesters, wastewater.

INTRODUCCIÓN

Desde el momento en que aparecieron las primeras poblaciones estables, la eliminación de las aguas residuales ha constituido un problema primordial para las sociedades humanas, ya que surgió la necesidad de deshacerse de las excretas. Durante las últimas décadas de este siglo, el mundo ha venido observando con inquietud, analizando y tratando de resolver una serie de problemas relacionados con la disposición de las aguas residuales procedentes del uso doméstico, agrícola e industrial, los sistemas de tratamiento de agua residual doméstica tienen como objetivo principal el reducir algunas características indeseables, de manera tal que el uso o disposición final de estas aguas, cumpla con las normas y requisitos mínimos definidos por las autoridades sanitarias (Espigares y Pérez, 1985).

El acelerado crecimiento de la población y la eliminación inadecuada e insalubre de las heces humanas conduce a la contaminación del suelo y de fuentes de agua proporcionando los sitios y la oportunidad para ciertas especies de moscas y mosquitos para poner sus huevos, para reproducirse o para alimentarse del material expuesto y transportar infecciones. También atrae animales domésticos, roedores y otras alimañas que propagan las heces y con ellas el potencial para causar enfermedades. Además, a veces crea molestias intolerables tanto de olor como visual, todo esto ha traído consigo un problema de contaminación ocasionado por el vertimiento de las aguas residuales sin tratamiento. (Franceys, Pickford, y Reed, 1992).

Hay una serie de enfermedades relacionadas con las excretas y las aguas residuales que comúnmente afectan a las personas en los países en desarrollo, como las enfermedades contagiosas que son las infecciones intestinales y las infestaciones de helmintos, que incluyen el cólera, fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería y diarrea, estas son las principales enfermedades transmisibles cuya incidencia puede reducirse con la introducción y eliminación segura de excretas. Por tanto, es prioritario generar proyectos para atenuar esta problemática, garantizando la descontaminación ambiental y la salud pública (Franceys *et al.*, 1992).

Actualmente existen numerosas alternativas de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la deficiente operación y mantenimiento y su baja adaptación al medio han ocasionado que estas fracasen, repercutiendo en grandes pérdidas para el estado. Por tanto, los tratamientos de aguas residuales por métodos naturales se presentan como una opción sostenible para las pequeñas y medianas poblaciones dada su alta eficiencia, bajos costos de operación y mantenimiento, facilidad de construcción, comparado con los sistemas convencionales.

En el Perú, aproximadamente 11 millones carecen de alcantarillado y soportan mala calidad de vida, los servicios en agua y saneamiento son insostenibles por insuficiente inversión, graves problemas económicos de los operadores, falta de apoyo estatal y normas legales inadecuadas (MVCS, 2016).

La investigación comprende principalmente dos de los componentes del sistema de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), que vienen a ser los biodigestores autolimpiables y los pozos de percolación; donde el biodigestor es una alternativa sostenible para el saneamiento rural, constituye un tratamiento primario in situ, antes de la disposición final de las aguas residuales. El material del biodigestor es de Polietileno, material resistente que no se fisura y confina los excrementos de una forma segura, es de color negro este color ayuda a captar y retener mejor la radiación solar y mejorar la temperatura dentro del contenedor; la capacidad del biodigestor es de 600 litros elegido según la capacidad de atención de personas en este caso de 5 personas por vivienda.

Las dimensiones del biodigestor son de acuerdo a la capacidad que son: 90 cm de ancho y 1.65 m de altura para 600 litros con una garantía de 10 años y vida útil de 20 años. Las UBS – AH se encuentran funcionando desde enero del 2018, donde el biodigestor fue llenado con agua antes del funcionamiento, el agua permanece en todo el proceso de funcionamiento. Los biodigestores actúan mediante un proceso de retención hidráulica (RTH) de 2 días (48 horas), esto se debe a que el biodigestor funciona siempre lleno, por rebalse, a medida que entra agua residual desde la casa, el cual es dirigida por el tubo de ingreso (afluente), hacia una “T” colocada en el centro

del biodigestor, descendiendo hasta la parte inferior del biodigestor que tiene una forma cónica ayudando a mejorar la sedimentación de los sólidos más pesados formándose los lodos donde se produce la principal digestión anaeróbica., y la parte líquida del agua residual pasa por los agujeros del filtro donde las bacterias fijadas en los aros Pet se encargan de completar el proceso consumiendo la materia orgánica en los filtros transformándolas en gas, líquido, o lodo espeso, que desciende al fondo del biodigestor, una vez tratada el agua residual (efluente) estas salen por el tubo de salida que esta empalmada en el filtro, hacia el pozo de percolación, de diámetro de 1,50 m y la profundidad del pozo es de 3 m; con tapa de concreto en forma cuadrada, y las paredes del pozo de percolación están formadas por muros de mampostería con piso de grava donde el suelo contienen naturalmente ecosistemas de bacterias, protozoos y hongos, que se alimentan de los nutrientes y de la materia orgánica del agua residual que pudieron haber quedado, eliminando los contaminantes del agua residual quedando está más limpia.

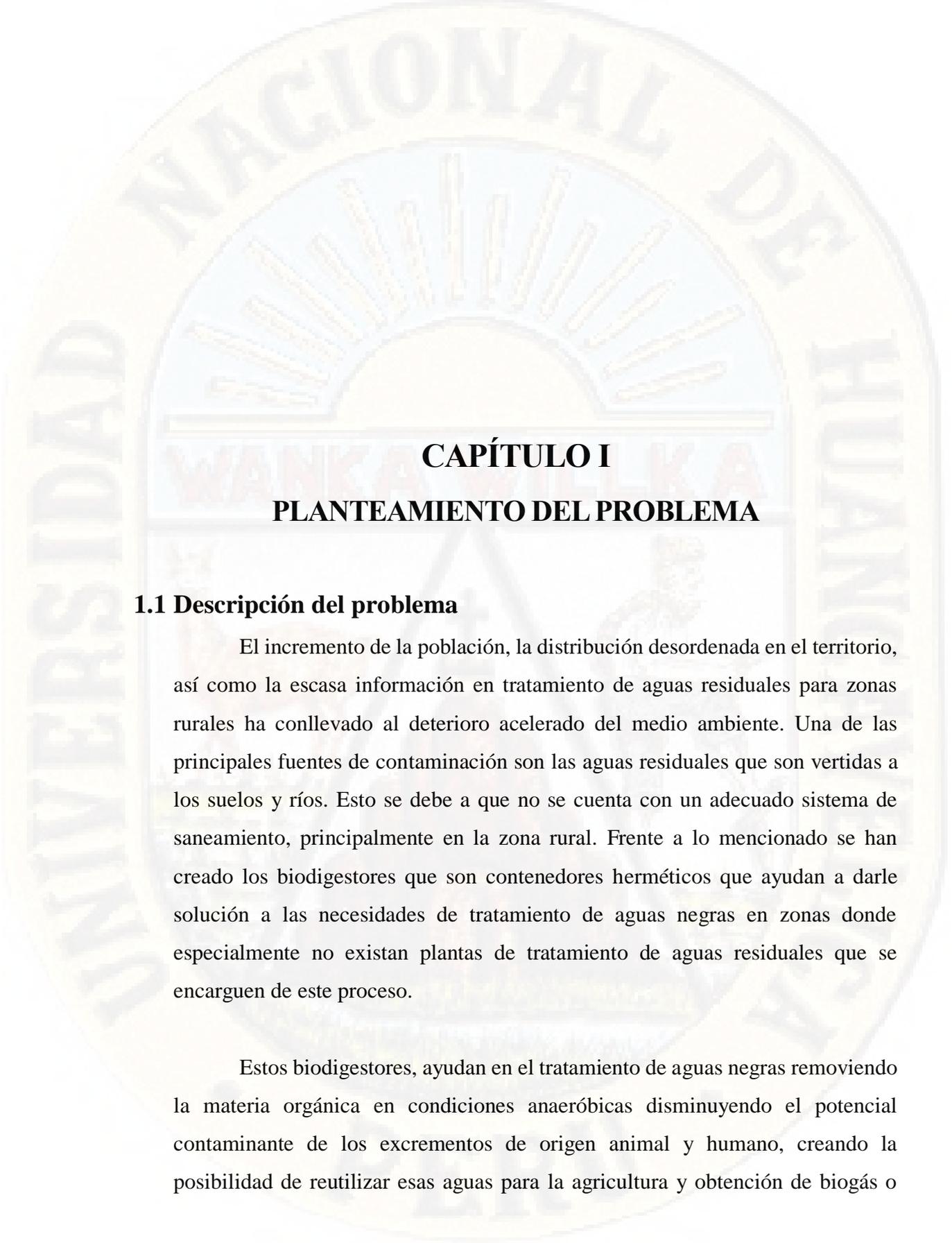
Los lodos digeridos o inertes, ricos en minerales que permanecen acumulados en el fondo del biodigestor; se debe extraer ya que llevan acumulándose un año dejando en el biodigestor una porción de lodo activo para que siga en funcionamiento. Para extraer los lodos tratados solo se abre la válvula del tubo de extracción de lodo, la caja de lodos es de concreto simple, la base de la caja de lodos está directamente en el suelo relleno con gravas, las dimensiones de la caja de lodos son: ancho de 1 m, altura de 1 m y largo de 1m, los lodos se filtran en el suelo y una vez seco, se puede extraer en forma de ceniza gris oscura, y utilizarse como fertilizante en plantas no comestibles.

El objetivo de la presente investigación fue determinar la eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, en el Distrito de Huando, Provincia de Huancavelica, región Huancavelica, se propuso la hipótesis: los biodigestores autolimpiables, son eficaces, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Para la recolección de datos se tuvo en cuenta: el programa de monitoreo, que fueron 3 monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril del año 2019; los puntos de monitoreos, que fueron a la entrada (afluente) y salida (efluente) de cada biodigestor donde se escogió 6 biodigestores de las UBS - AH, por conveniencia: de acuerdo a la mayor cantidad de habitantes por vivienda, ya que esto conlleva a que se produzca una mayor carga de agua residual y de fácil accesibilidad a cada sistema; y por último se tuvo en cuenta los equipos y procedimientos para la toma de muestras, debido a que es una investigación descriptiva el método utilizado fue la observación directa, y se tomó las muestras siguiendo las pautas del “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales” D.S 003 – 2010 - MINAM, aprobado con Resolución Ministerial N° 273-2013 - VIVIENDA, en el que estipula los diferentes lineamientos para la recolección de muestras y los métodos de análisis de laboratorio se basó principalmente en los: métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, y WPCF (1989), y del Manual de Análisis de Agua Segunda Edición en Español (HACH, 2000).

Se tomó la temperatura ambiental para cada monitoreo teniendo un promedio de 8.3 °C, asimismo se analizó la temperatura y el pH medidos en campo usando el método electrométrico con el pH metro digital HI 8424, los parámetros de: sólidos totales en suspensión (STS), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y aceites y grasas (AyG) se transportaron al laboratorio “RCJ LABS UNIVERSAL – SERVICIO DE ANÁLISIS DE MINERALES SUELO AGRÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE”, en la ciudad de Huancayo, en cuanto a los coliformes termotolerantes (CTT) se analizaron en el laboratorio de la universidad nacional de Huancavelica mediante el método de tubos múltiples y conteo en placas Petri.

La presente tesis pretende contribuir al conocimiento y valoración del entorno rural; sirviendo como antecedente e instrucción no solo al personal que desarrolla análisis rutinarios de muestras ambientales sino, a personas naturales, estudiantes y técnicos interesados en la investigación.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El incremento de la población, la distribución desordenada en el territorio, así como la escasa información en tratamiento de aguas residuales para zonas rurales ha conllevado al deterioro acelerado del medio ambiente. Una de las principales fuentes de contaminación son las aguas residuales que son vertidas a los suelos y ríos. Esto se debe a que no se cuenta con un adecuado sistema de saneamiento, principalmente en la zona rural. Frente a lo mencionado se han creado los biodigestores que son contenedores herméticos que ayudan a darle solución a las necesidades de tratamiento de aguas negras en zonas donde especialmente no existan plantas de tratamiento de aguas residuales que se encarguen de este proceso.

Estos biodigestores, ayudan en el tratamiento de aguas negras removiendo la materia orgánica en condiciones anaeróbicas disminuyendo el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, creando la posibilidad de reutilizar esas aguas para la agricultura y obtención de biogás o

simplemente para darles un tratamiento más óptimo y amigable para el medio ambiente (Pizarro, 2005).

Además de ayudar a manejar de forma adecuada los residuos humanos o animales, también ayuda de manera energética y ambiental debido a que los residuos que se alojan dentro de contenedores como el biodigestor comienzan un proceso de digestión anaerobia, mediante el cual se genera biogás, que puede ser utilizado como combustible gracias al contenido de metano que posee (González y Jurado, 2017).

El proceso de un biodigestor es sencillo; luego de recolectar los desechos que contienen bacterias, comienza su función anaeróbica. Una de las principales características del biodigestor, es que tiene la particularidad de separar inmediatamente los sólidos de los líquidos mediante un proceso de filtración que funciona de forma ascendente (Corona, 2007).

El agua libre de residuos contaminados es expulsada a través de la conexión de salida, la cual puede ser canalizada a un pozo de percolación, humedales o campos de oxidación. La característica más importante del biodigestor es su función de limpieza, la cual hace que se convierta en un producto único y práctico. Para esta función basta con abrir una sola llave para que se expulsen los residuos del interior del biodigestor y se limpie. Una vez expulsados estos, se cierra la llave e inicia nuevamente su proceso (Corona, 2007).

Estas instalaciones de saneamiento previenen la transmisión de gran parte de las enfermedades fecales – orales en su origen principal, al prevenir la contaminación del agua, aire y el suelo por la contaminación fecal humana. Constituyendo un importante desafío para el estado, para garantizar el acceso de toda la población, a servicios de agua potable y saneamiento, reconociendo la importancia que tienen para el cuidado de la salud pública, la superación de la pobreza, la dignidad humana, el desarrollo económico y la protección del medio ambiente.

En 2015, el 39% de la población mundial (2900 millones de personas) utilizaba un servicio de saneamiento gestionado de forma segura, es decir, sus excrementos se eliminaban de forma segura in situ o se sometían a tratamiento en otro lugar. El 27% de la población mundial (1900 millones de personas) utilizaba instalaciones privadas de saneamiento conectadas al alcantarillado, desde el cual se trataban las aguas residuales (OMS, 2019).

El 13% de la población mundial (900 millones de personas) utilizaba inodoros o letrinas en los que se eliminaban los excrementos in situ. El 68% de la población mundial (5000 millones de personas) utilizaba al menos un servicio básico de saneamiento. 2300 millones de personas siguen sin tener instalaciones de saneamiento básicas como inodoros o letrinas que no estén compartidas con otras familias. De ellas, 892 millones todavía defecan al aire libre, por ejemplo, en alcantarillas, detrás de arbustos o en masas abiertas de agua. Se estima que al menos el 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales (OMS, 2019).

Un saneamiento deficiente va asociado a la transmisión de enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se estima que el saneamiento deficiente es la causa de 280 000 muertes por diarrea cada año y que es un importante factor subyacente a varias enfermedades tropicales desatendidas, como las lombrices intestinales, la esquistosomiasis y el tracoma. Las malas condiciones de saneamiento también contribuyen a la malnutrición (OMS, 2019).

La situación actual del Perú muestra insuficiente cobertura de servicios de agua, saneamiento y tratamiento de aguas residuales, que pone en riesgo la salud de la población. Muchos de los centros poblados rurales peruanos no cuentan con servicios de alcantarillado, por lo que las excretas son vertidas a los suelos y fuentes de aguas naturales directamente sin ningún tipo de pretratamiento, ocasionando la contaminación ambiental y afectando la salud de la población.

En nuestro país se va implementado las unidades básicas de saneamiento en zonas rurales donde no se tiene acceso al servicio de alcantarillado. La disposición de este servicio sumado a las prácticas de higiene, contribuyen a la disminución de las enfermedades en la población, así como también evitarán o disminuirán la contaminación, del aire, suelo, agua, favoreciendo a la mejora de las condiciones de salud.

Las unidades básicas de saneamiento están compuestas por una caseta conformada por una ducha y retrete, y en la parte exterior va empotrada a la pared de la caseta un lavadero, donde las aguas residuales de este sistema se conducen por medio de tuberías que pasa a las cajas de registros, al biodigestor, cajas de reunión de caudales y finalmente para ser vertidos en los pozos de percolación. Para que las unidades básicas de saneamiento sean duraderas es necesario que los miembros de la familia desarrollen capacidades para adoptar prácticas de higiene saludables, valoren la importancia de este servicio y le den un adecuado uso y mantenimiento. Los biodigestores se mantienen operativos siempre y cuando tengan un mantenimiento periódico, separa el sólido del líquido, el lodo resultante de la actividad bacteriana será utilizados como fertilizantes siempre y cuando se deshidrate con la adición de cal.

La operatividad del biodigestor dependerá de su mantenimiento, por tanto, es necesario realizar un control de los productos que salen del biodigestor y la realización de esta investigación pretende realizar el monitoreo del funcionamiento de los biodigestores realizando el análisis físico, químico y microbiológico del afluente y efluente para así determinar la eficiencia de remoción, y evaluar la calidad del efluente con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S 003 – 2010 MINAM, donde la eficiencia está relacionada con los resultados de la calidad de agua residual en los efluentes, por ende, lo mencionado constituyen los objetivos específicos de la investigación, estos objetivos presentados anteriormente permitirán estimar si son o no eficaces los biodigestores en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

1.2 Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?
- b) ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?
- c) ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?
- d) ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?
- e) ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico

(UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?

- f) ¿Cuál es la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019?

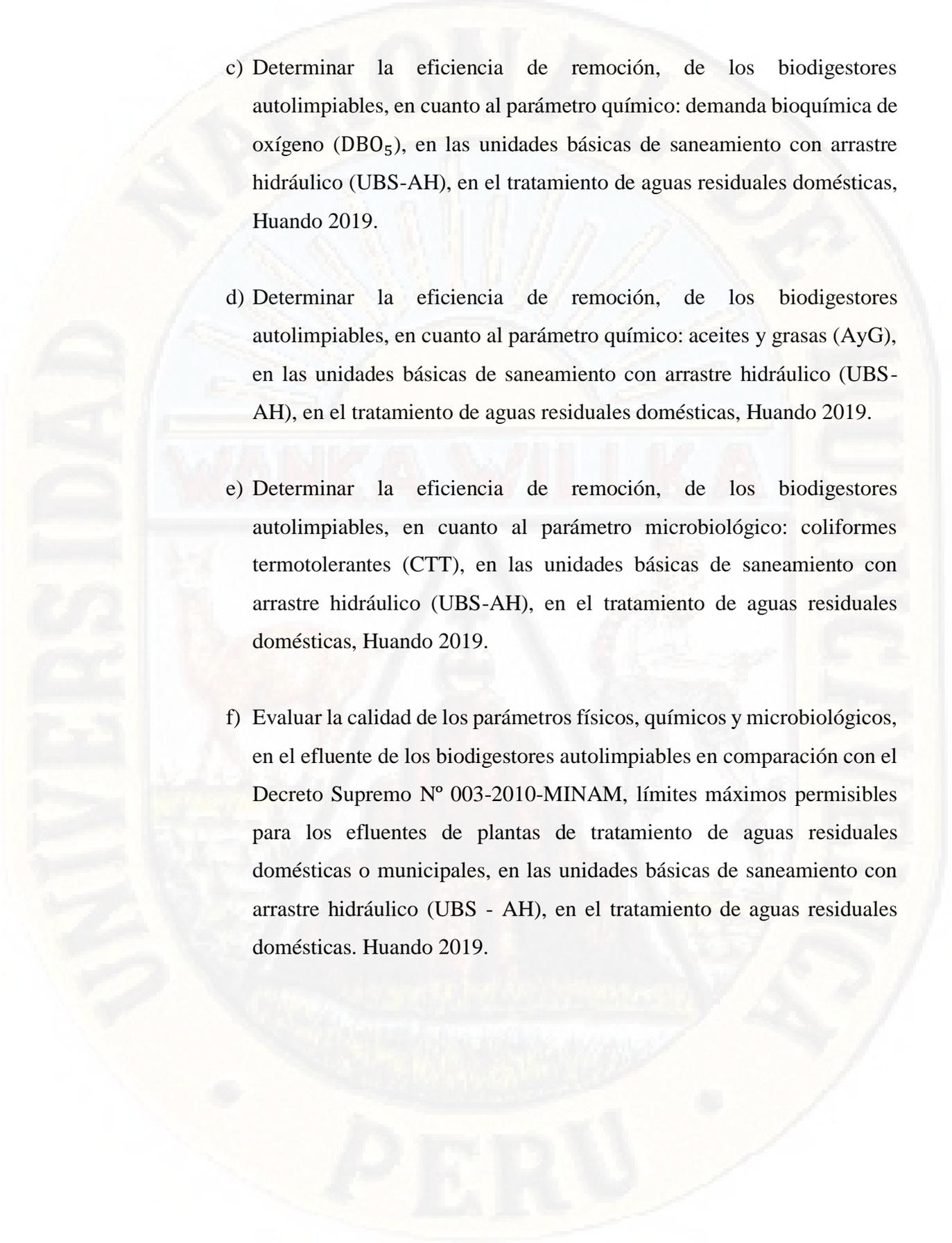
1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- b) Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- 
- c) Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- d) Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- e) Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- f) Evaluar la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019.

1.4 Justificación

Debido al incremento de la implementación de los sistemas de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), con biodigestores autolimpiables, principalmente en aquellos lugares que no cuentan con los servicios de alcantarillado, por ello se vio la necesidad de determinar la eficacia de los biodigestores en función a la eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en el agua residual donde la eficiencia, está relacionada a la calidad del agua residual en el efluente, se determinó la eficacia de los biodigestores para conocer si son adecuados o no estos sistemas en lugares con climas fríos, y saber si cumplen con las necesidades, así como con las exigencias de los usuarios.

El agua derivada del biodigestor posee características físicas, químicas y microbiológicas desconocidas, ya que no existe un estudio oficial de la calidad del agua residual de este tipo de sistemas con biodigestores autolimpiables, lo que sin el tratamiento adecuado va a presentar problemas de contaminaciones a los recursos hídricos, suelos y aire, así como también enfermedades al ser humano. Lograr un adecuado tratamiento y manejo de las unidades básicas de saneamiento, evitará que cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos se contaminen por el mal funcionamiento de los biodigestores autolimpiables.

Académico: la tesis brindará datos referentes a la eficacia donde la determinación de esta, se realizará una vez obtenidos los resultados planteados en los objetivos específicos, los cuales son la eficiencia de remoción y la calidad en el efluente de los biodigestores autolimpiables en el tratamiento de aguas residuales domésticas en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), los cuales servirán como antecedentes para futuros trabajos de investigación, donde se pretendan determinar la eficiencia de remoción, calidad del agua residual y la eficacia de los biodigestores, en cuanto al tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico y sus derivados como son la reutilización de los biosólidos, que vienen a ser el agua residual tratado que podría destinarse al riego de plantas y los sólidos que son los lodos tratados que podrían destinarse

como fertilizantes, siempre y cuando se evalúen las características de los biosólidos con las normativas pertinentes.

Práctico: La presente tesis pretende contribuir al conocimiento y valoración del entorno rural; sirviendo como antecedente e instrucción no solo al personal que desarrolla análisis rutinarios de muestras ambientales sino, a personas naturales, estudiantes y técnicos interesados en la investigación.

Social: con el uso de los biodigestores autolimpiables en el tratamiento de aguas residuales domésticas, se disminuiría la contaminación de las fuentes subterráneas de agua y ecosistemas de la zona, de esta forma se enfocará a una mejora de la calidad sanitaria en los pobladores de zonas rurales, mejorando su calidad de vida.

En caso de no ser eficaces estos sistemas se exigirán, revisar las causas por las que resultó no ser eficaz además de exigir mejorar o cambiar esta tecnología, para el adecuado tratamiento de las aguas residuales a fin de prevenir la contaminación ambiental del suelo, aire y agua subterránea y mejorar la calidad de vida de las personas.

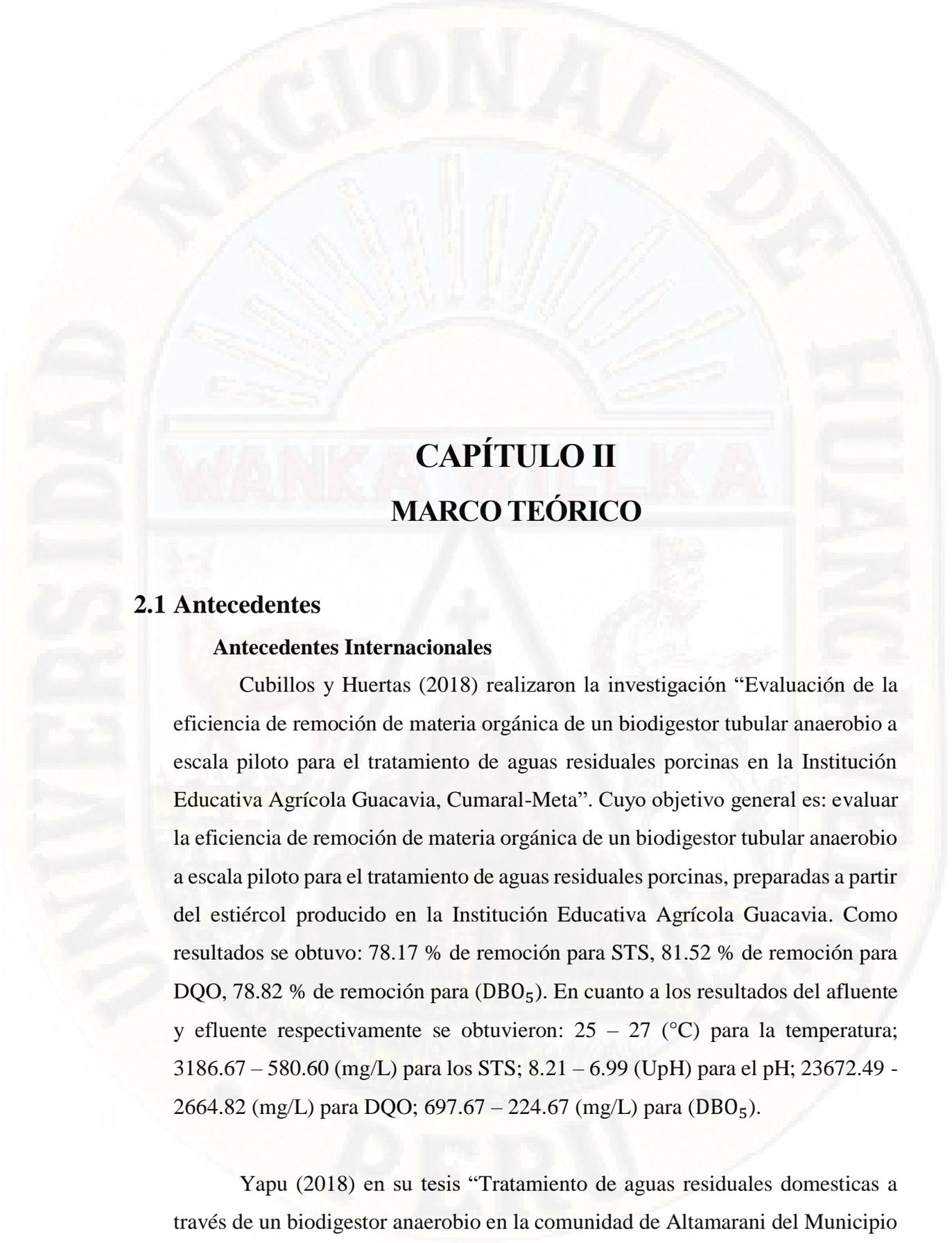
1.5 Limitación

El presente trabajo de investigación se realizó en las unidades básicas de saneamiento del Centro Poblado de Nueva Acobambilla Distrito de Huando, provincia de Huancavelica, Región Huancavelica. Por ende, la investigación se limita en un espacio geográfico de clima frío y seco, por estas condiciones se presume que las bajas temperaturas impiden obtener mayor provecho del sistema en cuanto a la remoción de la materia orgánica e inorgánica, en los biodigestores autolimpiables ya que la temperatura es uno de los parámetros determinantes en el tratamiento de aguas residuales, donde el tratamiento anaeróbico funciona mejor en temperaturas cálidas.

La presente investigación se limita en determinar la eficacia que viene a ser el grado en que se alcanzan los objetivos del proyecto en un período determinado, independientemente del trabajo desarrollado, el tiempo invertido, la inversión realizada en la etapa de construcción e instalación de estos sistemas, donde la eficacia solo se fija en los resultados logrados, para obtener estos resultados es necesario calcular la eficiencia de remoción de los biodigestores el cual está relacionada con la calidad de las aguas residuales en los efluentes.

El presente trabajo de investigación asumió varias limitaciones una de ellas es la poca difusión de información en temas de saneamiento básico con unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH) usando los biodigestores autolimpiables, lo que conllevó que los beneficiarios de las UBS – AH, desconfiaran de lo que se pretendía hacer con el acceso a cada unidad básica de saneamiento; impidiendo el adecuado desarrollo para realizar los estudios correspondientes.

El periodo de duración de la presente tesis comprendió desde el mes de octubre del 2018 al mes de setiembre del 2019.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Cubillos y Huertas (2018) realizaron la investigación “Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas en la Institución Educativa Agrícola Guacavia, Cumaral-Meta”. Cuyo objetivo general es: evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas, preparadas a partir del estiércol producido en la Institución Educativa Agrícola Guacavia. Como resultados se obtuvo: 78.17 % de remoción para STS, 81.52 % de remoción para DQO, 78.82 % de remoción para (DBO₅). En cuanto a los resultados del afluente y efluente respectivamente se obtuvieron: 25 – 27 (°C) para la temperatura; 3186.67 – 580.60 (mg/L) para los STS; 8.21 – 6.99 (UpH) para el pH; 23672.49 - 2664.82 (mg/L) para DQO; 697.67 – 224.67 (mg/L) para (DBO₅).

Yapu (2018) en su tesis “Tratamiento de aguas residuales domesticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del Municipio

de San Buenaventura”. Tuvo como objetivo: recuperar aguas residuales domésticas a través de un biodigestor anaerobio, obteniendo agua de tratamiento primario para el aprovechamiento uso agrícola. Obteniendo los resultados: de (DBO_5), se tiene una concentración del efluente promedio de 198.82 mg/l que en comparación de los límites permisibles establecidos en la ley 1333 donde solo permite 80 mg/l por día, el cual no cumple con lo establecido. La demanda química de oxígeno (DQO) en la ley establece que el límite máximo permisible sea de 250.0 mg/l, pero el afluente realizado en el análisis tiene una cantidad promedio de 223.33 mg/l, el cual entra en el rango de descarga de limite permisible. En cuanto al parámetro aceites y grasas, presenta un promedio de 0.2682 mg/l y la ley específica que la descarga por día debe ser 10.0 mg/l, lo cual nos indica que tiene un valor aceptable ya que entra en el límite permisible. En el parámetro de sólidos totales suspendidos se tiene un promedio de 96.79 mg/l, en este caso según la ley 1333 específica que el valor máximo permisible es de 60 mg/l el cual no cumple con límites. Concluyendo que no son aptos para el aprovechamiento agrícola.

Calderón (2014) desarrolló la investigación “Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliars”. Cuyo objetivo fue: determinar la eficiencia del biodigestor comercial, en la remoción de contaminantes en aguas residuales domiciliars, después de cinco años de funcionamiento. Obteniendo como resultados: 88.29 % de remoción para STS, 57 % de remoción para DQO, 54.07 % de remoción para (DBO_5). En cuanto a los resultados del afluente y efluente respectivamente se obtuvieron: 22.93 – 20.43 ($^{\circ}C$) para la temperatura; 420.32 – 48.30 (mg/L) para los STS; 7.34 – 6.98 (UpH) para el pH; 446 - 184 (mg/L) para DQO; 213.92 – 101.17 (mg/L) para (DBO_5).

Guerrero, Inga y Samaniego (2011) realizaron la investigación “Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino”. Donde nos hacen referencia en su tesis la implementación de un biodigestor tipo tubular, el mismo que se ha adaptado a un efluente proveniente

del lavado del establo de ganado de bovino de la Universidad politécnica salesiana. Luego de un tiempo de retención de 25 días se obtuvo una remoción de coliformes totales, (DBO_5), DQO y siendo lo que más disminuyó es el SST. Así mismo llega a las siguientes conclusiones: los sólidos suspendidos totales tienen una eficiencia de remoción de 98,79% luego de un tiempo de retención de 25 días. Demanda bioquímica de oxígeno en relación al tiempo de retención, muestra una fase con tendencia al aumento respecto al comportamiento del desarrollo microbiano en un biodigestor. Demanda química de oxígeno: tiende a disminuir, en razón de la degradación de la materia orgánica con una remoción del 79,57%, la disminución de coliformes totales en el agua residual presenta una remoción del 33,72%. Concluyendo que se obtiene biogás, producto de la actividad microbiana que se puede utilizar como gas combustible.

Torres (1994) realizó la investigación “Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para reúso del agua en la agricultura”. Cuyo objetivo general es: diseñar una planta de tratamiento para las aguas residuales domésticas provenientes de la localidad de Marín, bajo condiciones ambientales de la zona en función de la carga orgánica y sólidos totales para reúso como agua de riego agrícola. Como resultados se obtuvo en el efluente: 28.7 (°C) para la temperatura; 180 (mg/L) para los STS; 8.1 (UpH) para el pH; 372.09 (mg/L) para DQO; 265 (mg/L) para (DBO_5) y $153 \cdot 10^6$ (NMP/100 mL) para los coliformes termotolerantes.

Antecedentes nacionales

Ríos y Cisnéros (2019) realizaron la investigación “Eficiencia de un biodigestor en el tratamiento de agua residual domestica a nivel familiar en la asociación “los Víquez” Carapongo - Lurigancho Chosica- Lima”. Tuvo como objetivo: evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas mediante un biodigestor de 600 litros a una altura de 471 m.s.n.m. Como tratamiento primario a nivel familiar. Obteniendo como resultados promedios en el afluente y efluente: aceites y grasas (108 y 21 mg/l); coliformes termotolerantes (278.2 y 724.5 NMP/100 ml);

demanda bioquímica de oxígeno (2632.6 y 393 mg/l); demanda química de oxígeno (3799.3 y 680 mg/l); sólidos suspendidos totales (1788.6 y 187 mg/l); potencial de hidrógeno (8.6 y 7.4); y la temperatura del agua (22.4 y 22.5 °C). La eficiencia de remoción obtenida en Aceites y grasas fue de 82.5%, Coliformes totales 98.3%, Coliformes Termotolerantes 97.3%, DBO₅, 84.9%, DQO 82%, SST 89.5% Concluyendo que la eficiencia promedio del biodigestor fue de 89% para el tratamiento primario de agua residual doméstica, lo cual presenta evidencia de ser una alternativa viable y sostenible para minimizar los impactos ambientales (agua, aire y suelo) y contribuir a la salud colectiva de la población.

Leon (2018) en su tesis “Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la Localidad de Chibaya Baja – Torata – Moquegua ”. Con el objetivo: de determinar la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domesticas con biodigestor. Obteniendo como resultados en términos de eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domesticas cuyos parámetros evaluados fueron: DBO₅ de 59.51%, DQO 49.16%, aceites y grasas 35.92%, sólidos totales en suspensión 52.78% y Coliformes fecales (termotolerantes) 89.19%, además se realizó la comparación de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM. Concluyendo que: la DBO₅ y DQO no cumplen con los límites máximos permisibles y estas aguas no deben ser vertidos a cuerpos de aguas (ríos, lagos, aguas subterráneas, etc.).

León (2018) ejecutó la investigación “Eficiencia de biodigestores usando Pet y esponjas para la remoción de DQO, DBO₅ del agua residual domestica - Tuyu, Marcara – Ancash”. Cuyo objetivo general fue: determinar la remoción de DQO, DBO₅ de aguas residuales empleando biodigestores prefabricados en la planta piloto del centro experimental de Tuyu Ruri. Obteniendo los resultados: Con respecto al uso del PET los sólidos totales en suspensión se ha removido en promedio en un 94.33%, pero en el caso de esponjas los sólidos totales en suspensión se remueve en promedio en un 69.87%, lo que nos indica que el de mayor eficiencia es utilizando PET; la demanda bioquímica de oxígeno se ha

removido en promedio de 53.58% utilizando Pet y utilizando esponjas la demanda bioquímica de oxígeno se ha removido en promedio en un 55.99%, lo que indica que el uso del esponja nos da mayor eficiencia; al utilizar el Pet la demanda química de oxígeno se ha degradado en promedio de 38.37%, mientras que utilizando la esponja se ha removido un promedio de 51.11 %, químicamente hasta CO₂ y H₂O quedando un remanente de un 48.89 % de demanda química de oxígeno (DQO) no degradable lo que indica que la esponja es de mayor eficiencia; con respecto a coliformes fecales o termotolerantes en cuanto a la carga microbiana se obtuvo una permanencia del 100% debido a las condiciones nutricionales y ambientales, esto en ambos casos utilizando el Pet y esponjas.

Rodriguez (2018) ejecutó la investigación “Propuesta de diseño del sistema de saneamiento básico en el caserío de Huayabas – Parcoy – Pataz – La Libertad, 2017”. Cuyo objetivo general fue: realizar una propuesta de diseño del sistema de saneamiento básico en el Caserío de Huayabas, Distrito de Parcoy, Provincia de Pataz, Departamento de La Libertad. Obteniendo los siguientes resultados: El sistema de saneamiento Básico propuesto cuenta con tratamiento biológico mediante un biodigestor el cual tiene una eficiencia de remoción de: 88 % de remoción para la demanda química de oxígeno (DQO), 94 % de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). En cuanto a los resultados en el efluente se obtuvieron: 8.5 (UpH) para el pH; 190 (mg/L) para DQO; 80 (mg/L) para DBO₅. Llegando a la conclusión: Se plantea un sistema de tratamiento anaerobio mediante un biodigestor de 600 litros, debido a que la composición del agua residual doméstica es casi por completo orgánica, la cual demanda biodegradación. El sistema de tratamiento se plantea con base a un periodo de diseño de 10 años.

Valdez (2016) en su tesis “Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito”, tuvo como objetivo general: comparar y evaluar el efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento en

la localidad de Chucuito. Donde concluye lo siguiente: los microorganismos eficaces (EM), tienen efecto sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, después del tratamiento (3 meses) se obtuvo una disminución significativa de pH, de 6.3 - 4.28, la que resulto del producto de la intensa fermentación. De la misma forma se tuvo incidencia en cuanto a los sólidos totales en suspensión, a medida que aumento el tiempo y la carga de aplicación, la concentración disminuyo de 535.35 mg/L a 357.48 mg/L debido al aumento de actividad de los Microorganismos Eficaces; Dichos resultados se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles del D.S N° 003 – 2010 – MINAM, referido a efluente de PTAR, con lo cual la aplicación de la carga de materia orgánica en diferentes concentraciones a las aguas residuales de la Localidad de Chucuito no fue lo esperado. En cuanto a los parámetros químicos, se obtuvo una disminución en cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno, de 147.07 mg/L. 117.33 mg/L esto debido a que se aumentó la carga orgánica y TRH y en cuanto al parámetro de demanda química de oxígeno al igual que el anterior parámetro se tuvo disminución de la misma, 367.67 mg/L a 293. 33 mg/L; finalmente los aceites y grasas se tuvo una disminución considerable, se obtuvo en todos los tratamientos ausencia de película visible, lo que indica que después del tratamiento se removió la presencia de aceites y grasas; los resultados descritos se encuentran por encima a los Límites Máximos Permisibles del Decreto Supremo N° 003 – 2010 MINAM referido a efluentes de PTAR. La acidez tiene una importancia crucial en cuanto al combate de microorganismos patogénicos el Escherichia coli se desarrolla óptimamente con pH entre 6 y 7, y su mínimo es 4.4; los resultados obtenidos del presente estudio así lo demuestran; en el tratamiento el desarrollo de los coliformes termotolerantes fecales se vio favorecido por un pH ideal de 6.3. Además del pH, posiblemente otros factores de las condiciones generadas intervinieron en el desarrollo de los coliformes y otros patógenos. Concluyendo que no se tuvo el efecto esperado, es decir el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles estipulados en el D.S N° 003 – 2010 – MINAM referido a efluentes de PTAR.

Mejía (2016) ejecutó la investigación “Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la Subestación Eléctrica Cotaruse - Apurímac”. Cuyo objetivo general es: medir la eficiencia de un biodigestor prefabricado en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la subestación eléctrica Cotaruse en el departamento de Apurímac y verificar el cumplimiento de las aguas tratadas con las normas legales vigentes. Obteniendo los siguientes resultados del afluente y efluente respectivamente se obtuvieron: 13.60 – 13.8 (°C) para la temperatura; 61.4 – 21.5 (mg/L) para los STS; 7.24 – 7.31 (UpH) para el pH; 256.8 – 310.90 (mg/L) para DQO; 204 – 113 (mg/L) para DBO₅, 4.1 – 7.8 (mg/L) para aceites y grasas; 330000 – 230000 (NMP/100 ml) para los coliformes termotolerantes (CTT). Llegando a la conclusión de que el biodigestor prefabricado fue instalado en Apurímac a 4103 m.s.n.m, donde las aguas residuales tratadas por el biodigestor no cumplen con el D.S 003 – 2010 – MINAM superando los límites máximos permisibles para efluentes en los siguientes parámetros DQO, DBO₅, CTT, por tal motivo no deben ser vertidos en los suelos y cuerpos de aguas como ríos, lagos o mar.

Mancha (2015) ejecuto la tesis “Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor autolimpiable en el Centro Poblado de Sanquira – Yunguyo - puno”. Indica que los biodigestores autolimpiables, en el centro poblado de Sanquira – Yunguyo – Puno, no son del todo eficientes en cuanto a la remoción de las aguas residuales, como se indica en el manual de instalación del biodigestor de una marca conocida, más que todo en las zonas alto andinas donde la temperatura es baja, con una temperatura promedio entre la mínima de 3°C y la máxima de 18°C, pero en la actualidad las diferentes entidades están proponiendo este tipo de proyectos. La DBO₅ tiene una concentración del efluente de 295.10 mg/L que es superior a 100 mg/L de los LMP (D. S 003-2010 - MINAM). La DQO en el efluente es de 602.20 mg/L que mucho mayor que MINAM establece como límite máximo permisible sea de 200 mg/L, los coliformes termotolerantes también excedieron los LMP. Otros parámetros si cumplen los límites máximos permisibles, tales como aceites y grasas (LMP 20 mg/l, analizados 4.57 mg/l), pH (LMP 6.5 - 8.5 und, analizados 7.53 und), sólidos suspendidos totales (LMP 150

mg/l, analizados 78.1 mg/l). Los resultados obtenidos conforme a la eficiencia de remoción del sistema son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 28.24%, demanda química de oxígeno (DQO) 26.44%, aceite y grasas 62.03%, sólidos totales en suspensión (SST) 57.16%, coliformes termotolerantes 33.60%. Se realizó el análisis comparativo de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles (LMP). Llegando a la conclusión de que los valores en el efluente no cumplen con los LMP para ser descargados a cuerpos receptores.

Santos (2015) en su tesis denominada “Evaluación de biodigestor de polietileno Rotoplas en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba - Espinar”, indica que el objetivo fue evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en biodigestores, en su fase primaria, y la influencia de los parámetros físico, químicos y biológicos. Obteniendo como resultado que el sistema está trabajando con una eficiencia de remoción alta para la fase primaria. Por otro lado, las eficiencias del tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados son: DBO₅ (71%), DQO (69%), Sólidos totales en suspensión (76%). Se determinó también la eficiencia de remoción de Coliformes termotolerantes (39%). Al comparar los valores determinados en el efluente con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 003 – 2009 – MINAM, se concluyó que el nivel de contaminación de la zona en estudio es alto ya que los contaminantes potenciales superan los límites máximos permisibles, es decir afecta al agua de riego de vegetales y bebidas de animales, y la contaminación el agua subterránea.

Antecedentes locales

Castro (2017) desarrolló la investigación “Evaluación de la remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica”. Tuvo como objetivo general: evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del camal Municipal de Huancavelica, obteniendo para un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 14

horas y con un caudal de circulación de 35 ml/min, eficiencias de remoción de: 48.86 % de remoción para la demanda química de oxígeno (DQO). En cuanto a los resultados del afluente y efluente respectivamente se obtuvo: 14.7 – 14.8 (°C) para la temperatura; 709.49 – 623.76 (mg/L) para los STS; 7.38 – 7.61 (UpH) para el pH; 948 – 517 (mg/L) para DQO; 33.32 – 27.64 (mg/L) para aceites y grasas. Llegando a la conclusión de que al no realizar la limpieza de las antas de aceites y grasas derivadas de los detergentes se tendría una inadecuada eficiencia del reactor además que la eficiencia de remoción de DQO en el reactor UASB es mejor a medida que se aumenta en tiempo de retención hidráulico.

Ramos (2016) ejecutó la investigación “Uso del biodigestor en el sistema de saneamiento básico por arrastre hidráulico del C.P. de Pampacancha, distrito de Lircay”, tuvo como objetivo general: demostrar que el uso de biodigestor mejora el sistema de saneamiento básico de arrastre hidráulico del C.P. de Pampacancha, Distrito de Lircay, presentó los siguientes resultados: 49.30 % de remoción para los sólidos totales en suspensión (STS), 46.92 % de remoción para la demanda química de oxígeno (DQO), 66.44 % de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); 24.51 % de remoción de aceites y grasas. En cuanto a los resultados en el afluente y efluente respectivamente se obtuvieron 142 – 72.05 (mg/L) para STS; 471 – 250 (mg/l) para DQO; 444 - 149 (mg/L) para DBO₅; 10.20 – 7.70 (mg/L) para aceites y grasas y 2.40E+04 (NMP/100 mL) de CTT- Llegando a concluir que el uso del biodigestor ha mejorado el sistema de Saneamiento Básico con arrastre hidráulico en el Centro Poblado de Pampacancha, distrito de Lircay, con temperatura ambiental de 15 °C. Obteniendo mayores beneficios ya que el sistema tiene un tiempo de uso 20 años, buena calidad de efluente, estabilidad del proceso, no genera olores y de fácil mantenimiento.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Teoría del miasma

La teoría de la miasma surgió en el siglo XIX, formulado por Thomas Sydenham (1624-1689) y Giovanni María Lancisi (1654-1720) y su vigencia podría explicarse por el nivel general de insalubridad de las nuevas ciudades en crecimiento y por la proliferación de olores nauseabundos por la ausencia de alcantarilla. Podría resumirse con la conocida frase "todo hedor es enfermedad", y siendo así, a partir de la teoría miasmática emergió la ingeniería sanitaria. En su versión más simple y auténtica, los miasmas eran emanaciones pútridas y vapores o gases cloacales liberados por la materia orgánica en descomposición y se devolvían desde las cañerías hasta las casas considerando que tales gases eran venenosos y fueron considerados que cualquier mal olor es sinónimo de enfermedad a no ser que se instalaran filtros cloacales y sustancias germicidas en los baños (Volcy, 2007).

2.2.2. Teoría enzimática del tratamiento de aguas residuales

La teoría enzimática para la remoción de materia orgánica fue sustentada a través del trabajo de Weston y Eckenfelder (1955), ellos propusieron un fenómeno en el cual la formación de un complejo enzimático fue postulada como el responsable de la rápida remoción de la materia orgánica del agua residual, más tarde se incorporó el mecanismo de permeabilidad para fijar materia orgánica dentro de microorganismos; McCarty (1967) estableció que la remoción de materia orgánica debía ser por el metabolismo microbiano y que el almacenamiento puede observarse en el crecimiento microbiano cuando existe deficiencia de nutrientes (Ramirez, 2004).

2.2.3. Eficiencia

La eficiencia consiste en la relación existente entre el trabajo desarrollado, el tiempo invertido, la inversión realizada en hacer algo y el resultado logrado (Mokate, 2002).

La eficiencia “interna”, es cuando el objetivo o el logro a que se refiere es “interno” al servicio que se ofrece o a la iniciativa que se implementa. Por ejemplo, la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, es analizada con base en los procesos que ocurren dentro del sistema, ya sean procesos químicos o biológicos (Mokate, 2002).

Para determinar la eficiencia de una intervención concreta, es necesario contar con algún tipo de valores de referencia que permitan establecer una comparación significativa. Esos valores de referencia se establecen sobre la base de la experiencia acumulada en intervenciones similares o atendiendo a criterios específicos que cada institución considere razonables, conformados por los antecedentes o normas legales (Viñas *et al.*, 2017).

2.3 Bases conceptuales

2.3.1. Saneamiento

El saneamiento implica el acceso y la utilización de servicios e instalaciones para la eliminación de excretas y aguas residuales que aseguren la privacidad y la dignidad, y que garanticen un ambiente limpio y saludable para todos (COHRE, WaterAid, COSUDE, y UN-HABITAT, 2008).

- ✓ Servicios e instalaciones: debe incluir: recolección, transporte, tratamiento y eliminación de excretas humanas, aguas residuales domésticas y desechos sólidos, y la promoción de la higiene (COHRE *et al.*, 2008).

2.3.2. Agua residual

Las aguas residuales son los desechos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial, que llevan disueltas o en suspensión una serie de materias orgánicas e inorgánicas; provenientes de la descarga de

sumideros, fregaderos, inodoros, cocina, lavanderías (detergentes), residuos de origen industrial como aceites, grasas, curtiembres, etc. (Espigares y Pérez, 1985).

2.3.3. Tipos de agua residual

El origen de las aguas residuales es un factor determinante en las características (composición y concentración) de cada agua residual, en general podemos distinguir tres tipos:

a) Aguas residuales domésticos

Se originan en áreas principalmente residenciales y comerciales, son las aguas residuales de los centros urbanos. Las aguas residuales cambian de un lugar a otro en función de las condiciones socioeconómicas de la población, el clima y otros factores típicos de cada localidad (E. Valdez y Vásquez, 2003).

Las aguas residuales domesticas se clasifican en:

- ✓ Aguas Negras: Se llaman aguas negras a aquel tipo de agua que se encuentra contaminada con sustancia fecal y orina, que justamente proceden de los desechos orgánicos tanto de animales como de los humanos. La denominación de aguas negras tiene sentido porque justamente la coloración que presentan las mismas es negra. A las aguas negras también se les llama aguas servidas, aguas residuales, aguas fecales, o aguas cloacales (Espigares y Pérez, 1985).

- ✓ Aguas Grises: Las aguas grises son generadas por procesos domésticos como el lavado de ropa, vajilla y el baño de las personas. Las aguas grises son distintas a las aguas negras, contaminadas con desechos del inodoro. Se diferencian de las aguas negras por estas no contienen bacterias fecales de excremento del inodoro, como *Escherichia coli* (Espigares y

Pérez, 1985).

b) Aguas residuales industriales

Son aguas desechadas de los procesos y operaciones de transformación. Su composición varía con los diferentes tipos de industrias. La variabilidad en las características de los desechos industriales es inmensa y corresponde con la multiplicidad de procesos y productos que se elaboran en las diferentes industrias (E. Valdez y Vásquez, 2003).

c) Aguas residuales agro industriales

Se producen en explotaciones pecuarias y procesos de cosecha de cultivos. Aportan cantidades apreciables de materia orgánica biodegradable, materia en suspensión, nitrógeno, fósforo; el estiércol de animales y algunas industrias de alimentos contribuyen con cantidades apreciables de nitrógeno y fósforo (E. Valdez y Vásquez, 2003).

2.3.4. Características importantes de las aguas residuales

De la misma manera que en las aguas naturales, se miden las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales para establecer principalmente las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resultaran más eficaces y económicos (E. Valdez y Vásquez, 2003).

a) Características físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la

temperatura, la densidad, el color y la turbiedad (Metcalf y Eddy, 1998).

✓ Sólidos totales

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuos después de someter al agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 °C. No se define como solida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor (Metcalf y Eddy, 1998).

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica, en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de m/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión), haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio (Metcalf y Eddy, 1998).

La fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0.001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Normalmente para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación (Metcalf y Eddy, 1998).

Sólidos totales en suspensión corresponden aquellos que flotan en el agua. Incluyen partículas de gran tamaño tales como los sólidos fecales, papeles, maderas, restos de comida, basura y materiales similares. La mayoría de los sólidos en suspensión son orgánicos y son los que dan lugar al aumento de turbidez en las aguas receptoras. Pueden ser eliminados por métodos físicos o mecánicos, tales como dejando que se depositen o filtrándolos. Se pueden dividir a su vez en sedimentables y no sedimentables. Se considera que los sólidos en suspensión son los que tienen partículas superiores a un micrómetro las cuales caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio (Barrenechea, 1978).

✓ Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor particular, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de los microorganismos anaeróbicos. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento (Metcalf y Eddy, 1998).

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales (Metcalf y Eddy, 1998).

- Efectos de los olores:

A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que por el daño que puedan producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos, y crear perturbaciones mentales. En condiciones extremas, los olores desagradables pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones humanas, desanimar las inversiones del capital, hacer descender el nivel socioeconómico y reducir el crecimiento. Estos problemas pueden dar lugar al descenso de las rentas y mercado de propiedades, los ingresos por impuestos, y las ventas (Metcalf y Eddy, 1998).

- Detección de olores:

Los compuestos malolientes responsables de la tensión psicológica que se produce en los seres humanos se detectan a través del sentido del olfato, pero aun hoy en día se desconoce exactamente el mecanismo involucrado en dicha detección (Metcalf y Eddy, 1998).

- ✓ Temperatura

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final. En general, las aguas residuales son más cálidas que las de abastecimiento y, en aguas de enfriamiento. La temperatura afecta y altera la vida acuática, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. La tasa de sedimentación

de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías, por el cambio en la viscosidad del agua. En general los tiempos de retención para tratamientos biológicos disminuyen a mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella. Como el calor específico del agua es mayor que el del aire, la temperatura del agua residual es mayor que la temperatura ambiente en periodos fríos y menor que la temperatura ambiental en periodos cálidos, además que cuando incrementa la temperatura, el pH disminuye, y al descender la temperatura aumenta el pH, debido a que cuando aumenta la temperatura las moléculas tienden a separarse en sus elementos: hidrógeno y oxígeno (Romero, 2013).

✓ Color

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término de condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado a este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas (Metcalf y Eddy, 1998).

✓ Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas

naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión, la medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencias en las mismas condiciones. La materia coloidal dispersa absorbe la luz, impidiendo su transmisión (Metcalf y Eddy, 1998).

b) Características químicas

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en los siguiente cuatro apartados: (a) la materia orgánica; (b) la medición del contenido orgánico; (c) la materia inorgánica y (d) los gases presentes en el agua residual. El hecho de que a medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad de agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas (Metcalf y Eddy, 1998).

✓ Materia orgánica

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno (Metcalf y Eddy, 1998).

Medida del contenido orgánico:

En general los diferentes métodos pueden clasificarse en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores de 1 mg/l. el primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: (1) demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5); (2) demanda química de oxígeno

(DQO); y (3) carbono orgánico total (COT) (Metcalf y Eddy, 1998).

1) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO_5 a los 5 días (DBO_5). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consume los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO_5 se emplea para: determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales; y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (Metcalf y Eddy, 1998).

2) Demanda química de oxígeno (DQO)

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El ensayo de la DQO también se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales como municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO_5 , siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química

frente a los que se oxidan por vía biológica (Metcalf y Eddy, 1998).

✓ Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto (Metcalf y Eddy, 1998).

• Potencial de hidrógeno (pH)

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales, depende de la temperatura. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (Metcalf y Eddy, 1998).

c) Características biológicas

El ingeniero ambiental debe tener un conocimiento exhaustivo de las características biológicas de las aguas residuales. Debe estar familiarizado con los siguientes temas: (1) principales grupos de microorganismo biológicos presentes, tanto en aguas superficiales

como residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; (2) organismos patógenos presentes en las aguas residuales; (3) organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; (4) métodos empleados para determinar los organismos indicadores; y (5) métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas. Todos estos temas son objeto de estudio en el presente apartado (Metcalf y Eddy, 1998).

✓ Organismos patógenos:

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son, las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarrea y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios (Metcalf y Eddy, 1998).

• Uso de organismos indicadores:

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar (Metcalf y Eddy, 1998).

- Coliformes termotolerantes (CTT)

Se emplea el organismo coliforme como organismo indicador de contaminación humana, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El tracto intestinal humano contiene innumerables bacterias con forma de bastoncillos, conocidas como organismos coliformes. Aparte de otras clases de bacterias, cada ser humano evacua de 100.000 a 400.000 millones de organismos coliformes cada día. Por ello, se considera que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquéllos es un indicador de que las aguas están libres de organismos que puedan causar enfermedades. Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El uso de coliformes como organismos indicadores es problemático debido a que la *Aerobacter* y ciertas clases de *Escherichia* pueden crecer en el suelo. Por lo tanto, la presencia de coliformes no siempre es sinónima de contaminación con residuos humanos. No obstante, aunque parece ser que las *Escherichia coli* si son de origen exclusivamente fecal, la dificultad de determinar la *E. coli* sin incluir los coliformes del suelo hace que se use todo el grupo de los coliformes como indicador de la contaminación fecal (Romero, 2013).

2.3.5. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es la degradación biológica de sustancias orgánicas en ausencia de oxígeno libre (fermentación microbiana). Estas reacciones liberan energía y una parte importante de las materias orgánicas se transforman en metano, dióxido de carbono y agua. El producto principal obtenido de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano, los microorganismos trabajan en serie o grupo para degradar la

materia orgánica a través de etapas sucesivas, cada una desencadenando la siguiente (Metcalf y Eddy, 1998).

2.3.5.1. Elementos en la digestión

Las bacterias, en la realización de estos procesos, se ven condicionadas por algunos factores físicos y químicos, que posibilitan su adecuado desarrollo, estos factores son: cargas de materia orgánica, ácidos grasos volátiles, temperatura, alcalinidad, nutrientes y presencia de nitrógeno (N) y fósforo (P), entre otros. La presencia de materia orgánica y la temperatura son fundamentales para el metabolismo de las bacterias, este último aspecto es un factor condicionante en las interacciones biológicas y de supervivencia que desarrollan las bacterias. En la figura 1, se muestra los diferentes rangos de temperatura y algunos microorganismos anaerobios facultativos y anaerobios estrictos que hacen parte en cada uno de éstos (Corrales, Antolinez, Bohórquez, y Corredor, 2015).

Rango de temperatura en °C	Tipo de microorganismo	Microorganismos encontrados
10-15	Psicrófilos	<i>Bacillus spp</i>
20-30	Psicrótrofos	<i>Clostridium spp</i>
30-37	Mesófilos	<i>Clostridium spp</i> <i>Methanococcus spp</i> <i>Methanobacterium spp</i>
42-46	Termótrofos	<i>Methanococcus spp</i> <i>Methanobacterium spp</i>
50-80	Termófilos	<i>Clostridium spp</i> <i>Lactobacillus spp</i> <i>Thermus spp</i> <i>Thermococcus spp</i>

Figura 1. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura.

Fuente: Corrales *et al.*, (2015).

Por otro lado, el pH influye en el crecimiento bacteriano, casi todas las bacterias muestran un crecimiento óptimo en un intervalo de pH de 6.5 – 7.5, en la figura 2, se muestran las escalas de pH y algunos microorganismos anaerobios asociados a estos (Corrales *et al.*, 2015).

pH	Tipo de microorganismo	Microorganismos encontrados
1.1 - 5.5	Acidófilos	<i>Lactobacillus spp</i> <i>Bifidobacterium bifidum</i>
5.5 - 8.0	Neutrófilos	<i>Clostridium perfringes</i> <i>Methanococcus sp</i> <i>Methanobacterium sp</i> <i>Propionibacterium acidipropionici</i>
8.5 - 11.5	Alcalonófilos	<i>Clostridium botulinum</i> <i>Clostridium sporongenes</i> <i>Clostridium tetani</i> <i>Fusobacterium spp</i> <i>Micrococcus spp</i>

Figura 2. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de pH.

Fuente: Corrales *et al.*, (2015).

2.3.5.2. Fases en la digestión

En la digestión anaeróbica tiene lugar diversas fermentaciones sucesivas, que se producen por un cultivo mixto de microorganismos. Estas fermentaciones pueden simplificarse dividiendo la digestión en tres fases:

- a) Hidrólisis: es la descomposición biológica de moléculas de mayor peso molecular en moléculas más pequeñas, este proceso se lleva a cabo por medio de enzimas denominadas hidrolasas, que son capaces de solubilizar la materia orgánica y romper enlaces específicos con ayuda de agua para poder ser utilizadas. En este proceso participan principalmente *Clostridium* y *Bacteroides*.

En esta etapa, los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos, y en la fermentación como paso siguiente a la hidrólisis el material orgánico soluble es transformado en acetato, ácidos grasos, entre los principales productos de la fermentación de carbohidratos se encuentran los ácidos grasos volátiles, siendo *Clostridium* el microorganismo que se encuentra principalmente realizando este proceso.

b) Acidogénesis: en esta fase, unas bacterias facultativas transforman los compuestos producidos en la primera fase que fueron los ácidos grasos volátiles en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. En donde las bacterias son inhibidas por pocas cantidades de oxígeno (O₂) (Metcalf y Eddy, 1998).

c) Metanogénesis: La metanogénesis es la etapa final de la digestión anaerobia. Donde unas bacterias anaeróbicas, estrictas, metanógenas, transforman los compuestos producidos en la acidogénesis en productos finales más simples, principalmente en metano y dióxido de carbono (Metcalf y Eddy, 1998).

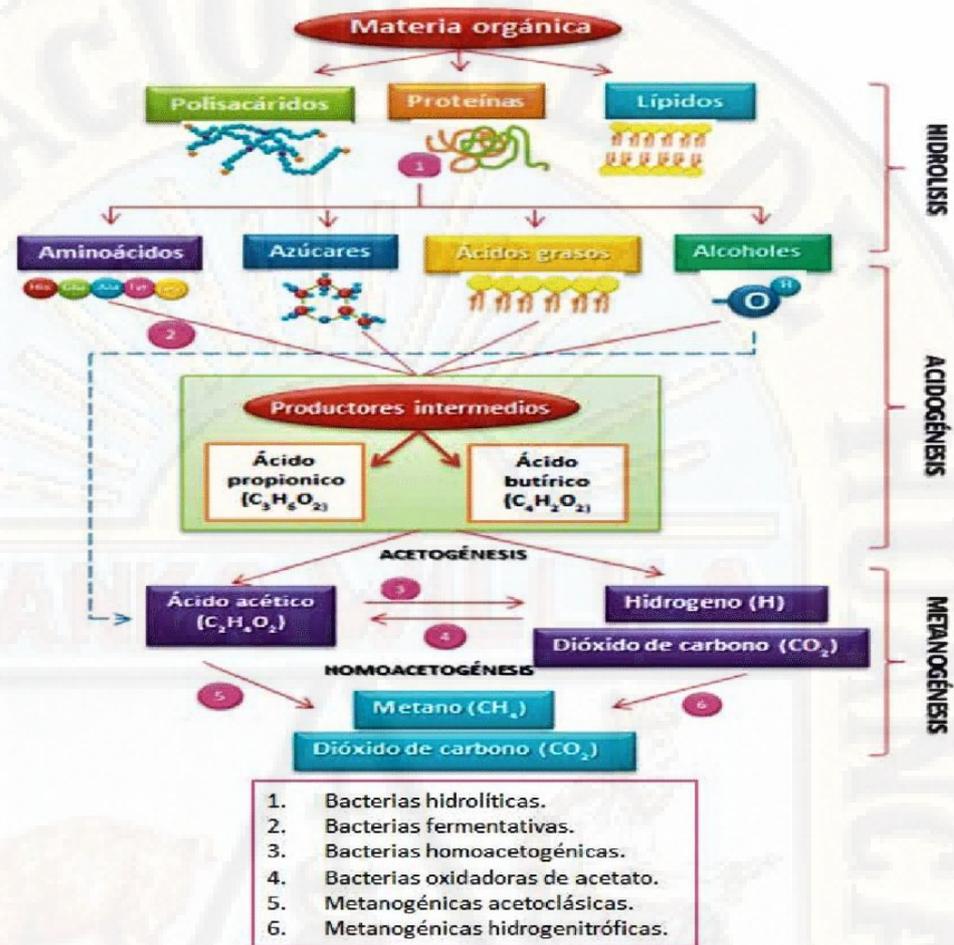


Figura 3. Proceso de la digestión anaerobia.

Fuente: Corrales *et al.*, (2015).

2.3.6. Biodigestor

Un biodigestor es un contenedor hermético, de tratamiento primario de aguas residuales, que permite la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas y facilita la extracción del gas resultante para su uso como energía. El biodigestor cuenta con una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas (biogás), y una salida para el material ya procesado (bioabono). Otros nombres: Digestor anaeróbico, reactor anaeróbico, reactor biológico (Guerrero, 2018).

Los biodigestores fueron considerados, principalmente, como una manera de producir gas combustible a partir de desechos orgánicos. Sin embargo, al ser integrados a un sistema de agricultura ecológica los biodigestores pueden brindar muchos otros beneficios, en articular el reciclado de nutrientes para la obtención de fertilizantes de alta calidad. Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar, (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, no se incluyen cítricos ya que acidifican, etc.), en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos (González y Jurado, 2017).

El fenómeno de indigestible ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4) llamada biogás, que es utilizado como combustible. Como resultado de este proceso se generan residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica, (ideales como fertilizantes), que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas (González y Jurado, 2017).

Una de las características más importantes de la biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la Demanda Química de Oxígeno DQO y la Demanda Biológica de Oxígeno DBO_5 hasta en un 90% (dependiendo de las condiciones de diseño y operación). Se deben controlar ciertas condiciones, como son: el pH, la presión y temperatura a fin de que se pueda obtener un óptimo rendimiento (Guerrero, 2018).

2.3.7. Tipos de biodigestores

De acuerdo a la frecuencia de cargado, los sistemas de biodigestión se pueden clasificar en:

2.3.7.1. Sistema batch o discontinuo

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás (Garzón, 2011).

2.3.7.2. Sistema semi continuos

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino. Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. El gasómetro está integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se almacena el gas (Garzón, 2011).

- ✓ Biodigestor Tipo Hindú O De Campana Flotante
- ✓ Biodigestor Tipo Chino o de campana Fija
- ✓ Biodigestor Horizontales O De Flujo Pistón
- ✓ Biodigestor De Tipo Tubular
- ✓ Biodigestor autolimpiable Rotoplas

2.3.7.3. Sistemas continuos

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy

grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto, este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se genera una gran cantidad de biogás el que a su vez se aprovecha en aplicaciones industriales (Garzón, 2011).

2.3.8. Eficacia

Es el grado en que se alcanzan los objetivos del proyecto en un período determinado, independientemente del trabajo desarrollado, el tiempo invertido, la inversión realizada en hacer algo y solo se fija en los resultados logrados (Viñas, Lewis, y Paulette, 2017).

La eficacia se usa para expresar el logro concreto o las acciones conducentes a ese logro concreto, de los fines y objetivos deseados, se aplica a las cosas o acciones que pueden producir el efecto o prestar el servicio a que están destinadas, algo es eficaz si logra o hace lo que debía hacer, corresponde al cumplimiento de metas y objetivos o a la satisfacción de la necesidad que motivó el diseño y desarrollo de la iniciativa. Por tanto, una iniciativa resulta eficaz si cumple los objetivos esperados en el tiempo previsto y con la calidad esperada sin importar los costos y el uso de recurso invertidos (Mokate, 2002).

El análisis de la eficacia puede considerarse como una indagación que pretende valorar de manera global, las posibilidades de consecución de los objetivos del proyecto, para ello será necesario comprobar si los resultados obtenidos conducen al logro de los objetivos. La determinación de la eficacia se realizará una vez obtenidos los resultados planteados en los objetivos propuestos (Viñas *et al.*, 2017).

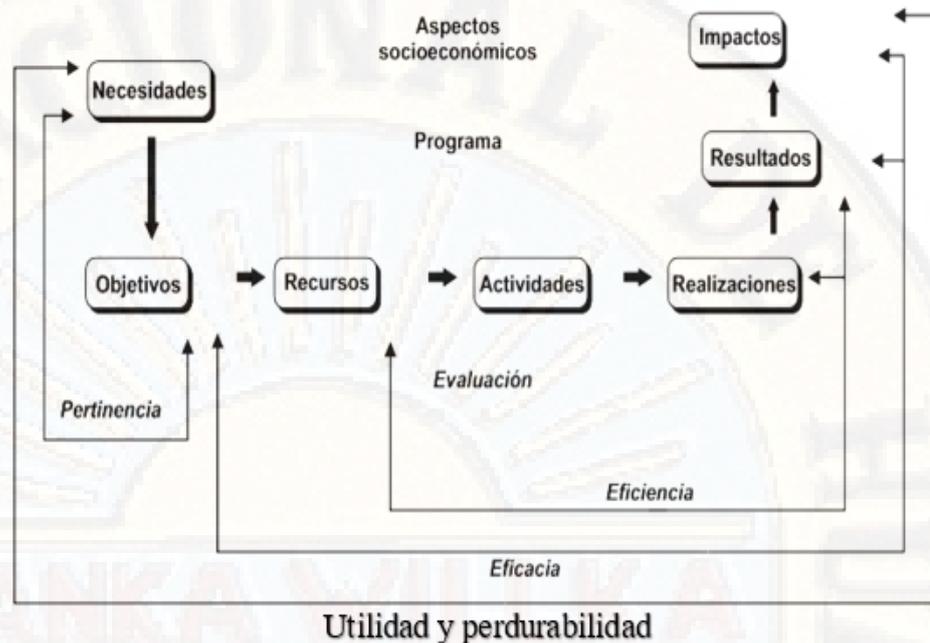


Figura 4. Criterios principales que se pueden considerar en una evaluación.

Fuente: Viñas *et al.* (2017).

Eficiencia y eficacia

Se basa en analizar la eficacia con relación al objetivo máximo (u objetivo general) de la iniciativa, mientras la eficiencia juzga con respecto a los objetivos operativos (u objetivos intermedios) de la misma iniciativa (Mokate, 2002).

2.3.9. Eficiencia interna del tratamiento de agua residual

El grado de eficiencia interna del tratamiento de aguas residuales se define como: la reducción porcentual de indicadores apropiados, de determinadas sustancias; la determinación de la reducción porcentual se establece para el indicador específico, como la relación entre la concentración que fluye a la entrada del sistema y la correspondiente concentración en el flujo de salida (Ortiz, 2014).

La eficiencia se calcula como sigue:

$$E (\%) = \left(\frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

E (%): Eficiencia de remoción de uno de sus componentes.

Afluente: Carga contaminante de entrada.

Efluente Carga contaminante de salida.

2.3.10. Sistema de saneamiento básico

Los sistemas de saneamiento están compuestos por todos los dispositivos técnicos necesarios para tratar las aguas residuales (comunal, de la agricultura e industrial) a través de procesos de recolección y tratamiento, haciendo segura su reutilización. Se puede lograr un manejo sostenible de los recursos, cuando al combinarse las diferentes unidades funcionales en un sistema de saneamiento, se logra una adecuada adaptación entre estas unidades, como también a los aspectos socio-culturales del contexto geográfico de una localidad determinada (Rodríguez, 2018).

2.3.11. Unidades básicas de saneamiento

a) Sistema sin arrastre hidráulico

Corresponde a la opción técnica que no requiere del uso de agua para el arrastre de las excretas.

- Unidad básica de saneamiento compostera o doble cámara (UBS - COM)

Denominada como baño ecológico, en la mayoría de países de América Latina, está formada por una taza y dos cámaras. La taza tiene un diseño especial que separa la orina de las heces, para minimizar el contenido de humedad y facilitar el deshidratado de las heces. La orina es recolectada aparte. El baño está en altura, con

un acceso a través de una pequeña escalera, debajo están las dos cámaras, donde una está sellada temporalmente, y el otro conectado con un inodoro ecológico. Las dos cámaras son impermeables e independientes. Cada cámara tiene volumen de 1 m³ aproximadamente. Ahí se depositarán solo las heces, utilizando una cámara o depósito de metal o plástico, a la vez. Para el uso cotidiano, se adiciona cal, cenizas o tierra, que facilita el secado y minimiza los olores ofensivos. Cuando la primera cámara se llena a dos tercios de su capacidad, se completa con tierra, y se pasa a utilizar la segunda cámara. Luego de 6 meses a un año, tiempo requerido para su estabilización se vacía el contenido de la primera cámara. Esta solución es recomendada en zonas donde el nivel freático no esté muy cerca de la superficie y exista un riesgo de contaminar el agua subterránea. El baño ecológico también cuenta con ducha, lavadero de concreto y pozo de percolación (Conza, Arobes, Salinas, Quispe, y Jave, 2017).

b) Sistema con arrastre hidráulico

Corresponde a la opción técnica que requiere el uso de agua para el arrastre de las excretas.

- Unidad básica de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH)

Estos sistemas se adaptan en toda zona donde el agua subterránea no esté con el nivel freático a poca profundidad (mínimo de 9 metros). El sistema cuenta con un inodoro convencional, que a través de una tubería desemboca a un pozo percolador, ubicado a unos metros, también incluye una ducha y lavadero. Este tipo de soluciones, siempre tiene buena aceptación por su parecido con el baño convencional, y la caseta se podrá mantener siempre limpia, es anexa a la vivienda, sin temor a los olores ofensivos. El inodoro está conectado a un pozo de percolación y no recibe otros efluentes. Al disponer de 2 pozos

usados alternativamente, se facilita el mantenimiento. Existen variantes a esta solución, como la de colocar un pequeño biodigestor o un tanque séptico, contribuyendo a que la capacidad de absorción del terreno aumente. También se puede reemplazar los pozos de percolación por drenes de tuberías perforadas con material filtrante (zanjas de percolación), recomendado en zonas donde la capa freática no esté cerca de la superficie, evitando así la contaminación del agua subterránea (Conza *et al.*, 2017).

Componentes:

✓ Cuarto de baño:

Espacio que permite dar privacidad al usuario durante su uso y/o proteger al usuario contra la intemperie, el área interna deberá ser adecuada para la disposición de la ducha, lavatorio y aparato sanitario (Herrero, 2008).

✓ Tubería de ventilación:

Tubería que permite evacuar los gases que se producen en el sistema. Se instala con proyección hacia el exterior del techo (Herrero, 2008).

✓ Tuberías de evacuación:

Es una tubería que conecta el aparato sanitario con el tanque séptico o biodigestor y a este con el pozo de percolación.

La línea de evacuación de las aguas residuales deberá ser con tubería PVC de 4 pulgadas, con una pendiente que permita el arrastre de las aguas residuales por gravedad (Herrero, 2008).

✓ Caja distribuidora de caudal:

Es una caja rectangular que recibe la descarga de aguas residuales, aguas negras para la conducción hacia el pozo de percolación. También recibe la descarga de las aguas grises del lavadero, lavatorio y ducha. Asegurando la distribución uniforme del flujo (MVCS, 2012).

✓ Caja de registro:

Las cajas de registro sirven como recolectores de aguas residuales, negras y grises, dispositivo que permite la inspección de la tubería de desagüe y por la cual puede desatorarse la tubería si así fuese necesario lo que facilita su mantenimiento y limpieza, permitiendo la conexión con el biodigestor y el pozo de percolación (MVCS, 2018).

✓ Tanque séptico o biodigestor:

Fabricado en material prefabricado y diseñado bajo la norma IS.020 Tanque Séptico, permite el tratamiento primario de las aguas residuales para su posterior eliminación por infiltración en el suelo o su aprovechamiento (Franceys *et al.*, 1992).

✓ Caja de Lodos: Estructura que permite el acceso a la válvula para la purga de lodos tratados para posterior filtración en el suelo, puede ser de mampostería o de material termoplástico (MVCS, 2018).

✓ Pozo de percolación o de absorción:

Son excavaciones profundas usadas para disposición superficial de las aguas residuales pretratadas, las paredes del pozo se construyen en ladrillo, bloques, anillos o materiales prefabricados colocados a junta abierta, rodeados de grava o piedra triturada. El agua residual entra en el pozo y se infiltra a través de las paredes laterales. (Lara, 2006).

c) Sistemas complementarios de tratamiento y disposición

➤ Zona de infiltración

Se considera dos formas de eliminación adecuada de efluentes líquidos, las cuales se seleccionan en base a la permeabilidad del suelo, siendo estos pozo de percolación (PP) y zanjas de percolación (Conza *et al.*, 2017).

- ✓ Pozo de percolación (PP): Se selecciona cuando no se cuente con área suficiente para una Zanja de Percolación o cuando el suelo sea permeable dentro del primer metro de profundidad, existiendo estratos favorables de infiltración. el pozo de percolación está formado con paredes de mampostería con juntas laterales separadas, en donde el espacio entre muro y terreno natural se debe rellenar con grava de 2,5 cm y una losa de la tapa con concreto armado (Herrero, 2008).
- ✓ Zanja de Percolación (ZP): Sistema de depuración que consiste en un conjunto de líneas de tuberías de 10 cm de diámetro (4") tendidas de tal forma que el efluente se distribuya con una uniformidad razonable en el suelo natural.(Herrero, 2008).

2.3.12. Biodigestor Autolimpiables Rotoplas

El biodigestor es un equipo de tratamiento, autolimpiable, que no necesita instrumentos para la extracción de lodos sino solo abrir una válvula para extraerlos cada 18 a 24 meses. Las aguas residuales tratadas en el biodigestor van a zanjas de infiltración o pozos de absorción. Dentro del tanque se encuentran bacterias que empiezan la descomposición anaeróbica, luego asciende por un filtro donde la materia orgánica es atrapada por las bacterias fijadas a los aros plásticos del filtro (aros Pet) y luego el agua residual ya tratada sale por un tubo al pozo de absorción o pozo de percolación, para ser usado como mejorador de suelo (abono) (Rotoplas, 2018).

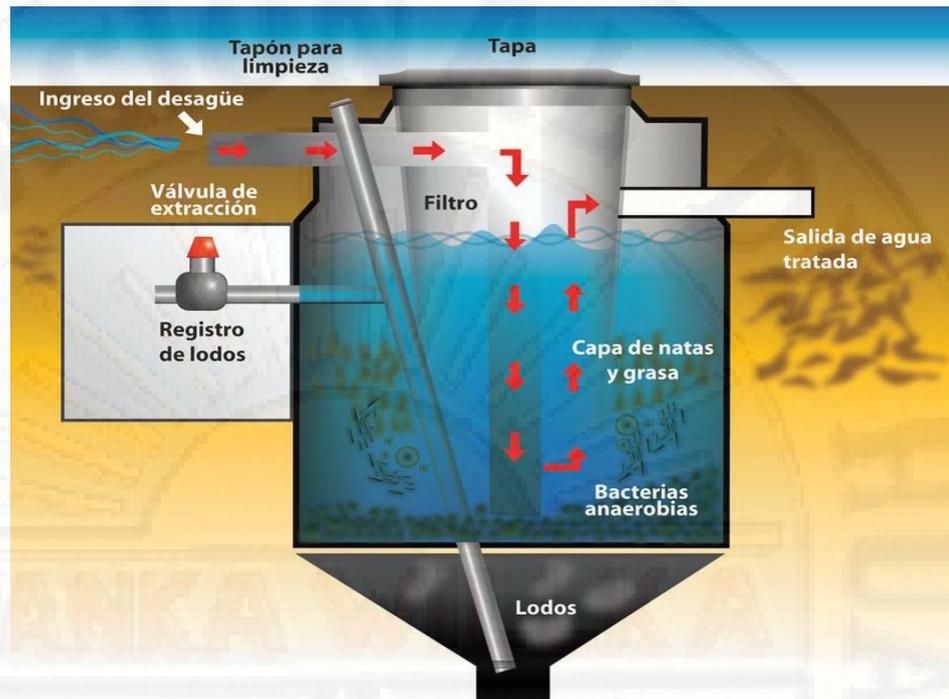


Figura 5. Partes del biodigestor autolimpiable Rotoplas.

Fuente: Rotoplas (2018).

A. Componentes del biodigestor autolimpiable Rotoplas:

- 1) Tubería PVC DE 4" para entrada de aguas negras.
- 2) Filtro biológico con aros de plástico (pets).
- 3) Tubería PVC de 2" para salidas de aguas tratadas al campo de infiltración o pozo de adsorción.
- 4) Válvula esférica para extracción de lodos tratados.
- 5) Tubería de 2" para evacuación de lodos.
- 6) Tapa clic de 18" para cierre hermético.
- 7) Base cónica para acumulación de lodos.
- 8) Tubería de PVC de 4" de acceso directo a sistema interno para limpieza y/o desobstrucción con la finalidad de facilitar el mantenimiento del sistema al usuario.

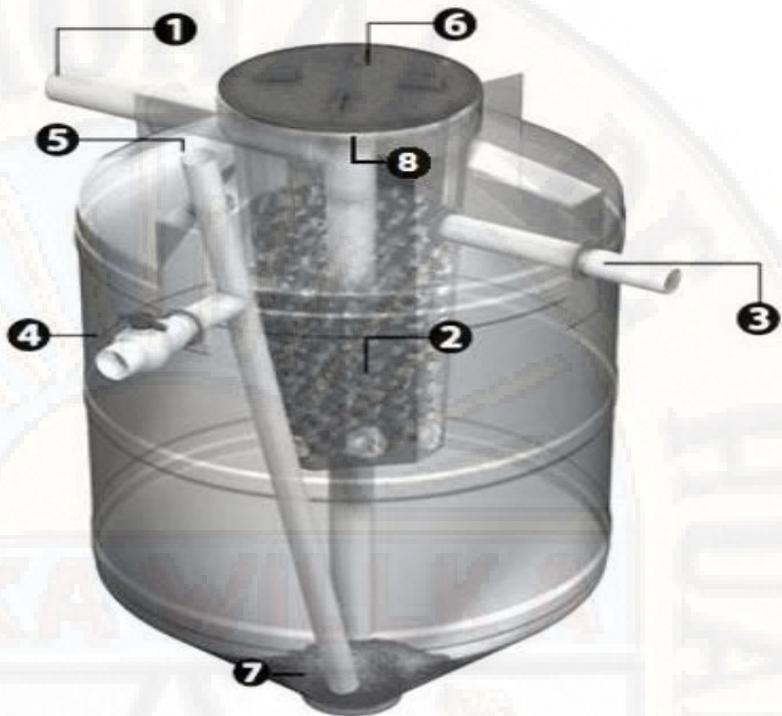


Figura 6. Componentes del biodigestor.

Fuente: Rotoplas (2018).

B. Tipos de biodigestor autolimpiables Rotoplas

Dependiendo de la cantidad de habitantes de la vivienda y del diseño de la instalación, se podrá decidir el tamaño del biodigestor a colocar, para viviendas unifamiliares se considerará 2 habitantes por dormitorio volcando aguas negras y grises al equipo. En los casos de dividir la instalación en dos sectores, un sector con aguas negras y otro con aguas grises se deberá utilizar la planilla de capacidades:

Tabla 1

Tipos de biodigestores según capacidad del contenedor

Capacidades	600 litros	1300 litros	3000 litros
Solo aguas negras	5 personas	10 personas	25 personas
Aguas negras y jabonosas	2 personas	5 personas	12 personas
Oficinas	20 personas	50 personas	100 personas

Fuente: Rotoplas (2017).

Tabla 2

Dimensiones y características del biodigestor autolimpiable

Características de equipos			
Lados	BDR 600	BDR 1300	DBR 3000
A	90 cm	120 cm	200 cm
B	165 cm	197 cm	215 cm
C	25 cm	25 cm	25 cm
D	35 cm	35 cm	40 cm
E	48 cm	48 cm	62 cm
F	32 cm	45 cm	73 cm
CAUDAL	600 lts	1300 lts	3000 lts

Fuente: Rotoplas (2017).

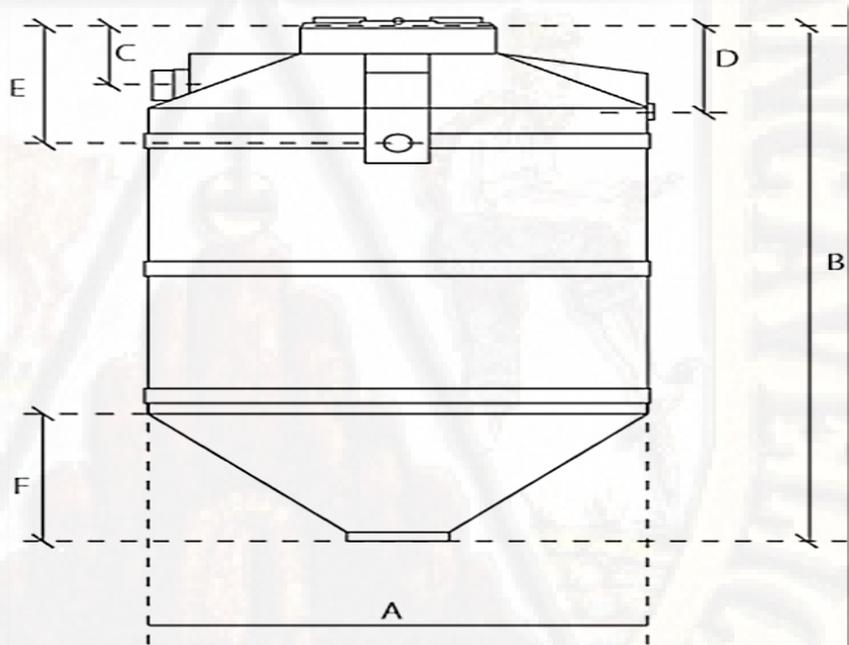


Figura 7. Dimensiones del biodigestor autolimpiable.

Fuente: Rotoplas (2017).

C. Funcionamiento

El sistema de tratamiento de efluentes cloacales es una solución integral para la depuración de aguas residuales domésticas, la depuración se realiza en tres etapas sucesivas:

- Primera Etapa: Biodigestor, retiene y digiere el material orgánico, los sólidos. El Biodigestor es un tanque hermético que funciona siempre lleno, por rebalse, a medida que entra agua residual desde la casa, una cantidad igual sale por el otro extremo (Rotoplas, 2017).

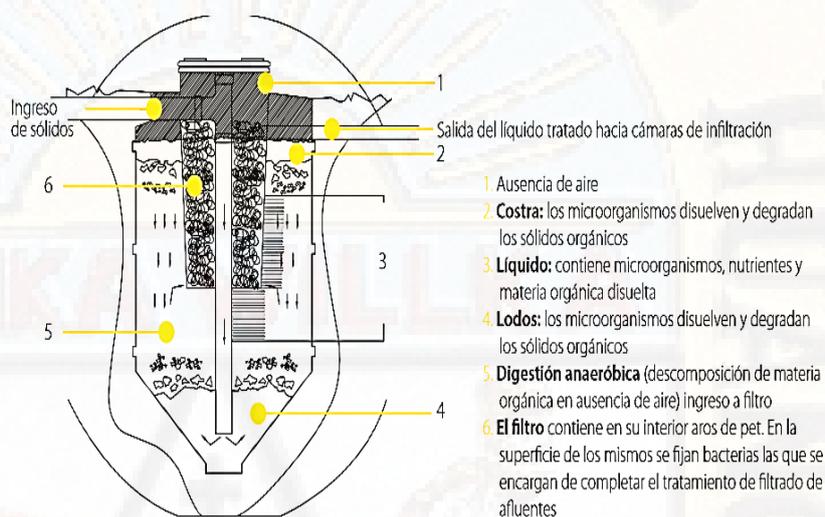


Figura 8. Primera etapa del biodigestor autolimpiable.

Fuente: Rotoplas, 2017).

- Segunda Etapa: Cámaras de Infiltración, distribuyen los líquidos en un área determinada del suelo. El agua residual que sale del Biodigestor, se distribuye por el terreno a través de las cámaras de infiltración enterradas, filtrando el efluente por las micro perforaciones ubicadas en sus paredes (Rotoplas, 2017).
- Tercera Etapa: El suelo funciona como un filtro que retiene y elimina partículas muy finas. La flora bacteriana que crece sobre las partículas de tierra, absorbe y se alimenta de las sustancias disueltas en el agua. Después de atravesar 1,20 m de suelo, el tratamiento de agua residual se ha completado y se incorpora purificada al agua subterránea (Rotoplas, 2017).

El suelo está formado por granos de distintos tamaños (arenas, limos y arcilla) entre los que quedan espacios vacíos (poros). También contiene restos de animales y plantas (materia orgánica). Según el tamaño de los granos, el suelo tiene más o menos capacidad de infiltración de agua. Por tener esta estructura, realiza un tratamiento físico (filtración) y biológico (degradación bacteriana) de las aguas residuales (Ibañez, 2012).

Al pasar a través del suelo, muchas partículas que se encuentran en el agua residual son retenidas dado que su tamaño es mayor al de los poros. Las partículas más pequeñas y algunas moléculas quedan adheridas a los granos del suelo por cargas eléctricas. Algunos nutrientes como el fósforo, comunes en las aguas residuales, se combinan con otros minerales presentes en el suelo que contienen calcio, hierro y aluminio, quedando así retenidos, e impidiendo que pasen a las aguas subterráneas (Ibañez, 2012).

Por otro lado, el suelo contiene una comunidad de bacterias, protozoos y hongos, que pueden alimentarse de los nutrientes y de la materia orgánica del agua residual. Cuando lo hacen, los contaminantes son consumidos y desaparecen del agua quedando ésta más limpia. Este proceso es mucho más eficiente si se hace con oxígeno. Por lo tanto, es de suma importancia que el suelo donde se colocan las cámaras de infiltración, no esté inundado ni saturado con agua (Ibañez, 2012).

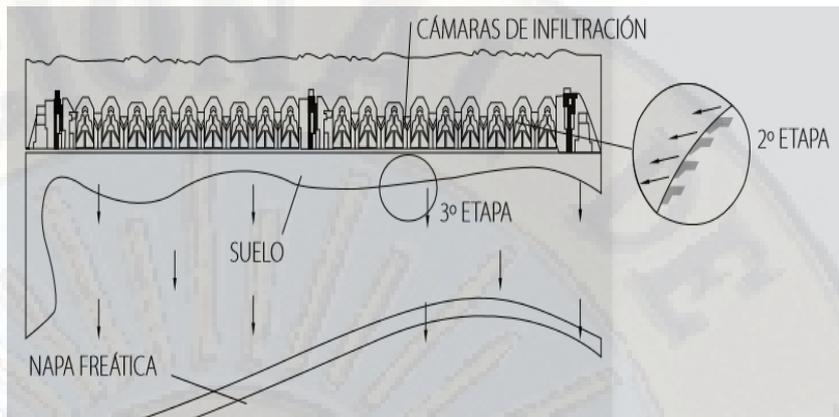


Figura 9. Segunda y tercera etapa del biodigestor autolimpiable.

Fuente: Rotoplas (2017).

El suelo es un ambiente muy hostil para los microbios patógenos (causantes de enfermedades) que vienen con las aguas domiciliarias. Cuando son retenidos en el suelo estos agentes patógenos mueren por los cambios de temperatura y humedad, por la falta de alimento adecuado, atacados por los antibióticos producidos por los hongos del suelo o consumidos por protozoos (Rotoplas, 2017).

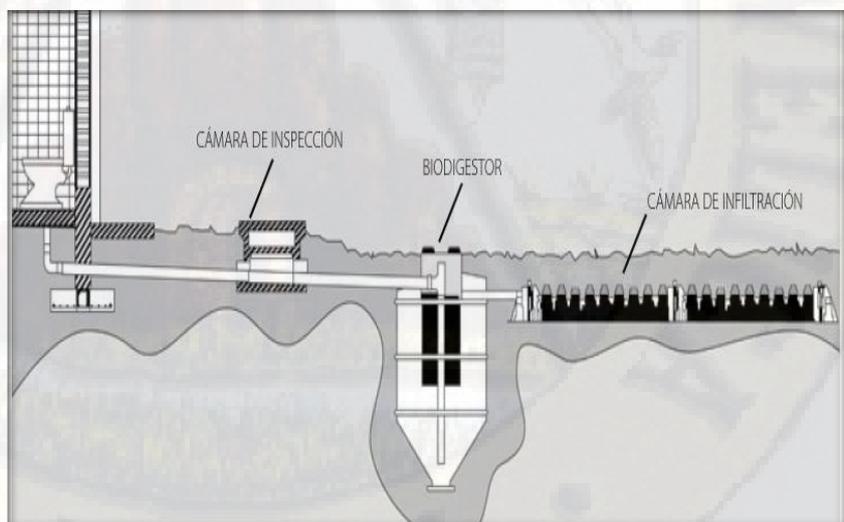


Figura 10. Esquema del tratamiento de aguas residuales domésticas con el biodigestor autolimpiable Rotoplas.

Fuente: Rotoplas (2017).

D. Partes del tratamiento de aguas residuales domesticas con biodigestor autolimpiable

a) Cámara de extracción de lodos:

La cámara de extracción de lodos estabilizados se debe realizar en obra de manera tradicional o con anillos pre moldeados de hormigón pretensado o plásticos, el fondo de la cámara no debe tener ningún tipo de aislación (Rotoplas, 2017).

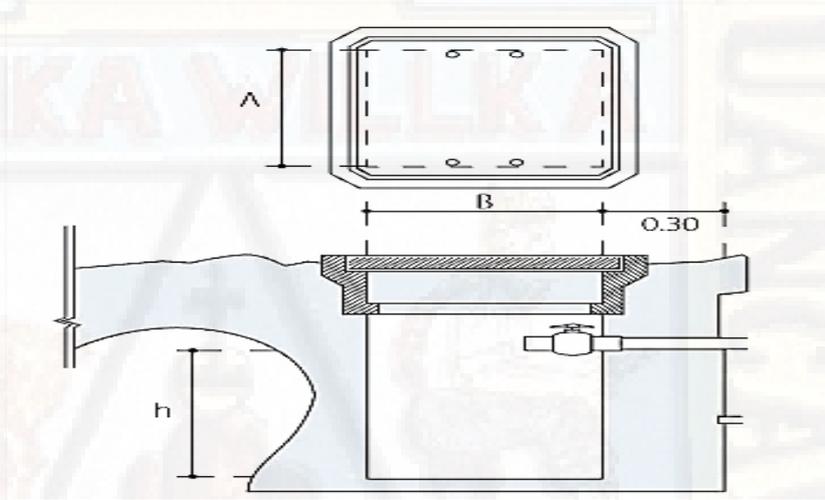


Figura 11. Cámara de extracción de lodos.

Fuente: Rotoplas (2017).

Tabla 3

Dimensiones y características de la cámara de extracción de lodos de las UBS - AH

Características cámara de extracción de lodos			
	BDR 600	BDR 1300	BDR 3000
A	0,60 m	0,60 m	1,00 m
B	0,60 m	0,60 m	1,00 m
H	0,30 m	0,60 m	0,60 m
Vol. Lodos	100 lts	200 lts	800 lts

Fuente: Rotoplas (2017).

b) Cámaras de Infiltración:

Las Cámaras de Infiltración, fueron diseñadas para completar el sistema de tratamiento, infiltrando el efluente tratado y reduciendo el tamaño de la superficie a utilizar hasta un 50% comparado con los sistemas tradicionales de infiltración, compuestas de PEAD inyectado de alta resistencia, incorporan tecnología de micro perforado, estas cámaras trabajan a sección hueca dando mayor contención al efluente (Rotoplas, 2017).

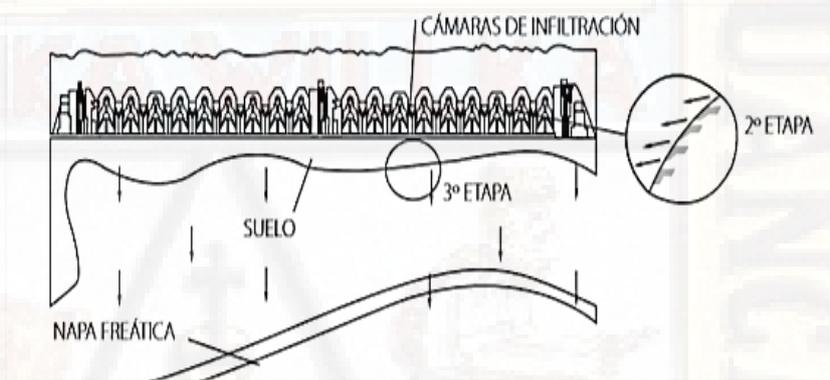


Figura 12. Cámara de infiltración.

Fuente: Rotoplas (2017).

Tabla 4

Cantidad de cámaras de infiltración según caudal y tipo de suelo

Tiempo de infiltración	600 litros	1300 litros	3000 litros
Descenso de 1 cm. (cm/min)	Cámaras (u)	Cámaras (u)	Cámaras (u)
De 1 a 4 minutos	4	9	20
De 4 a 8 minutos	5	11	25
De 8 a 12 minutos	6	13	30
De 12 a 24 minutos	9	19	43

Fuente: Rotoplas (2017).

Tabla 5

Longitud de zanjas de infiltración, longitud de tuberías 4 " según tipo de suelo y capacidad de biodigestor

Tiempo de infiltración para el	600 litros	1300 litros	3000 litros
Descenso de 1 cm. (cm/min)	longitud (m)	longitud (m)	longitud (m)
De 1 a 4 minutos	12	25	58
De 4 a 8 minutos	16	32	74
De 8 a 12 minutos	18	36	83
De 12 a 24 minutos	26	52	120

Fuente: Rotoplas (2017).

Para valores superiores a 24 cm/min como tasa de infiltración no se recomienda la construcción de campos de infiltración (Rotoplas, 2017).

Precauciones de uso:

- No se debe tirar basura en el inodoro del baño (papel, toallas sanitarias ni otros sólidos), ya que se pueden obstruir los conductos.
- No descargar al Biodigestor sustancias químicas como: cloro, amoníaco, sosa, ácido, pinturas, aceites y grasas de coche, ya que pueden reducir la efectividad del Biodigestor.
- No retire los aros Pet. (botellas cortadas), de la parte central del tanque, ya que éste es el material filtrante del Biodigestor.

E. Instalación y mantenimiento

Antes de empezar con la instalación, se debe replantear el sistema (Biodigestor y Cámaras de infiltración). Para ubicar el sistema de tratamientos de efluentes cloacales, en el terreno es necesario seguir algunas pautas (Rotoplas, 2017).

- Escoger una zona alta, en la que no se formen charcos o se inunde cuando llueve, de no tener este espacio disponible se deberá rellenar luego de realizada la instalación.
- Mantener la mayor distancia posible desde el sistema de tratamiento de efluentes cloacales a cuerpos de agua superficiales (lagunas o arroyos), a perforaciones de extracción de agua, a los límites del terreno y edificaciones.
- Proveer futuras construcciones o ampliaciones de la vivienda (como galpones, quinchos o garajes). Aunque el Biodigestor y las Cámaras de infiltración están ubicados bajo tierra, hay que tener en cuenta que no se pueden hacer construcciones ni transitar con vehículos sobre ellos. El espacio ocupado por el sistema de tratamientos podrá incorporarse al parque de la casa, ya que sobre ellos se puede caminar, circular en bicicleta, cultivar un jardín, etc. (Rotoplas, 2017).

a) Instalación del biodigestor

Rotoplas (2017), considera las siguientes recomendaciones para la instalación del biodigestor:

- La profundidad de excavación será determinada por la altura del equipo y por la profundidad alcanzada por la tubería proveniente de la vivienda, esta tubería deberá estar sobre la tubería de entrada del equipo o a igual profundidad.
- Excavar primero la parte cilíndrica, aumentada como mínimo 20 cm al diámetro del equipo, de esa forma tendremos una excavación con un mínimo de 10 cm alrededor del mismo.
- La base deberá ser excavada aproximadamente con el mismo formato cónico de equipo, estar compactada y libre de elementos rocosos (piedras, escombros, etc.) que pudiesen dañar las paredes del equipo. Deberá hacerse en el fondo una platea de 60 cm de diámetro de hormigón con un espesor de 5

cm, con una malla sima en su interior.

- Al bajar el equipo dentro de la excavación, hay que asegurar que la parte inferior cónica esté bien apoyada.
- Llenar el equipo con agua antes de comenzar la compactación. Para ello, instale la válvula de extracción de lodos y manténgala cerrada, el agua debe permanecer en el equipo incluso después de realizar la instalación completamente.
- Para entierre y compactación, primero llene con arena mezclado con cemento seco, la parte cónica del equipo para lograr que no queden huecos y el apoyo sea perfecto. Luego prepare suelo cemento en proporción 5 partes de tierra y 1 parte de cemento libre de elementos rocosos (piedras, escombros, etc.) que puedan dañar el equipo. Compactar de forma manual cada 20 cm hasta llegar a la superficie.
- La posición de la cámara de extracción de lodos es determinada por la posición de la válvula de extracción de estos. Se deberá excavar el volumen requerido para la cámara dependiendo del tamaño del equipo. La cámara se puede realizar con mampostería tradicional, anillos pre moldeado de cemento o plástico disponibles en el mercado, la cámara no debe tener aislación en el fondo.
- Los gases provenientes del proceso de digestión biológica serán eliminados por la tubería del sistema de ventilación de la vivienda. Si la vivienda no posee ventilación, será necesario instalar un conducto de ventilación entre el equipo y la vivienda que debe ventilar a los 4 vientos.
- No retire los aros de Pet. (botellas cortadas), que están en el interior del tanque, éstos son el material filtrante y soporte biológico fundamental para el buen funcionamiento del filtro anaeróbico.
- Para iniciar su uso, instale el tubo sanitario de la vivienda a la

entrada del Biodigestor, conecte la salida del agua a las cámaras de infiltración y mantenga la válvula de extracción de lodos cerrada.

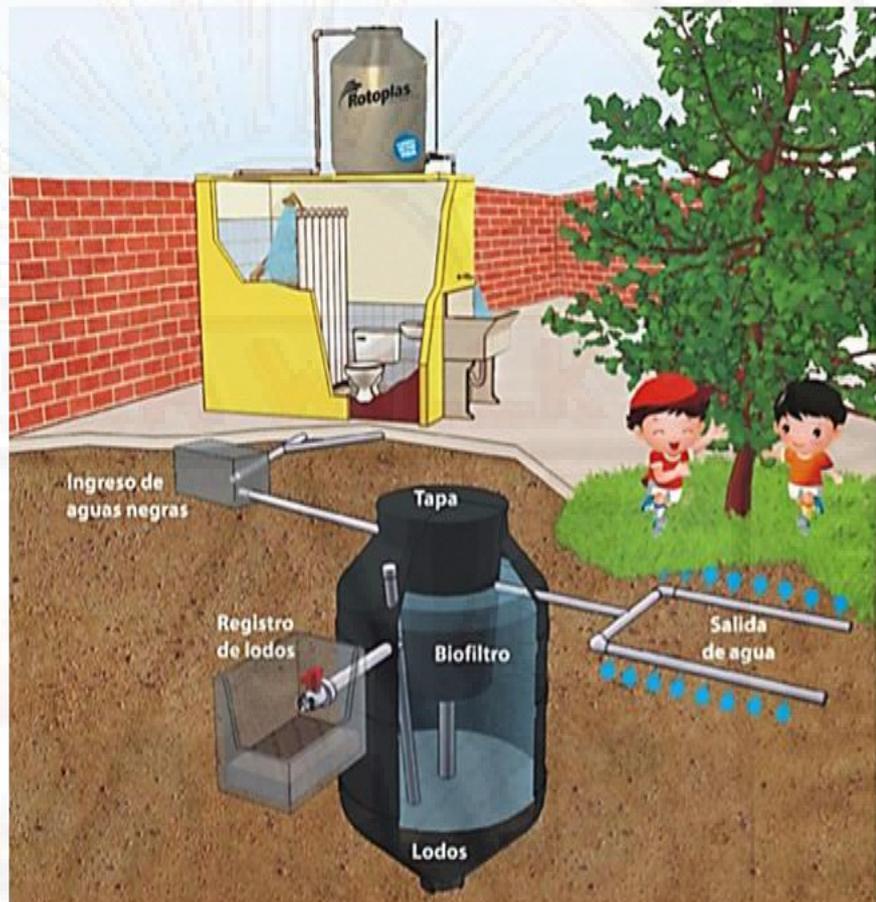


Figura 13. Instalación de biodigestor.

Fuente: Rotoplas (2017).

b) Cámaras de Infiltración

Rotoplas (2017) indica los siguientes procedimientos para la instalación de la cámara de infiltración:

- Realizar el replanteo del campo de infiltración sobre el terreno.
- Cavar las zanjas, quitar los restos de tierra suelta, nivelar, luego rastrillar el fondo y las paredes para que el suelo tenga una mayor absorción.

- Con un destornillador rompa el sello en el diámetro apropiado para el tubo de entrada.
- Instale la placa de salpicadura en las ranuras apropiadas debajo de la entrada, para prevenir la erosión del fondo de la zanja.
- Inserte el tubo de entrada en el terminal al comienzo.
- Coloque la parte final de la entrada en la primera cámara sobre la orilla trasera del terminal.
- Levante y coloque la parte final de la próxima cámara en la cámara anterior, continúe conectando hasta que termine la zanja.
- Para asegurar la estabilidad estructural, llene el área de la pared lateral con la tierra de los costados, comience en las uniones donde las cámaras se conectan.
- Tapar el sistema con un mínimo de 30 cm de tapada dejando en la superficie una lomada para que al asentarse la tierra no quede bajo el nivel de suelo.

c) Mantenimiento del biodigestor

Estas son las indicaciones que da Rotoplas (2017) para el mantenimiento del biodigestor:

- El período de extracción de lodos estabilizados será realizado preferentemente en períodos estivales (12 a 24 meses).
- La primera extracción de lodos estabilizados debe realizarse a los 12 meses de la fecha de inicio de utilización, de esa forma será posible estimar el intervalo necesario entre las operaciones, de acuerdo con el volumen de lodos acumulados en el biodigestor.
- Abriendo la válvula los lodos alojados en el fondo del tanque salen por gravedad. Primero salen de dos a tres litros de agua de color beige pestilente, luego serán eliminados los lodos estabilizados (oscuros inoloros, similar al color café). Cierre

inmediatamente la válvula cuando vuelva a salir agua color beige pestilente.

- Si observa dificultades en la salida de lodos, remueva el fondo utilizando un tubo o palo de escoba (teniendo cuidado de no dañar el tanque).
- En la cámara de extracción de lodos, la parte líquida del lodo estabilizado será absorbida por el suelo, quedando retenida la materia orgánica que después de secar, se convierte en un polvo negro que puede ser utilizado como fertilizante.
- Recomendamos limpiar el filtro anaeróbico echando agua con una manguera después de una obstrucción y cada tres o cuatro extracciones de lodos.
- Las costras de material orgánico formadas a través de los aros del filtro se desprenden solas al quedar gruesas.

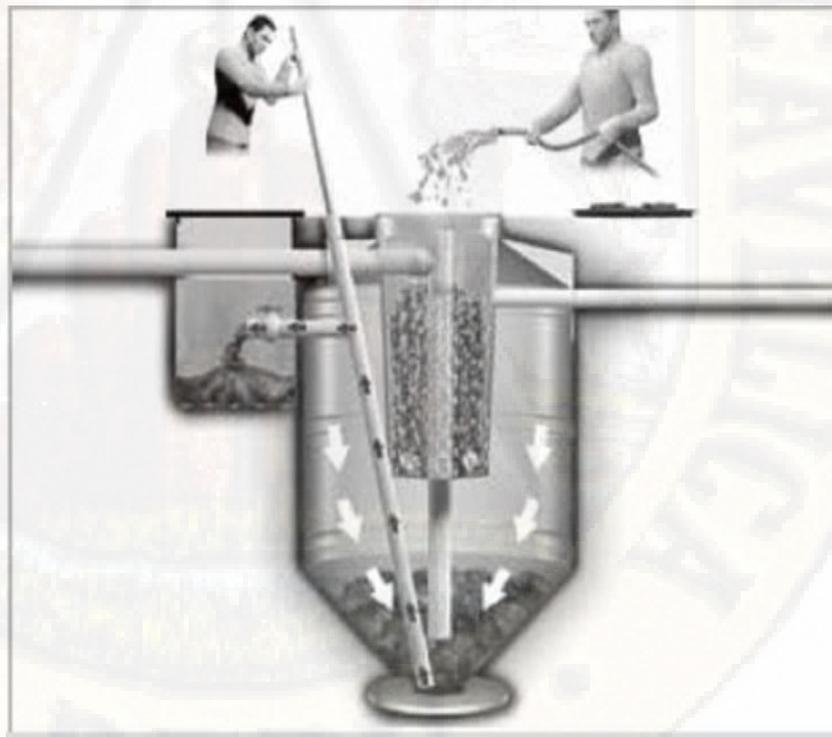


Figura 14. Mantenimiento del biodigestor autolimpiable Rotoplas.

Fuente: Rotoplas (2017).

F. Eficiencia de los biodigestores autolimpiables Rotoplas

En la ficha técnica del biodigestor establece la las especificaciones y eficiencia del biodigestor autolimpiable Rotoplas.

Tabla 6

Eficiencia de los biodigestores autolimpiables Rotoplas

Parámetro	Remoción	Parámetros luego del tratamiento
DBO ₅ (demanda bioquímica de oxígeno)	94%	15 – 80 mg/L
DQO (demanda química de oxígeno)	88%	80 – 190 mg/L
Aceites y grasas	93%	30 – 45 mg/L
SS (sólidos sedimentables)	98%	0,05 – 0,3 mg/L
pH	Estabilizado	7,5 – 8,5 U pH

Fuente: Resultados obtenidos de muestreos realizados en puntos testigos ubicados en Argentina Rotoplas (2017).

2.4 Definición de términos

- **Afluente:** Agua, residual u otro líquido que ingrese a un reservorio o a algún proceso de tratamiento (González y Jurado, 2017).
- **Autolimpiables:** Remoción de los desechos que puede hacerlo por sí mismo sin demandar ninguna ayuda, es decir que el biodigestor puede remover los lodos de su interior sin necesidad de intervención (Rotoplas, 2017).
- **Bacterias:** son microorganismos unicelulares, comúnmente sin color y constituyen la menor forma de vida capaz de desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluye oxidación biológica, fermentación, digestión, nitrificación y desnitrificación (Valdez y Vásquez, 2003).
- **Biodegradación:** degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales (Valdez y Vásquez, 2003).
- **Biodigestor:** Un biodigestor es un dispositivo en el que se lleva a cabo el proceso de digestión anaerobia, mediante el cual se genera biogás (González y Jurado, 2017).
- **Digestión:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial (Ramalho, 1983).
- **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento (González y Jurado, 2017).
- **Estabilización:** es la conversión de sólidos orgánicos en formas inertes con el propósito de que puedan manejarse o usarse como acondicionadores de suelo sin causar daño o peligro a la salud mediante la digestión (Valdez y Vásquez, 2003).
- **Impermeable:** Que impide el paso de un líquido (Valdez y Vásquez, 2003).
- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el

Sistema de Gestión Ambiental (ANA, 2013).

- Lodo: es el desecho del proceso de tratamiento de aguas residuales; contiene microorganismos y materiales inertes, el 90 % de los sólidos son de naturaleza orgánica (Valdez y Vásquez, 2003).
- Manejo de aguas residuales: Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación con las aguas residuales (MVCS, 2006).
- Mampostería: Sistema constructivo realizado con ladrillos o piedras, adheridos o unidos a base de mortero de cemento (Departamento Nacional de Planeación, 2015).
- Medio filtrante: Material granular a través del cual pasa el agua residual con el propósito de purificación, tratamiento o acondicionamiento (Valdez y Vásquez, 2003).
- Muestra de agua: parte representativa del material a estudiar (para este caso agua residual cruda y tratada) en la cual se analizan los parámetros de interés (Ramalho, 1983).
- Muestra compuesta: son aquellas formadas por mezclas de muestras individuales tomadas en diferentes momentos (Ramalho, 1983).
- Muestra simple o puntual: esta muestra nos da las características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada a una hora determinada (Ramalho, 1983).
- Muestreo: Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar (Ramalho, 1983).
- Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento en los cuales se intensifica la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente, usualmente se utiliza para la remoción de material orgánico disuelto (Ramalho, 1983).
- Tratamiento de lodos: Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos (Valdez y Vásquez, 2003).

2.5 Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Los biodigestores autolimpiables, son eficaces, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a) Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 27.28 %, en cuanto a la remoción del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- b) Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 25.96 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- c) Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 36.76 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- d) Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 13.56 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

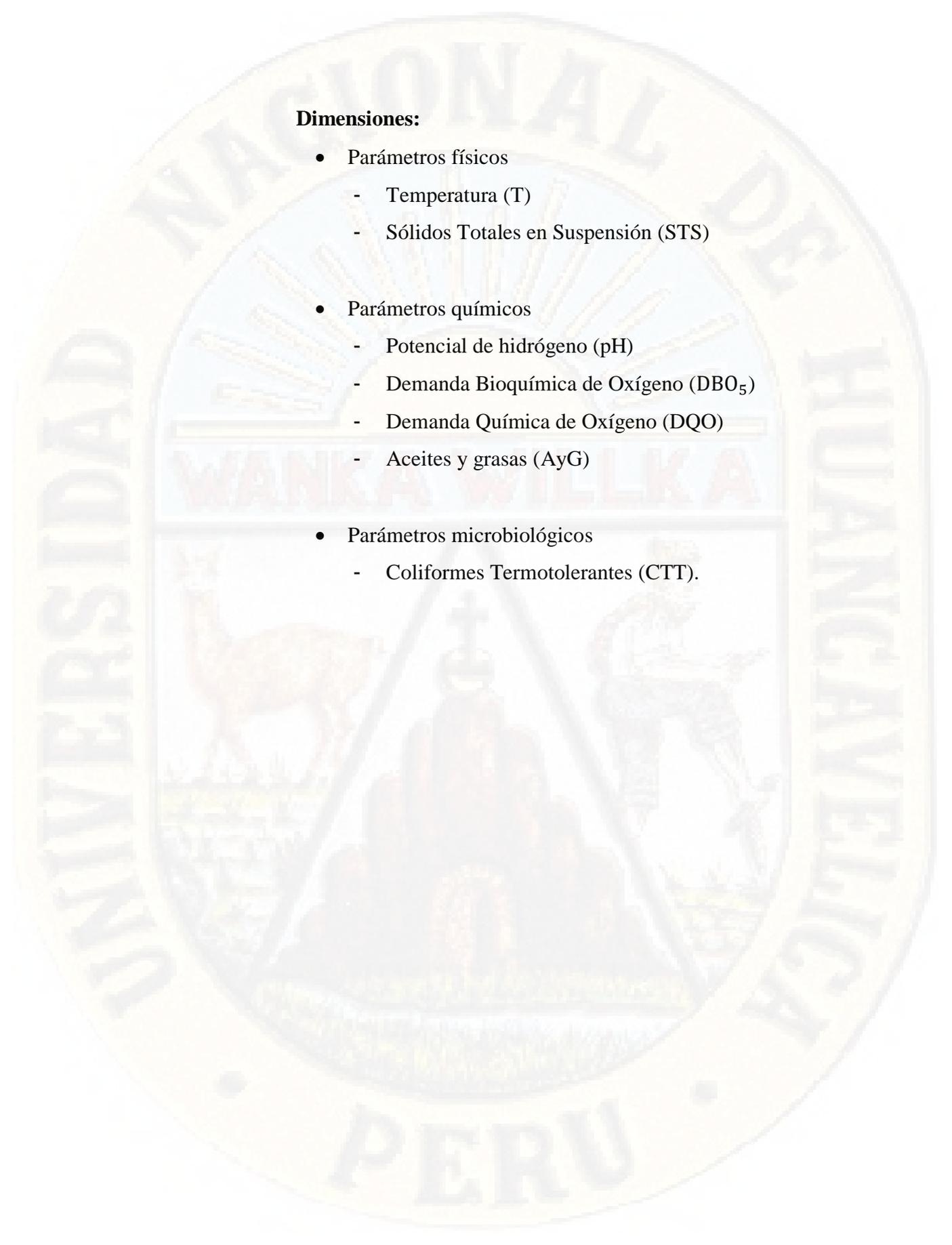
- e) Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 10 %, en cuanto a la remoción del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- f) La calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019.

2.6 Variables

Por ser una investigación descriptiva miden de manera independiente los conceptos o variables con los que tienen que ver. Aunque, desde luego, pueden integrar las mediciones de cada una de dichas variables para decir cómo es y se manifiesta el fenómeno de interés, su objetivo no es indicar cómo se relacionan las variables medidas. Es decir, en una investigación descriptiva, no hay manipulación de variables, estas se observan y se describen tal como se presentan en su ambiente natural. Su metodología es fundamentalmente descriptiva, aunque puede valerse de algunos elementos cuantitativos y cualitativos (Hernández, Fernández, y Baptista, 1997).

2.6.1. Variable de estudio:

Eficacia de los biodigestores autolimpiables: el cual está determinado por el grado de cumplimiento de los objetivos específicos planteados; para el cual se calculó, la eficiencia de remoción en los biodigestores, además de evaluar la calidad de las aguas residuales en los efluentes de los siguientes parámetros.



Dimensiones:

- Parámetros físicos
 - Temperatura (T)
 - Sólidos Totales en Suspensión (STS)

- Parámetros químicos
 - Potencial de hidrógeno (pH)
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
 - Demanda Química de Oxígeno (DQO)
 - Aceites y grasas (AyG)

- Parámetros microbiológicos
 - Coliformes Termotolerantes (CTT).

2.7 Operacionalización de variables

Tabla 7

Definición operativa de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Valoración (LMP)	Unidad de medida	Instrumentos
Eficacia de los biodigestores autolimpiables.	<p>Es el grado en que se alcanzan los objetivos del proyecto en un período determinado, independientemente del trabajo desarrollado, el tiempo invertido, la inversión realizada en la etapa de construcción y solo se fija en los resultados logrados (Viñas <i>et al.</i>, 2017)</p> <p>Se usa para expresar el logro concreto o las acciones conducentes a ese logro concreto, de los fines y objetivos deseados (Mokate, 2002).</p>	<p>Se realizó 3 monitoreos y análisis de los parámetros: físicos, químicos y microbiológicos de 6 biodigestores en los afluentes y efluentes de cada biodigestor autolimpiable, para lo cual se determinó el porcentaje de eficiencia de remoción para cada parámetro, donde la eficiencia se relaciona con los resultados de la calidad de agua residual en el efluente, por ende, lo mencionado constituyen los objetivos específicos de la investigación, estos objetivos presentados anteriormente permitirán estimar si son o no eficaces los biodigestores. en el tratamiento de aguas residuales domésticas en las UBS – AH.</p>	Parámetros físicos	Sólidos totales en suspensión (STS) sobrepasan los LMP.	*SST < 150	(mg/L).	Equipo de filtración al vacío.
				Temperatura (T°) sobrepasan los LMP.	*T° < 35	(°C).	pHmetro digital HI 8424.
			Parámetros químico	Potencial de hidrógeno (pH) sobrepasan los LMP.	6.5 < *pH < 8.5	(Unidad).	pHmetro digital HI 8424.
				Demanda química de oxígeno (DQO) sobrepasan los LMP.	*DQO < 200	(mg/L).	Equipo DQO: reactor RD 125 y colorímetro DR 2010.
				Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) sobrepasan los LMP.	*DBO ₅ < 100	(mg/L).	Sensor piezoeléctrico.
				Aceites y grasas (AyG) sobrepasan los LMP.	*AG < 20	(mg/L).	Equipo soxhlet.
Parámetros microbiológico	Coliformes Termotolerantes (CTT) sobrepasan los LMP..	*CTT < 10000	(NMP/100 mL).	Microscopio de poco aumento.			

*Estos son los valores de los Límites Máximos de acuerdo al decreto supremo N° 003-2010-MINAM (MINAM, 2010), véase la Tabla 12.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

El proceso de recolección de datos, análisis en laboratorio, análisis de los datos obtenidos del presente trabajo de investigación comprende desde el mes de octubre del 2018 al mes de setiembre del 2019.

Tabla 8

Cronograma total de duración del proyecto de tesis.

ACTIVIDADES	Año 2018												Año 2019																											
	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre			
1. Planteamiento	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1-4	1-4	1-4	1-4	1			
Coordinación	x	x	x																																					
Revisión bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Elaboración del plan de proyecto				x	x	x	x																																	
Presentación del proyecto								x																																
Asesoramiento del proyecto	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Revisión del proyecto									x	x																														
Aprobación del proyecto											x	x																												
2. Ejecución	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1		
Recolección de datos (monitoreos)												x			x				x				x																	
Análisis en laboratorio												x	x		x	x			x	x																				
Procesamiento de datos															x				x				x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
Análisis e interpretación de datos															x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
3. Informe final	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1		
Elaboración de informe final																													x	x	x	x	x	x	x	x				
Presentación de informe																																								x
Revisión de informe por jurado																																								x
4. Sustentación	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1		
Sustentación de la tesis																																								x

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. **Ámbito espacial**

El espacio del presente trabajo de investigación se ubica en el área rural del Centro Poblado de Nueva Acobambilla del distrito de Huando, georreferenciado con las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) con una latitud de 8604321.23 m, longitud 505320.40 m, y con una altitud aproximada de 3633 m.s.n.m. Medido con GPS Garmin, el tipo de clima es frío.

El Centro Poblado de Nueva Acobambilla se ubica políticamente en:

Región	:	Huancavelica
Provincia	:	Huancavelica
Distrito	:	Huando

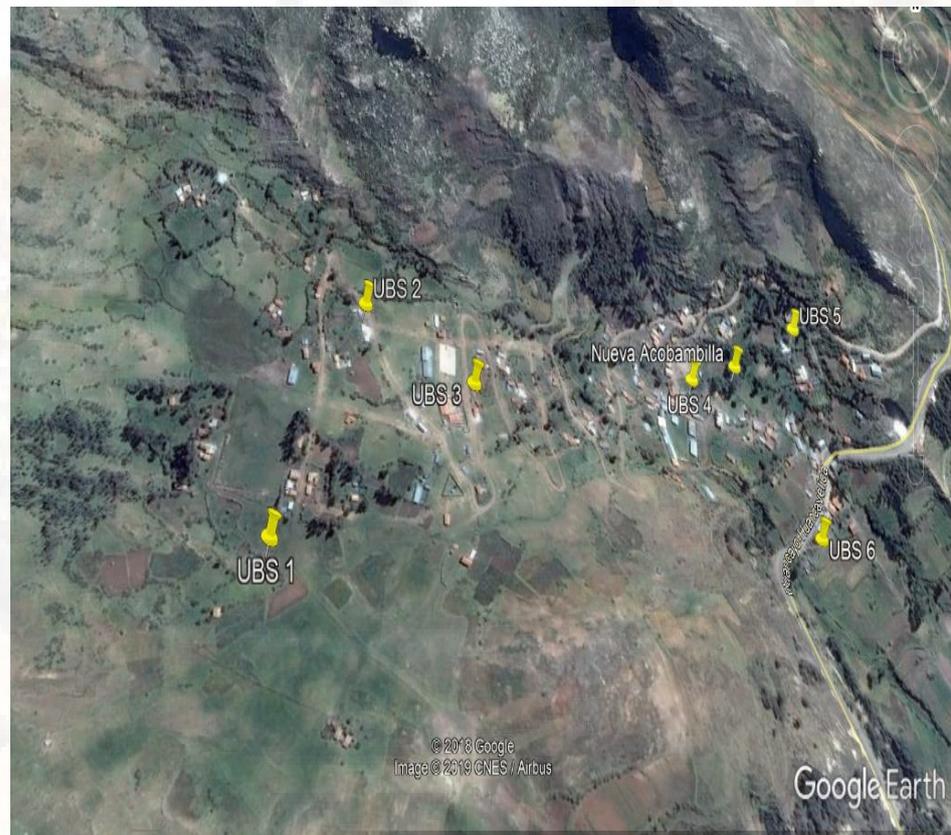


Figura 15. Ubicación y localización del área de estudio.

Fuente: Google Earth (2019).

3.2 Tipo de investigación

La investigación según el objetivo, es aplicada, se le denomina también activa o dinámica, y se encuentra íntimamente ligada a la básica o pura, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos. Busca confrontar la teoría con la realidad. Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías (Tamayo, 2003).

3.3 Nivel de investigación

De acuerdo a la naturaleza del estudio de la investigación, reúne para su nivel las características de un estudio descriptivo, que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente (Tamayo, 2003).

Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas, es decir, La manipulación de variables en la investigación descriptiva no hay manipulación de variables, estas se observan y se describen tal como se presentan en su ambiente natural. Su metodología es fundamentalmente descriptiva, aunque puede valerse de algunos elementos cuantitativos y cualitativos, (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014).

3.3.1. Método de investigación

El método científico es un proceso sistemático para construir la ciencia y desarrollar el conocimiento científico que incluye dos actividades básicas: el razonamiento lógico (racionalismo) para deducir consecuencias

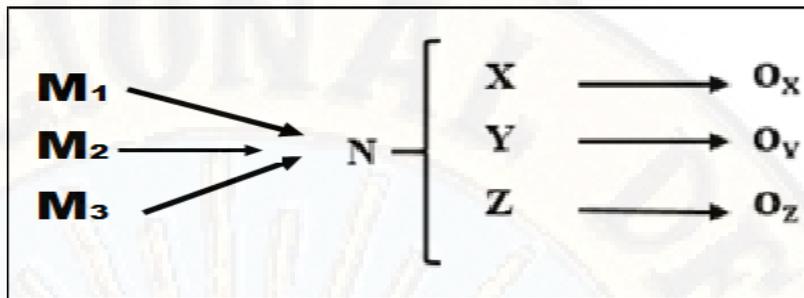
contrastables de una teoría en la realidad, y la observación de los hechos empíricos (el empirismo) para corroborar o modificar lo predicho por la teoría. En este proceso el investigador necesita ir de los datos a la teoría y de la teoría a los datos. A veces se inicia con la observación de una situación problemática a partir de la cual se infieren posibles explicaciones y leyes que hay que confirmar en la realidad. Con este fin se deducen una serie de respuesta al problema planteado, formuladas en términos de hipótesis operativas y contrastables. La inferencia inductiva resultante a la verificación de estas consecuencias formará parte del área de influencia de las explicaciones y teorías iniciales y permitirá aportar nuevos datos que ampliarán y complementarán sus estructuras y conceptos (Bisquerra, 2009).

3.3.2. Diseño de la investigación

La investigación se encuentra incluida dentro del diseño no experimental transeccional – Descriptivo. La investigación no experimental es la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables independientes; se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, fenómenos o contextos que ya ocurrieron o se dieron sin la intervención directa del investigador (Hernández *et al.*, 2014).

Los diseños transeccionales realizan observaciones en un momento o tiempo único. Cuando recolectan datos sobre una nueva área sin ideas prefijadas; cuando recolectan datos sobre cada una de las categorías, conceptos, variables, contextos, comunidades o fenómenos, e informan lo que arrojan esos datos son descriptivos (Hernández *et al.*, 2014).

La presente tesis uso el siguiente diagrama plasmando el proceso de recolección de las muestras (N), de los 3 monitores (M) en los biodigestores, así como también las observaciones (Ox, Oy, Oz), de los muestreos que se realizó para el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos variables (x, y, z) respectivamente.



Leyenda:

M_1 , M_2 y M_3 = Monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril.

N = Muestras de los biodigestores un total de 252 muestras.

X = Parámetros físicos.

Y = Parámetros químicos.

Z = Parámetros microbiológicos.

O_X = Observación 1 para X .

O_Y = Observación 2 para Y .

O_Z = Observación 3 para Z .

3.4 Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La población de la investigación son 6 biodigestores autolimpiables, de los sistemas de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), seleccionados con una densidad de 5 a 7 personas por vivienda.

3.4.2. Muestra

Para la presente tesis se colectaron un total de 252 muestras de aguas residuales domésticas, tomados a la entrada (afluente) y a la salida (efluente) de los biodigestores autolimpiables, los cuales conforman los puntos de monitoreo, establecidos en los 6 biodigestores.

El número de muestras total de los biodigestores autolimpiables consistió en:

- La tesis consistió de 3 monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril del año 2019.
- La cantidad de biodigestores monitoreados fueron 6 seleccionados por la mayor cantidad de integrantes de familia (densidad) y por el fácil acceso.
- Los puntos de monitoreo fueron 2 a la entrada (afluente) y salida (efluente) del biodigestor.
- Las muestras se tomaron para 7 parámetros (físico, químicos y microbiológicos).
- Resultando 18 muestras para cada (1), parámetro de un total de 7 parámetros, solo en afluente (1) o solo en el efluente (1) para los (6) biodigestores en la suma acumulada de los (3) monitoreos.
- De acuerdo al anterior enunciado se obtuvo (36) muestras para cada parámetro (1) del afluente y efluente (2), para los (6) biodigestor en la suma acumulada de los (3) monitoreos.
- Obteniendo un total de (252) muestras, para los (7) parámetros del afluente y efluente (2), para los (6) biodigestor en la suma acumulada de los (3) monitoreos.

Todo lo mencionado se resume en la siguiente tabla:

Tabla 9

Muestras de las unidades básicas de saneamiento con biodigestores

Componentes	Cantidad de muestras	Total de muestras
Monitoreo y control	3	
Cantidad de biodigestores	6	
Afluente y efluente	2	252
Parámetros	7	

Fuente: Elaboración propia.

La elección de los puntos de monitoreo y el proceso de muestreo, preservación, conservación, almacenamiento y transporte de las muestras de agua residual, se basaron de acuerdo a los lineamientos establecidos por el “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales”, aprobado con Resolución Ministerial N° 273-2013 – VIVIENDA.

3.4.3. Muestreo

La presente tesis aplicó la técnica de muestreo no probabilístico con tipo de muestreo por conveniencia, por qué las elecciones de las muestras no dependen de fórmulas de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador, porque están convenientemente disponibles para el investigador (Hernández *et al.*, 2014).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

La principal técnica que se utilizó para la recolección de datos en esta investigación fue la técnica de observación, donde mediante la observación se hizo un diagnóstico situacional para la elección los lugares y puntos de muestreo, donde la técnica de muestreo para cada parámetro fue la muestras simples o puntuales.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos de campo

Para el análisis de los parámetros medidos en campo (temperatura y pH) se utilizaron los siguientes instrumentos:

- ✓ Termómetro ambiental

El termómetro ambiental es un instrumento destinado a la medición de la temperatura en un ambiente determinado. Varían de acuerdo a sus características, así como el entorno para el cual va

diseñado. La mayoría dispone de distintos tipos de medidores, que evalúan los factores que afectan el clima. Sus especificaciones de uso dependerán del espacio que se desee evaluar, ya que no será igual la temperatura dentro de la casa, a puerta cerrada, en un área oscura, al exterior, donde el sol apunta de frente.

✓ GPS diferencial Garmin

El GPS Garmin posee una pantalla de 2,6" que puede leerse a la luz del sol y un receptor GPS y GLONASS de alta sensibilidad con una antena Quadrifilar Helix para una capacidad de recepción de calidad superior, es compacto y resistente al agua el GPS incluye un altímetro barométrico y una brújula de tres ejes.

✓ Ficha de laboratorio

Se empleó los formatos de las fichas establecidas en el “Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales”, aprobado con Resolución Ministerial N° 273-2013 – VIVIENDA.

- Formato de etiquetado y rotulado.
- Formato de la cadena de custodia.
- Formato de los resultados de datos.

✓ pHmetro digital HI 8424

Es un equipo portátil que lleva a cabo mediciones de pH y temperatura con un alto grado de precisión y respuesta rápida. La calibración es automática con tres valores buffers memorizables (ácida de pH = 4.01, neutro pH = 7.01 y alcalino pH = 10.01). Una vez que el instrumento ha sido calibrado, los valores de buffer usados durante la calibración son mostrados con etiquetas sobre la pantalla, esta característica les permite a los usuarios estar informados sobre la calibración actual y les ayuda a eliminar la toma de mediciones que están fuera del rango (Hanna, 2015).

Características:

- reconocimiento automático de tapón
- indicador de batería baja
- desconexión automática
- función hold (congelar)

3.5.3. Procedimiento de recolección de datos de campo

La recolección de datos de campo se realizó mediante la técnica de observación haciendo un diagnóstico situacional para la elección de los lugares y puntos de muestreo, de los componentes de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico el cual constituye todo un sistema de tratamiento de aguas residuales implantados en cada vivienda del centro poblado de Nueva Acobambilla – Huando – Huancavelica. Para lograr el objetivo de la presente tesis se utilizó como guía el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” MVCS (2013), donde indican los lineamientos para la selección de los lugares y puntos de monitoreo.

3.5.3.1. Reconocimiento del lugar y elección de los biodigestores en las unidades básicas de saneamiento

La selección de los lugares de monitoreo se determinó por conveniencia, de acuerdo a los siguientes aspectos:

- Se eligió 6 biodigestores los cuales son componentes de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS -AH), este sistema está instalado en cada vivienda para este caso 6 viviendas.
- Se eligió 6 biodigestores de acuerdo a la mayor cantidad de habitantes (densidad), ya que esta condición conlleva que se genera mayor carga de agua residual.
- Se eligieron los 6 biodigestores por el fácil acceso a cada sistema de saneamiento.

Reconocidos los lugares de monitoreo, se ubicaron los puntos de monitoreo (afluente y efluente), tomando los datos de su ubicación exacta medidos con GPS Garmin (ver tabla 10), donde se tomaron los muestreos en los mismos lugares seleccionados durante los 3 monitoreos.

Tabla 10

Coordenadas de las UBS – AH, seleccionadas para muestreo

UBS Biodigestor (UBS)	Punto A (afluente)	Punto E (efluente)	Coordenadas		Alt. (msnm)
			UTM		
			Longitud	Latitud	
1	A1 - B1	E1 - B1	504661.7	8604120.48	3800
2	A 2- B2	E 2- B2	504732.15	8004362.9	3786
3	A 3- B3	E 3- B3	504861.51	8604297.67	3764
4	A 4- B4	E 4- B4	505148.92	8604388.3	3682
5	A 5- B5	E 5- B5	505308.58	8604468.41	3672
6	A 6- B6	E 6- B6	505301.21	8604264.79	3626

Fuente: elaboración propia.

Número de usuarios por vivienda: se recabo la siguiente información:

❖ UBS 1 - Biodigestor 1– Pozo de percolación 1:

Pertenece al Sr. Ccanto Gaspar, Luis; de 47 años.

Número de integrantes de la familia: 07 (papá, mamá, esposo, esposa, 3 hijos de 03, 08, 11 años).

Modo de uso: Se recabo la información que la familia utiliza el baño las UBS, aproximadamente 03 veces al día por cada miembro de la familia.

❖ UBS 2 - Biodigestor 2 – Pozo de percolación 2:

Pertenece a la Sra. Chanca Velcarano, Gregoria. Edad 46 años.

Número de integrantes de la familia: 06 (esposa, esposo,

mamá, suegra 2 hijos de 05, 07 años).

Modo de uso: Se recabo la información que la familia utiliza El baño aproximadamente 03 veces al día por cada miembro de la familia.

❖ UBS 3 - Biodigestor 3 – Pozo de percolación 3:

Pertenece a la Sra. Ccanto Chasqui, Marina. Edad 29 años.

Número de integrantes de la familia: 05 (papá, esposo, esposa, 2 hijos de 04, 07 años).

Modo de uso: Se recabo la información que la familia utiliza el baño aproximadamente 02 veces al día por cada miembro de la familia.

❖ UBS 4 - Biodigestor 4 – Pozo de percolación 4:

Pertenece al Sr. Chacca Sulca, Alfredo. Edad 32 años.

Número de integrantes de la familia: 05 (papá, Hermana, esposa, 2 hijos de 06, 12 años).

Modo de uso: Se recabo la información que la familia utiliza el baño aproximadamente 03 veces al día por cada miembro de la familia.

❖ UBS 5 - Biodigestor 5 – Pozo de percolación 5:

Pertenece al Sr. Soto Acuña, Rogelio. Edad 54 años.

Número de integrantes de la familia: 05 (esposa, esposo, hija, 2 nietos de 11, 14 años).

Modo de uso: Se recabo la información que la familia utiliza El baño aproximadamente 03 veces al día por cada miembro de la familia.

❖ UBS 6 - Biodigestor 6 – Pozo de percolación 6:

Pertenece al Sr. Sulca Tito, Wilfredo. Edad 62 años.

Número de integrantes de la familia: 05 (papá, hija, yerno, 2 nietos de 15, 17 años).

Modo de uso: La familia utiliza el baño aproximadamente 03 veces al día por cada miembro de la familia.

3.5.3.2. *Diagnostico situacional de los sistemas de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), con biodigestores autolimpiables Rotoplas*

Las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico del centro poblado de Nueva Acobambilla, constituyen todo un sistema de tratamiento de aguas residuales empezando desde la caseta (baño), de la UBS y terminando en los pozos percoladores (ver figura 16), para mejor comprensión a continuación se detalla el sistema instaurado en el centro poblado de Nueva Acobambilla – Huando – Huancavelica.

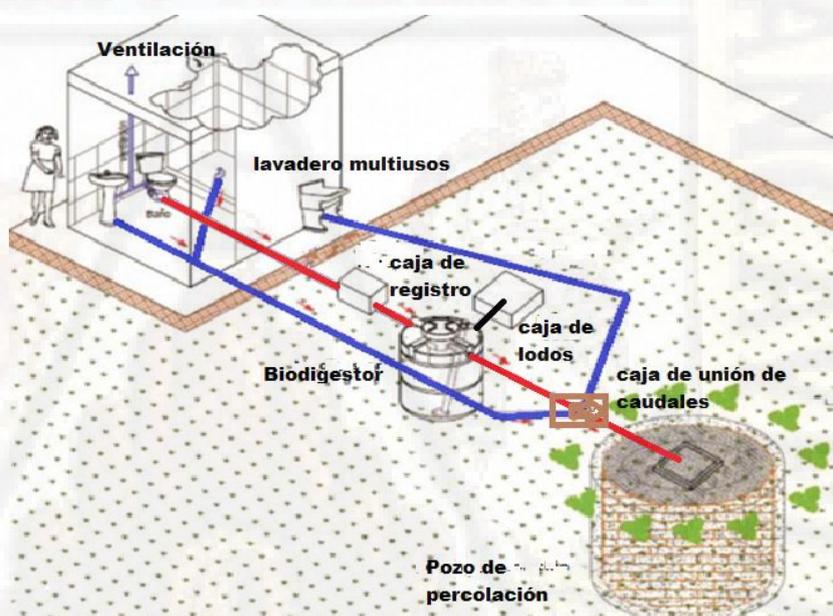


Figura 16. Sistema de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico con biodigestor autolimpiable Rotoplas.

Fuente: Rotoplas (2018).

En la figura 16, se visualiza las líneas de color azul que son las tuberías de agua potable procedentes de la ducha, lavamanos y lavadero multiusos; los cuales conforman las aguas grises que fluyen directamente hacia la caja de unión de caudales

porque no se puede verter en el biodigestor donde las aguas con detergentes y jabón ocasionarían la muerte de los microorganismos que habitan en el biodigestor.

La línea de color roja es la tubería de evacuación por donde fluye el agua procedente solo del inodoro (aguas negras), dirigida hasta el biodigestor donde las excretas que ingresan inoculan microorganismos que digieren las heces y materia orgánica presentes en el agua residual.

Componentes del sistema de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), con biodigestores autolimpiables Rotoplas:

✓ Caseta de la UBS - AH:

La caseta es de ladrillo de 2 m de ancho, 4 m de largo y 2 m de altura, con techo de calamina, el sistema de desagüe de la caseta de baño posee una tubería de ventilación de PVC de 2" de diámetro empotrada a la pared, por esta tubería se evacua los gases que se producen en el biodigestor, fue instalada con proyección hacia el exterior del techo.

✓ Tuberías de evacuación:

Son las tuberías que conectan el aparato sanitario con el biodigestor y a este con el pozo de percolación o pozo de infiltración. La línea de evacuación de las aguas residuales fue instalada con tuberías PVC de 4 pulgadas, con una pendiente mínima de 2 % que permitía el arrastre de las aguas residuales por gravedad al biodigestor.

✓ Caja de registro:

La caja de registro recolecta las aguas residuales negras (solo excretas), este dispositivo permite la inspección de la tubería de desagüe y por la cual puede desatorarse la tubería si fuese necesario lo que facilita su mantenimiento y limpieza, paso siguiente el agua residual ingresa al biodigestor.

✓ Biodigestor autolimpiables Rotoplas:

El sistema de saneamiento básico con arrastre hidráulico, presenta el tipo de tratamiento primario mediante los biodigestores autolimpiables Rotoplas, entrando a la etapa de operación en enero del 2018, el material del biodigestor es de Polietileno, material resistente que no se fisura y confina los excrementos de una forma segura, es de color negro este color ayuda a captar y retener mejor la radiación solar y mejorar la temperatura dentro del contenedor; la capacidad del contenedor es de 600 litros y pesa 22.5 Kg, elegido según la capacidad de atención de personas en este caso menores de 5 personas por vivienda, el cual al momento de su instalación se llenó de agua potable hasta el margen de la válvula de extracción de lodos del biodigestor funcionando siempre lleno, por rebalse, a medida que entra agua residual desde la caseta (baño), los sólidos más pesados se sedimentan, y el agua residual es dirigida por el tubo de ingreso hacia una “T” colocada en el centro del equipo, hasta la parte inferior del biodigestor donde la forma cónica ayuda a mejorar la sedimentación de lodos en el fondo y evitar espacios muertos, este tipo de biodigestor actúa mediante un proceso de retención hidráulica de 2 días (48 horas), es importante resaltar que los lodos sedimentados en la base del contenedor ya llevan 1 año sedimentados, esto se

debe a que la limpieza se realiza después de 12 a 24 meses de operación del biodigestor.

Las dimensiones del biodigestor son de acuerdo a la capacidad en este caso de 600 litros: 90 cm de ancho y 1.65 m de altura. Este biodigestor tiene una garantía de 10 años y vida útil de 20 años.

En la figura 17, se aprecia las partes del biodigestor autolimpiable Rotoplas.

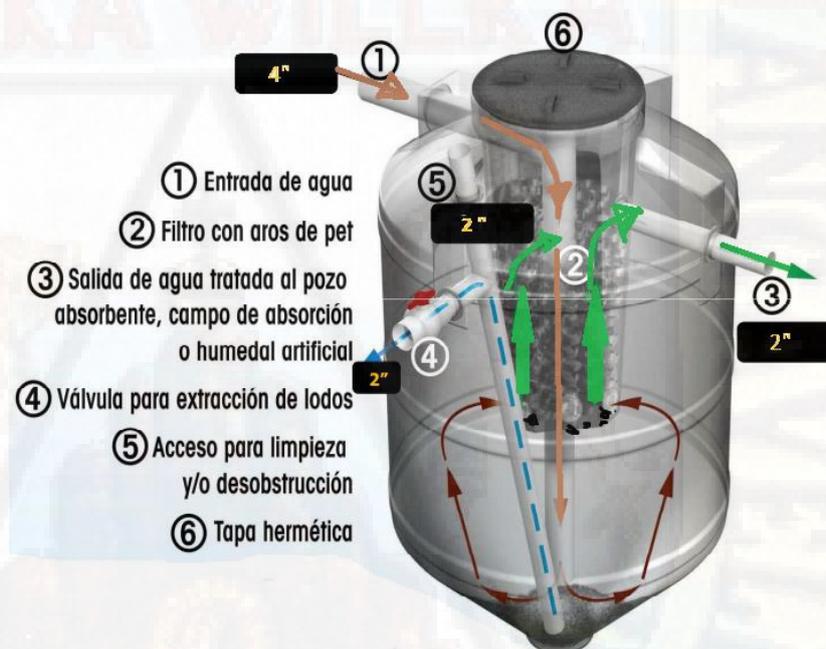


Figura 17. Partes del biodigestor autolimpiable Rotoplas.

Fuente: Rotoplas (2019).

El biodigestor se enterró mezclando una parte de cemento con tierra seco, libre de piedras y elementos rocosos y compactado hasta la superficie dejando la tapa visible para remover y hacer el mantenimiento. El biodigestor fue llenado con agua antes del proceso de compactación. El agua debe permanecer en el biodigestor, en todo el proceso de operación.



Figura 18. Nivel de agua y partes del biodigestor.

Fuente: Rotoplas (2018).

Funcionamiento del biodigestor autolimpiable Rotoplas:

Ver figura 19, se observa el funcionamiento del biodigestor, donde retiene la materia orgánica al pasar por el medio filtrante digiriendo el material orgánico, el biodigestor funciona siempre lleno, por rebalse, a medida que entra agua residual desde la casa, el agua residual es dirigida por el tubo (1) hacia una “T” colocada en el centro del equipo, hasta la parte inferior del tanque, donde se produce la principal digestión anaeróbica. Luego, el líquido residual no tratado sube por el filtro (2) donde las bacterias fijadas en los aros de Pet se encargan de completar el tratamiento de remoción de los contaminantes para finalmente poder salir agua residual tratada por la tubería de salida (efluente), saliendo por el tubo (3) hacia el pozo de percolación.

Los aceites y grasas suben a la superficie entre el filtro y el tanque, donde las bacterias las descomponen transformándolas en gas, líquido, o lodo espeso, que desciende al fondo, la materia orgánica que escapa es consumida por las bacterias fijadas en los aros de Pet del filtro (ver figura 20) los

cuales son el soporte de estas, una vez tratada, sale por el tubo (3) en forma de agua residual tratado.

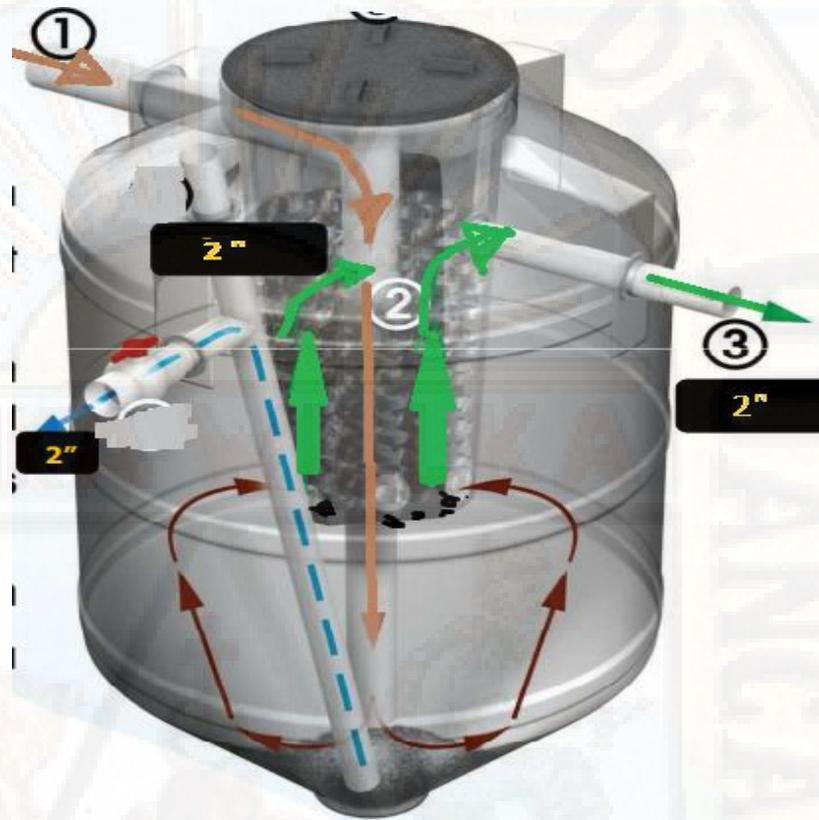


Figura 19. Funcionamiento del biodigestor autolimpiable Rotoplas.

Fuente: Rotoplas (2019).

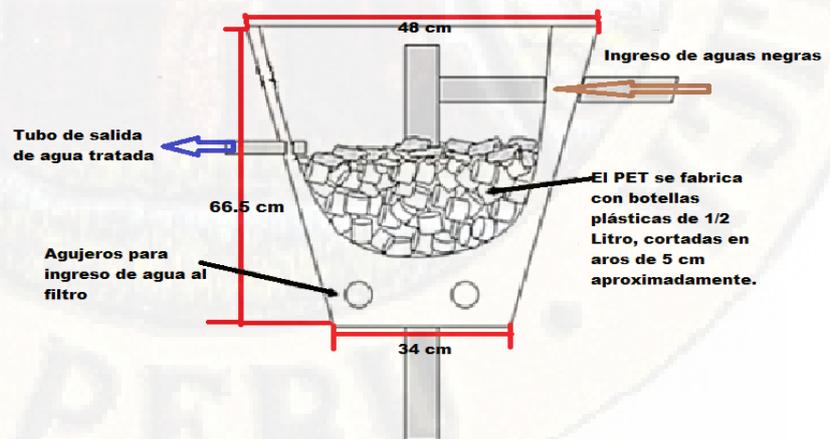


Figura 20. Detalles del filtro del biodigestor.

Fuente: Rotoplas (2019).

Los lodos digeridos o inertes, ricos en minerales se acumulan en el fondo del tanque; con el uso y el paso del tiempo se va incrementando la cantidad de lodo digerido el cual se extrae, dejando en el tanque una porción de lodo activo para que siga en funcionamiento (ver figura 21). Para extraer el lodo solo se abre la válvula del tubo de extracción de lodo (1); El lodo se deposita en la caja de lodos (ver figura 22) donde se deshidrata una vez seco, se puede extraer en forma de ceniza gris oscura, y utilizarse como fertilizante en plantas no comestibles.

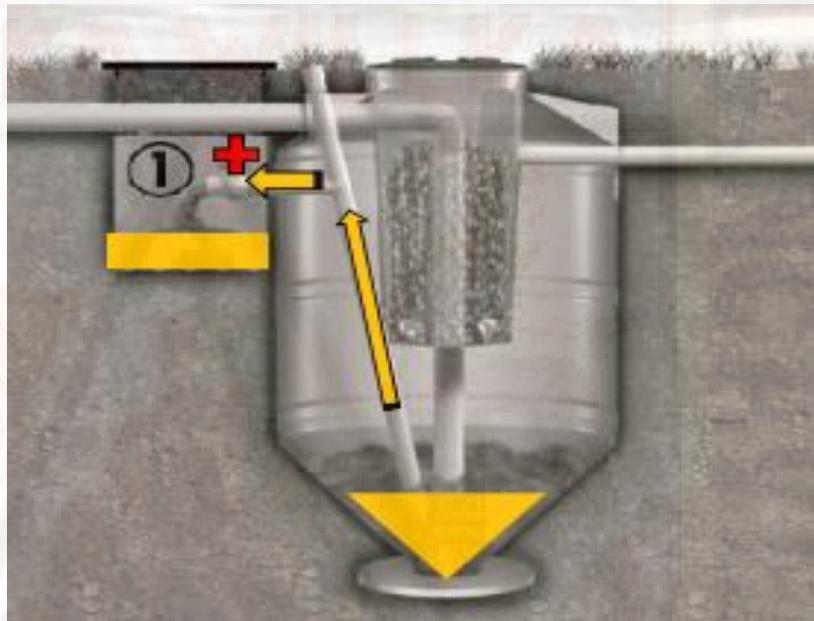


Figura 21. Acumulación y extracción de lodos.

Fuente: Rotoplas (2017).

Los gases provenientes del proceso de digestión biológica son eliminados por la tubería de ventilación ubicada en la caseta del UBS – AH, de la vivienda.

✓ Caja de unión de caudales:

Es una caja rectangular que recibe la descarga de aguas negras (excretas) ya tratadas y las aguas grises (agua con detergentes),

que vienen directamente del lavadero, ducha y lavamanos, para la conducción hacia el pozo de percolación.

- ✓ Caja de Lodos: Estructura que permite el acceso a la válvula para la purga de lodos tratados el cual se filtra en el suelo, la caja de lodos es de concreto simple, la base de la caja de lodos está directamente en el suelo relleno con gravas.

La dimensión de la caja de lodos es: ancho de 60 cm, altura de 30 cm y largo de 60 cm.



Figura 22. Caja de lodos.

Fuente: Rotoplas (2019).

- ✓ Pozo de percolación:
Excavación en forma cuadrada profundo realizado en la tierra donde ingresa el agua residual tratada del biodigestor (es el efluente), para infiltrar el agua residual tratada. Las paredes del pozo de percolación están formadas por muros de mampostería con piso de grava. El diámetro del pozo es de 1,50 m y la

profundidad útil recomendada del pozo es de 3 m; con tapa de concreto en forma cuadrada.

El suelo contiene una comunidad de bacterias, protozoos y hongos, que se alimentan de los nutrientes y de la materia orgánica del agua residual no removido en el biodigestor. Algunos pozos de percolación de Nueva Acobambilla colapsaron lo cual podría deberse a que el desarrollo de la investigación fueron en los meses de enero, febrero, marzo y abril que son tiempos de lluvias, además se presume que no se hizo el adecuado test de percolación el cual determina el tipo de sistema de percolación a emplearse, asumiendo que tampoco se hizo un buen estudio de suelos ya que el suelo podría ser de material arcilloso este tipo de suelo con el agua se forma un material lodoso y viscoso evitando que infiltre el agua en el suelo provocando que se colmate el agua en el pozo de percolación.



Fotografía 1. Pozo de absorción colmatado.

3.5.3.3. Procedimiento de recolección de muestras en las UBS –AH, con biodigestores autolimpiables Rotoplas

Para la recolección de muestras se tuvo en cuenta: El programa de monitoreo, los puntos de monitoreos, los equipos y procedimientos para la toma de muestras. Debido a que es una investigación descriptiva el método utilizado fue la observación directa, y se tomó las muestras siguiendo las pautas del “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales”, aprobado con Resolución Ministerial N° 273-2013 - VIVIENDA, en el que estipula los diferentes lineamientos para la recolección de muestras.

i. Definición del programa de monitoreo

Las tomas de muestra de los parámetros físicos: temperatura (T) y sólidos totales en suspensión (STS), parámetros químicos: potencial de hidrógeno (pH), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), aceites y grasas (AyG) y los parámetros microbiológicos: coliformes termotolerantes (CTT), parámetros de análisis obligatorio para aguas residuales domésticas, según el reglamento MVCS (2013), puesto que estos parámetros se asocian directamente con la eficacia del tratamiento de aguas residuales domésticas evaluándolos con los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM, y eficiencias de remoción, los cuales se muestrearon en 3 repeticiones o monitoreos cada 30 días, a la entrada (afluente), y salida (efluente), de los 6 biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

ii. Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo se estableció para medir los cambios sustanciales que ocurren en determinados periodos de tiempo, el seguimiento periódico se realizó en 3 monitoreos cada 30 días, para determinar las variaciones de los parámetros físico, químicos y microbiológicos ligados al agua residual cruda y tratada del biodigestor autolimpiable.

Tabla 11

Control de monitoreo de los 6 biodigestores de las UBS -AH

Parámetros	Año 2019											
	Febrero				Marzo				Abril			
	(A,E)				(A,E)				(A,E)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Temperatura		X				X				X		
STS		X				X				X		
pH		X				X				X		
DBO ₅		X				X				X		
DQO		X				X				X		
Aceites y Grasas		X				X				X		

Fuente: elaboración propia.

iii. Identificación de los puntos de monitoreo

Reconocidos los lugares de monitoreo, se ubicaron los puntos de monitoreo, estableciendo dos puntos de monitoreo (afluente y efluente):

- Afluente (A): agua residual cruda que entrada al biodigestor autolimpiable

Se ubicó este punto A, en el ingreso de las aguas residuales al biodigestor autolimpiable. Para determinar las concentraciones antes del proceso de tratamiento,

donde la digestión se lleva a cabo, dentro del biodigestor autolimpiable Rotoplas, por acción de las colonias de bacterias que están adheridas en los aros Pet, que vienen a ser los filtros del biodigestor, durante un tiempo de retención de 48 Horas, cabe destacar que los lodos llevan 1 año sedimentados en el biodigestor.

Las muestras del afluente se obtuvieron para los 7 parámetros, desarrollando el procedimiento de muestreo con los implementos de seguridad adecuados como: guardapolvos, guantes, mascarillas, se batió a unos 30 cm de profundidad el agua residual dentro del biodigestor para tomar una muestra representativa del afluente, para evitar el contacto directo con las aguas residuales se empleó una jarra de medio litro debidamente esterilizado para cada biodigestor, para evitar modificar la composición natural del afluente, se usó botellas de plástico (yogurt) de 1 litro de capacidad debidamente esterilizadas y selladas. Como se ve en la siguiente fotografía la muestra se tomó de la tubería de ingreso que está en forma de una “T” hacia el costado, señalado por una estrella.



Fotografía 2. Punto de monitoreo del afluente (A), tomados del biodigestor.

- Efluente (E): agua residual tratada que sale del biodigestor y entra al pozo de percolación.

Se ubicó este punto E, en la tubería de salida del biodigestor autolimpiable de agua residual tratada, tomando las muestras en la entrada del pozo percolador. Como se explicó anteriormente el biodigestor siempre funciona lleno, por rebalse, a medida que entra agua residual desde la casa, el agua residual es dirigida por el tubo de ingreso hacia una “T” colocada en el centro del biodigestor, hasta la parte inferior del tanque, para después subir por el medio filtrante donde se encuentran adheridas los microorganismos en los aros Pet, quienes degradan la materia orgánica presentes en el agua residual para finalmente salir agua residual tratado hacia el pozo de percolación.

Las muestras del efluente se obtuvieron para los 7 parámetros, desarrollando el procedimiento de muestreo con los implementos de seguridad adecuados, se batió a unos 30 cm de profundidad del agua residual dentro del pozo de percolación para tomar una muestra representativa del efluente y para evitar el contacto directo con las aguas residuales se empleó una jarra de medio litro debidamente esterilizado para cada pozo de percolación, así evitar modificar la composición natural del efluente, se usó botellas de plástico (yogurt) de 1 litro de capacidad debidamente esterilizadas y selladas. Como se ve en la siguiente fotografía la muestra se tomó del pozo de percolación.



Fotografía 3. Punto de monitoreo del efluente (E), tomados del pozo de percolación.

Una vez definidos los puntos de monitoreo se procedió a coleccionar las muestras respectivas, para cada parámetro de monitoreo, de cada biodigestor.

iv. Parámetros de calidad

Los parámetros sujetos al monitoreo en los afluentes y efluentes de los biodigestores autolimpiables son los indicados en el D.S. N° 003-2010-MINAM, donde también se fijan los límites máximos permisibles para los efluentes.

Marco legal de aguas residuales en el Perú:

En el artículo 33° de la Ley N° 28611 Ley General del Ambiente menciona que, es importante realizar la revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad. Según lo decretado se aprueba el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, “Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” MINAM (2010). Los Límites Máximos Permisibles (LMP), para los efluentes que se establecen en la presente norma son de cumplimiento obligatorio:

Tabla 12

Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	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	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: MVCS (2013).

v. Parámetros de medición y control:

- Parámetros físicos:
 - Sólidos Totales Suspendidos.
 - Temperatura
- Parámetros químicos:
 - pH
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno
 - Demanda Química de Oxígeno
 - Aceites y Grasas
- Parámetro microbiológico:
 - Coliformes Termotolerantes

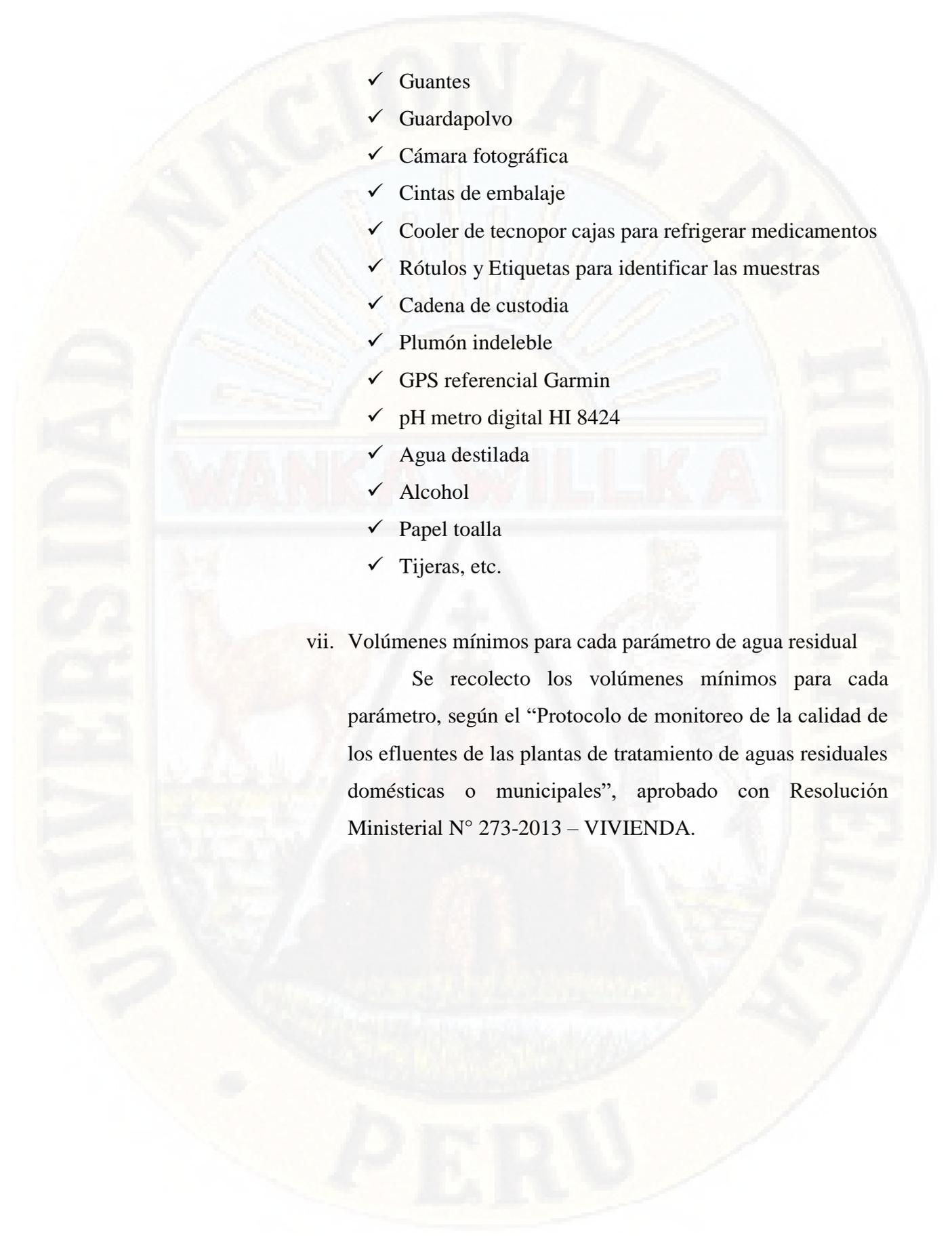
La presente investigación determino la eficacia de los biodigestores, el cual estuvo determinada por el grado de cumplimiento de los objetivos específicos planteados; constituidos por la eficiencia de remoción del biodigestor y la calidad de los efluentes.

Por lo tanto, se dirá que los biodigestores autolimpiables son eficaces, en el tratamiento de aguas residuales domésticas, siempre y cuando cumplan con todos los objetivos específicos planteados para la investigación.

vi. Materiales para la toma de muestras

Para el procedimiento de la toma de muestras se utilizaron los siguientes materiales:

- ✓ Termómetro ambiental
- ✓ Envases de plástico (yogurt), esterilizados
- ✓ Jarra esterilizada
- ✓ Mascarillas

- 
- ✓ Guantes
 - ✓ Guardapolvo
 - ✓ Cámara fotográfica
 - ✓ Cintas de embalaje
 - ✓ Cooler de tecnopor cajas para refrigerar medicamentos
 - ✓ Rótulos y Etiquetas para identificar las muestras
 - ✓ Cadena de custodia
 - ✓ Plumón indeleble
 - ✓ GPS referencial Garmin
 - ✓ pH metro digital HI 8424
 - ✓ Agua destilada
 - ✓ Alcohol
 - ✓ Papel toalla
 - ✓ Tijeras, etc.

vii. Volúmenes mínimos para cada parámetro de agua residual

Se recolecto los volúmenes mínimos para cada parámetro, según el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales”, aprobado con Resolución Ministerial N° 273-2013 – VIVIENDA.

Tabla 13

Volúmenes mínimos de muestras de aguas residuales

Parámetro	Volumen mínimo de muestra
Físico	
Temperatura	1000 ml
Sólidos totales suspendidos	100 ml
Químico	
pH	50 ml
DBO ₅	1000 ml
DQO	100 ml
Aceites y Grasas	1000 ml
Microbiológico	
Coliformes Termotolerantes	250 ml

Fuente: MVCS (2013).

viii. Rotulado de muestras y registro de datos de campo

Se rotuló antes de la toma de muestras, con los datos: procedencia de la muestra, punto de muestreo, fecha y hora de muestreo, tipo de muestra, operador del muestreo y característica de la muestra. Los datos tomados en campo fueron registrados en las fichas de campo del laboratorio y en la cadena de custodia, esté último para ser enviado junto con las muestras almacenadas para su transporte a la ciudad de Huancavelica y Huancayo.

ix. Proceso de recolección de muestras

- Parámetros de campo
 - ✓ Temperatura ambiental

Se tomó los datos de temperatura ambiental con un termómetro del mismo nombre, para cada monitoreo, obteniendo para febrero una temperatura de 9 °C, para el mes de marzo se tuvo 8° C y para el mes de abril se registró 8 ° C; teniendo un promedio total de 8.3 °C.



Fotografía 4. Medición de la temperatura ambiental.

✓ Temperatura y pH del agua residual

Las muestras simples de temperatura y pH fueron tomadas en frascos plásticos de yogurt de 1 litro de capacidad debidamente esterilizados y la lectura de estos parámetros de campo se realizó en forma inmediata in situ por lo cual no aplica los procedimientos de almacenamiento y preservación. Se usó el método: Electrométrico, usando el pHmetro digital HI 8424.

Procedimiento de medición:

- ✓ Se calibra el pH metro con tres soluciones buffer, acida, neutra y alcalina.
- ✓ Después el electrodo se coloca en la muestra analizar.
- ✓ Se presiona la opción READ, para dar lectura.
- ✓ Después de lectura se lava el electrodo con agua destilada para hacer otra medición.



Fotografía 5. pH metro digital HI 8424.

- **Parámetro de sólidos totales en suspensión (STS)**

Se tomó la muestra en tal forma que se trató que no contenga partículas flotantes grandes o aglomerados, se utilizó frascos plásticos de yogurt de 1 litro de capacidad debidamente esterilizados. No se añadió ningún preservantes porque se tiene un plazo para el análisis de siete días. siguientes a la toma de la muestra se refrigero a 4 °C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos.
- **Parámetro demanda química de oxígeno (DQO)**

Las muestras fueron recolectadas en frascos plásticos de yogurt de 1 litro de capacidad debidamente esterilizados. Se llenaron las botellas con el agua residual de 1000 ml, hasta que rebosaron y se cerraron sin dejar burbujas. No se añadió ningún preservante por que las muestras pueden ser almacenadas, refrigerada y protegidas de la luz por un periodo no superior a 7 días.

- Parámetro demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La colección de las muestras se hizo en frascos plásticos de yogurt de 1 litro de capacidad debidamente esterilizados, los cuales poseen boca ancha. Se enjuagó el frasco tres veces, al tomar la muestra se llenó completamente el frasco e inmediatamente se tapó (no se debe de congelar la muestra), no requiere de preservantes.

- Parámetro aceites y grasas (AyG)

Se realizaron la toma de muestras directa sin realizar el enjuague. La toma de muestra se hizo en la superficie del agua, en frascos plásticos esterilizados de 1 litro de capacidad y no se añadió ningún preservante porque se tiene hasta 7 días para su respectivo análisis.

- Parámetros coliformes termotolerantes (CTT)

Las muestras para este parámetro se colectó 1000 ml y se realizó a una profundidad de 20 a 30 cm. En frascos plásticos esterilizados de yogurt de 1 litro de capacidad, estos frascos no fueron sometidos al enjuague, la toma fue directa dejando una porción de 1/3 partes del frasco sin llenar de manera que el aire contenido en esta zona asegure el suministro de oxígeno para los microorganismos que lo necesiten hasta su análisis. No se añadió ningún preservante

x. Transporte y almacenamiento de muestras

Una vez tomadas las muestras de agua residual, se procedió a almacenar en un cooler de tecnopor de 1 m de largo, 1m de ancho y 90 cm de altura, para su posterior transporte a la ciudad de Huancayo.

Los parámetros de: sólidos totales en suspensión (STS) demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y aceites y grasas (AyG), se mandaron a analizar en el laboratorio “RCJ LABS UNIVERSAL – SERVICIO DE ANÁLISIS DE MINERALES SUELO AGRÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE”, de la ciudad de Huancayo, en cuanto al parámetro microbiológico de coliformes termotolerantes (CTT) se transportó y analizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Huancavelica.

3.5.4. Procedimientos de recolección de datos de laboratorio

Los métodos y procesos de análisis en laboratorio se realizaron usando las técnicas analíticas establecidas por: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA *et al.* (1989) y del Manual de Análisis de agua segunda edición en español (HACH, 2000).

Tabla 14

Técnicas de recolección de datos de laboratorio

Parámetros físicos	
Parámetro	Técnica de análisis
Temperatura	Método electrométrico.
Sólidos totales en suspensión	ME – 04 método clásico instrumental.
Parámetros químicos.	
Parámetro	Técnica de análisis
Potencial de hidrógeno	Método electrométrico
Demanda química de oxígeno	ME – 05 – 2017 método de colorímetro.
Demanda bioquímica de oxígeno	ME – 98 examination of that water and wastewater.
Aceites y grasas	ME – 03 – 2017 método de extracción.
Parámetros microbiológicos	
Coliformes termotolerantes	Método de tubos múltiples – conteo en placas Petri.

Fuente: elaboración propia.

3.5.4.1. Instrumentos de recolección de datos de laboratorio

Se utilizaron los siguientes instrumentos para la recolección de datos de laboratorio, para todos los parámetros excepto temperatura y pH.

✓ Equipo de filtración para sólidos totales en suspensión (STS)

La filtración al vacío es un procedimiento de separación física, utilizado para separar muestras o mezclas sólidas - líquidas. La muestra se vierte en un embudo, al que se le ha colocado el filtro adecuado, el sólido de la muestra o de la mezcla, queda en el filtro, y el líquido es atraído hacia el recipiente recolector. Esta técnica es más rápida, que la filtración habitual por gravedad, acelerando la velocidad de filtración. Las partes básicas son: bomba al vacío, trampa al vacío, batería de filtración de seis puestos, mangueras conectoras, embudos de filtración.

Donde se tiene:

- Filtración al vacío: técnica de separación de mezclas sólido-líquido.
- Filtro: material poroso, de diferente diámetro, a través del cual se hace pasar un fluido para purificar o depurarlo.
- El filtro Whatman de N° 42 de diámetro de 2,5 μm es el grado máximo de filtración de partícula fina en la gama cualitativa. Capaz de retener los precipitados finos que aparecen en análisis químicos. Caudal lento. Excelente filtro para clarificar suspensiones turbias y para el análisis de agua residuales.
- Bomba de vacío: dispositivo que extrae moléculas de gas de un volumen sellado, formando un vacío parcial, también llegan a extraer sustancias no deseadas.

- ✓ Equipo soxhlet para extracción de aceites y grasas

El método se basa en la extracción de grasa de la muestra mediante el tratamiento con solvente en el aparato de Soxhlet, la duración del tiempo de extracción depende del tipo de muestra que se analice, pero la mayoría requieren has de 4 horas.

Las partes del equipo de extracción soxhlet son: matraz o balón colector, frasco extractor o decantación, condensador, cartucho de filtro N° 42. Su funcionamiento consiste en hacer hervir en le matraz con el disolvente con el cual se va a extraer la materia sólida deseada que se encuentra en la muestra depositado en el cartucho del “soxhlet”. Los vapores de los disolventes ascienden por el extractor y se condensan en el refrigerante cayendo gota a gota sobre el cartucho. La parte soluble pasa por gravedad al matraz.

- ✓ Equipo DQO

El kit comprende tubos de reactivos (viales), reactor y colorímetro para la lectura. Los tubos de reactivos (viales) son reactivos contenidas en tubos de hechos de vidrio óptico especial con un diámetro de 16 mm, para su uso como una cubeta. Tienen la cantidad exacta de reactivo para la reacción, que sólo requiere la adición de la muestra. Evita el contacto y almacenamiento de productos químicos superfluos y aumenta la seguridad de prueba. Incluye 50 tubos divididos en dos cajas con diferentes fajas rango bajo (- 0 a 150 ppm) y rango alto (0 a 1500 ppm) de DQO.

- El reactor modelo RD 125 tiene la configuración preseleccionada para el análisis de DQO (2 horas - 150 °C) en la memoria, espacio para 24 tubos de 16 mm,

apagado automático para terminar el proceso de digestión y es bivolt (seleccionable).

- El colorímetro para la lectura modelo DR 2010, realiza lectura de concentración de bajo y alto rango.
- ✓ Frascos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La técnica utilizada para la medición de la DBO₅, es la siguiente: se introduce un volumen definido de la muestra de agua residual en un frasco opaco que evite que la luz pueda introducirse en su interior (se eliminarán de esta forma las posibles reacciones fotosintéticas generadoras de gases), se introduce un agitador magnético en su interior, y se tapa la boca de la botella con un capuchón de se cierra la botella con un sensor piezoeléctrico, y se introduce en una estufa refrigerada a 20 °C las bacterias irán oxidando la materia orgánica del interior de la disolución, con el consecuente gasto de oxígeno del interior de la botella. Estas bacterias, debido al proceso de respiración, este proceso provoca una disminución interior de la presión atmosférica, que será medida con el sensor piezoeléctrico.

Métodos de análisis en laboratorio:

Los métodos de análisis de laboratorio se realizaron usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso; se basó principalmente en los: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA *et al.* (1989) y del Manual de análisis de agua segunda edición en español (HACH, 2000).

❖ Sólidos totales suspendidos (STS)

Se usó el método: ME – 04 método clásico instrumental, los sólidos totales en suspensión son el material retenido sobre un filtro (Whatman N° 42), preferentemente de 2.5 μm de diámetro.

Preparación del filtro

- Colocar el filtro en un equipo de filtración por vacío (embudo de membrana filtrante de 2.5 μm de diámetro, frasco de succión, trampa de agua, bomba de vacío).
- Tomar un volumen de muestra de 200 ml y verter el volumen medido en el embudo de filtración y comenzar la succión.
- Lavar con 3 porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada, Continuar la succión hasta eliminar totalmente el agua.
- Secar durante una hora a 103 - 105 °C hasta obtener peso constante.
- Colocar en desecador durante 30 minutos.
- Pesar el filtro antes de usarlo y determinar la diferencia con el peso del filtro con los sólidos retenidos (INVEMAR, 2003).



Figura 23. Diagrama de flujo del análisis de STS.

Fuente: INVEMAR (2003).

❖ Aceites y grasas (AyG)

Se usó el método: ME – 03 – 2017 método de extracción; los aceites y grasas se considera cualquier material recuperado de la muestra acidificada, como una sustancia soluble en éter de petróleo y no volatilizables durante el ensayo. Los aceites y grasas quedan definidos por el método de análisis utilizado.

Los aceites y las grasas viscosas presentes, así como los sólidos, son separados por filtración de la muestra líquida de 500 ml. Una vez separados de la solución, en el material retenido en el filtro se realiza una extracción en un equipo Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo. La ganancia de peso en el frasco de extracción luego de evaporado el solvente corresponde al contenido de aceites y grasas presentes en la muestra.



Fotografía 6. Equipo Soxhlet (frasco de extracción o decantación).

❖ Demanda química de oxígeno (DQO)

Se utilizó como método de ensayo: ME- 05-2017 Método Colorímetro. La demanda química de oxígeno es la medida del equivalente en oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra que es susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte. Para muestras de una fuente específica, la DQO puede relacionarse empíricamente con la DBO₅. El método colorímetro es el más aceptado para su determinación debido a su mayor capacidad oxidativa, aplicabilidad a una gran variedad de muestras y fácil manipulación (INVEMAR, 2003).

Para la determinación de la DQO se utilizaron los siguientes materiales y equipos; pipeta, puntas de pipeta, viales para DQO de rango bajo (0-150 mg/L). Que son soluciones preparadas propios del equipo marca Hach. Reactor digestor RD 125 y colorímetro DR 2010. La muestra debe guardarse refrigerada y protegida de la luz por un periodo no superior a 7 días (HACH, 2000).

El procedimiento para su determinación es el siguiente:

- ✓ Encender el equipo Reactor digestor RD 125 para que vaya calentando y llegue a una temperatura de 150°C.
- ✓ Marcar con plumón indeleble en la tapa del vial, la muestra a pipetear.
- ✓ Retirar la tapa e inclinar 45°, después con ayuda de puntas de pipeta agregar 2 ml de muestra de agua residual.
- ✓ Tapar bien los tubos de digestión y agitarlos vigorosamente, no tocar la base del vial, para evitar la presencia de las huellas dactilares se usó guantes.
- ✓ Colocar los viales (tubos con solución preparada de rango bajo propio del equipo) en el digestor a una temperatura de 150 °C durante 2 horas.

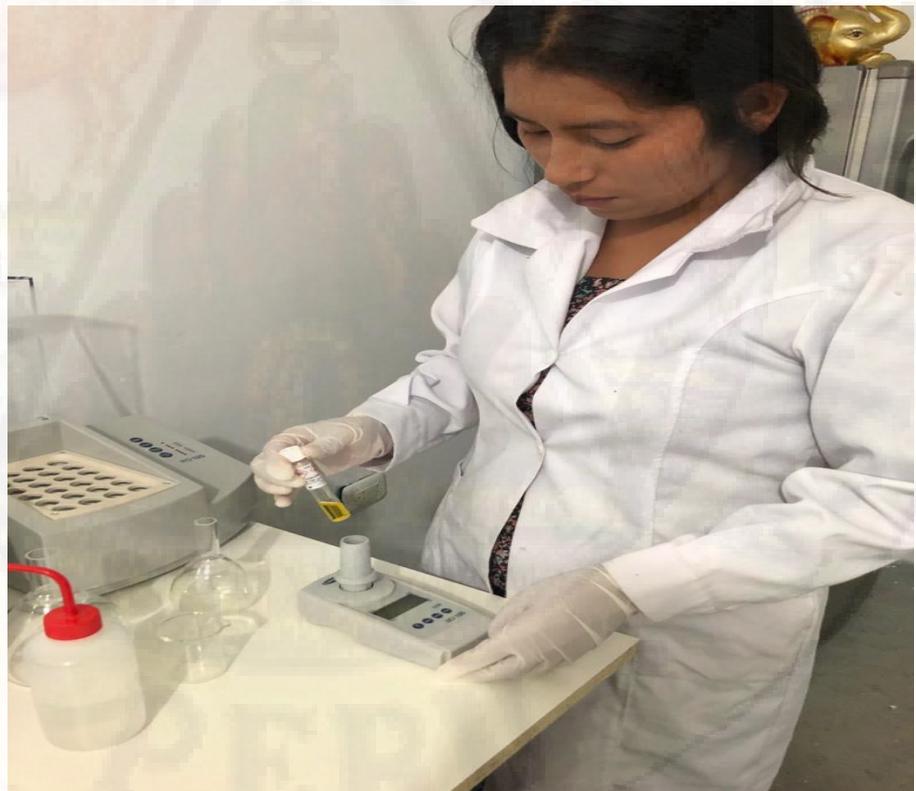
- ✓ Enfriar los viales (tubos con solución preparada de rango bajo propio del equipo) a temperatura ambiente colocándolos en una gradilla. La gradilla debe ser adecuada para no deteriorar la calidad del vidrio de los tubos, los que se usan como celda en el espectrofotómetro.
- ✓ Apagar el digestor y dejar que enfrié.
- ✓ Para su lectura se utilizó el colorímetro DR 2010, en la opción lectura de DQO de bajo rango: (0-150 mg/L).
- ✓ Se colocó los viales con la muestra fría en el adaptador con el logotipo de Hach hacia el frente del instrumento, colocar la tapa en el adaptador.
- ✓ Se presionó READ en la pantalla apareció leyendo. Luego apareció el resultado en mg/L de la DQO.



Fotografía 7. Viales para DQO de rango bajo marca Hach.



Fotografía 8. Equipo Reactor digestor RD 125.



Fotografía 9. Colorímetro DR 2010.

❖ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se utilizó como método de ensayo: ME- 98 EXAMINATION OF THE WATER AND WASTEWATER.

El procedimiento para su determinación es el siguiente:

- ✓ Se agregó 1 dosis de solución alimentadora (diluciones), a un frasco con muestra de 250 ml de agua residual.
- ✓ Se agregó Hidróxido de sodio (NaOH), al capuchón del frasco.
- ✓ Se tomó 1 ml de muestra con una pipeta, se diluyó con 10 gotas de Nitrificante en otro frasco con 100 ml de agua destilada estéril repetidos 3 veces.
- ✓ Cerrar adecuadamente los frascos tratando de no atrapar ninguna burbuja de aire y mezclar la dilución con un agitador magnético.
- ✓ Se llevó a incubadora a 20 °C incubar en la oscuridad por 5 días.
- ✓ Lecturar con la medición del sensor piezoeléctrico.



Fotografía 10. Botellas de DBO₅ y agua destilada estéril.



Fotografía 11. Incubadora a 20 °C.

❖ **Coliformes termotolerantes (CTT)**

Se usó el método: Método de tubos múltiples – conteo den placas Petri. El procedimiento para su determinación es el siguiente:

Técnica de tubos múltiples:

La prueba de tubos múltiples constituye un método estandarizado para la determinación de la densidad de bacterias indicadoras de contaminación. En esta prueba, réplicas de tubos de medios de cultivo (caldo de bilis verde brillante), son inoculados con diluciones decimales de muestras de agua residual del afluyente y efluente de los 6 biodigestor. La densidad bacteriana fue calculada por medio de fórmulas de probabilidad que estiman el número más probable de bacterias para producir ciertas combinaciones de resultados positivos (como formación de gas) y negativos (sin formación de gas).

- ✓ Se inoculó las muestras de cada biodigestor por pipeteo en tubos de ensayo con caldo verde brillante dotados de tubos Durham. Luego se incubaron durante 48 horas a 35 °C. Los tubos con formación de gas se consideran como positivos, con respecto a bacterias coliformes.
- ✓ Los resultados del análisis de los tubos de réplica y diluciones fueron reportados según las tablas del NMP, según "Standard Methods for examination of water and wastewater", en términos de número más probable (NMP), siendo estos resultados solo aproximados y no datos exactos por lo cual se decidió realizar el conteo de coliformes inoculados en placas Petri con Agar Mc Conkey.

Materiales:

- | | |
|----------------------------------|------------------------|
| - Muestras de agua. | - Alcohol |
| - Caldo de bilis verde brillante | - Gradillas para tubos |
| - Tubos de ensayo | - Pera de succión |
| - Campanas Durham | - Autoclave |
| - Pipetas | - Agar Mc Conkey |
| - Mechero | - Incubadora |
| - Agua destilada estéril | - Luna de reloj |
| | - Balanza analítica |

Metodología del análisis en laboratorio:

- ✓ Esterilización en autoclave de agua destilada y de materiales: tubos de ensayo, luna de reloj, pipetas, matraz, pera de succión en autoclave a 115 °C por 30 minutos a presión de 15 PSI y en el horno.



Fotografía 12. Esterilización de agua destilada y materiales.

- ✓ Preparación de la solución, Caldo de bilis verde brillante:

Tabla 15

Numero de muestras de los coliformes termotolerantes

Componentes	Cantidad de muestras	Total de muestras
Cantidad de biodigestores	6	
Parámetros	1	36
Afluente y efluente	2	
Monitoreo y control	3	

Fuente: elaboración propia.

- a) En primer lugar, se calculó la cantidad de tubos a utilizar:

1 muestra ----- 9 tubos

36 muestras -----X tubos

$$X = \frac{36 \text{ muestras} * 9 \text{ tubos}}{1 \text{ muestra}} = 324 \text{ tubos}$$

b) Luego determinamos el volumen de solvente (agua destilada estéril) a utilizar:

Para una muestra:

1 muestra ----- 9 tubos

1 tubo -----9 ml

$$X = 9 * 9 = 81 \text{ mL/ muestra}$$

Entonces:

1 muestra ----- 81 ml

36 muestras -----X ml

$$X = \frac{81 \text{ mL} * 36 \text{ muestras}}{1 \text{ muestra}} = 2916 \text{ mL}$$

c) Procedemos a calcular el peso del soluto (Caldo bilis verde brillante), según sus especificaciones técnicas del mismo, Caldo de bilis verde brillante: suspender 40.01 gr. En 1000 mL de agua estéril.



Fotografía 13. Especificaciones del caldo bilis verde brillante.

Para 1 muestra:

41.01 gr ----- 1000 ml

X gr ----- 81 ml

$$x = \frac{40.01 \times 81}{1000} = 3.241 \text{ gr para 1 sola muestra}$$

Para 36 muestras:

41.01 gr ----- 1000 ml

X gr ----- 2916 ml

$$x = \frac{40.01 \times 2916}{1000} = 116,67 \text{ gr. para todas las muestras 36.}$$

d) Teniendo todos los datos calculados, se procedió con el análisis de las muestras de los 6 biodigestores:

- Se pesó caldo bilis verde brillante en la balanza analítica digital con una luna de reloj, 3.241 gr. para 1 sola muestra, repetidas 36 veces llegando a un total de 116,67 gr. Para las 36 muestras.



Fotografía 14. Pesaje de caldo bilis verde brillante en la balanza analítica digital.

- Se desinfecto la zona de trabajo.
- Se trabajó en todo momento con el mechero encendido, para crear una zona aséptica.



Fotografía 15. Desinfecto y esterilización de la zona de trabajo.

- Para trabajar en laboratorio, se realizó diversos monitoreos, obteniendo muestras de agua residual provenientes del afluente y efluente de los 6 biodigestores los que estuvieron debidamente rotulados.



Fotografía 16. Muestras de agua residual del afluente y efluente de los 6 biodigestores.

- Se midió 81 mL de agua destilada estéril para diluir el soluto pesado 3.241 gr. Todo para 1 muestra repetidas 36 veces llegando a un volumen de solvente total de 2916 ml. Con 116,67 gr. Para las 36 muestras.
- Teniendo la cantidad de solución calculado, pasamos a preparar el caldo verde brillante en cada matraz.



Fotografía 17. Solución de caldo verde brillante.

- Pipeteamos 9ml de la solución de Caldo bilis verde brillante, en cada tubo de ensayo para luego añadir las diluciones de las muestras.



Fotografía 18. Dilución con caldo verde brillante de 9 ml y campanas Durham.

Diluciones de las muestras

- Se hizo tres diluciones seriadas para asegurar la obtención de datos cuantitativos de la siguiente manera: se extrajo 1ml de las muestras de agua residual de cada biodigestor (afluente y efluente), que adicionamos en el primer tubo de ensayo 10^{-1} con contenido de 9 ml de agua destilada estéril para luego tomar 1 ml del primer tubo y pasar al segundo tubo de ensayo 10^{-2} , y repetir una vez más tomando 1 ml del segundo tubo y pasar al tercer tubo de ensayo 10^{-3} cada uno debidamente rotulados 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} .
- Una vez formada las dilución decimal 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} se realizó 3 pases de 1 ml. de cada una de las diluciones 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} en forma seriada a 3 tubos de ensayo de cada dilución contenidos con caldo verde brillante de 9 ml y campanas Durham, que posteriormente indicará la presencia o no de coliformes.

Tabla 16

Diluciones seriadas de la muestra de agua residual

Dilución	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
A			
1	10^{-1} 1 ml de A^{-1}	10^{-1} 1 ml de A^{-2}	10^{-1} 1 ml de A^{-3}
2	10^{-2} 1 ml de (1)	10^{-2} 1 ml de (1)	10^{-2} 1 ml de (1)
3	10^{-3} 1 ml de (2)	10^{-3} ml de (2)	10^{-3} ml de (2)

Fuente: elaboración propia.

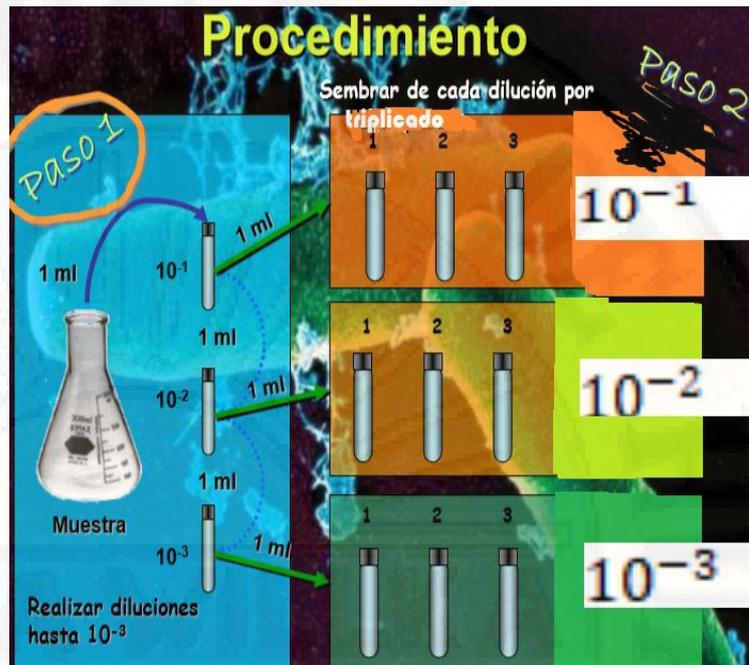


Figura 24. Diluciones seriadas de la muestra de agua residual.

Fuente: Rugama y Castillo (2014).

- Teniendo las diluciones seriadas de la muestra de agua residual, todos los tubos de ensayo se colocaron en la incubadora a 44.5 °C por 48 horas para obtener resultados.



Fotografía 19. Incubación de las diluciones seriadas a 44.5 °C.

- El valor numérico de la estimación del contenido bacteriano es determinado pasada las 48 horas, por la dilución que mostró burbuja en las campanas de Durham, ambos resultados positivos y negativos
- Los resultados del análisis de los tubos de réplica y diluciones fueron reportados según las tablas del NMP, según "Standard Methods for examination of water and wastewater", en términos de número más probable (NMP), siendo estos resultados solo aproximados y no datos exactos por lo cual se decidió realizar el conteo de las colonias de coliformes en placas Petri con Agar Mc Conkey.

Conteo de coliformes en placa Petri:

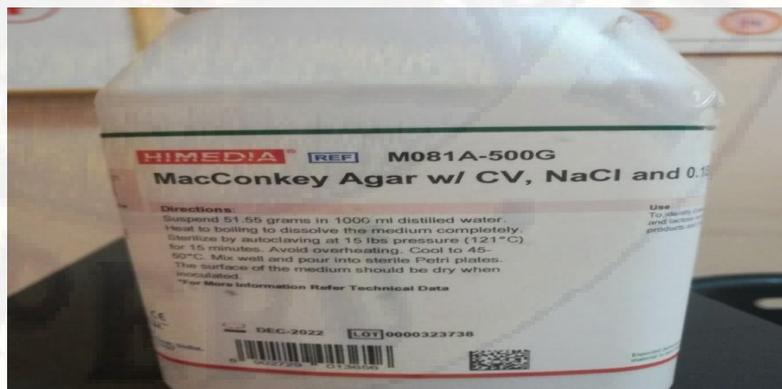
- Pesar el Agar Mc Conkey indicadas según sus especificaciones del Agar: 55.5 gr. En 1000 ml, calculando las cantidades en relación con los volúmenes requeridos.

Para 1 muestra:

55.5 gr ----- 1000 ml

X gr ----- 81 ml

$$x = \frac{55.5 \times 81}{1000} = 4.496 \text{ gr. para 1 muestra}$$



Fotografía 20. Especificaciones del Agar Mac. Conkey.

- Hallar el número de placas a usar:

1 muestra ----- 1 placa

36 muestras -----X tubos

$$X = \frac{36 \text{ muestras} * 1 \text{ tubos}}{1 \text{ muestra}} = 36 \text{ placas}$$

- Disolverlas en la cantidad de agua destilada estéril necesario:
10 ml por el total de muestras 36 obteniendo un volumen total de solvente de 360 ml. Se llevó a ebullición

Entonces:

1 placa ----- 10 ml

36 placas-----X ml

$$X = \frac{10 \text{ mL} * 36 \text{ placas}}{1 \text{ placa}} = 360 \text{ mL}$$

- Enfriar moderadamente y esterilizar en autoclave por 15 minutos a 121 °C.
- Servir 10 ml en cada placa Petri, completamente estériles y siempre frente a una llama (mechero).
- Agregar 1 ml de las diluciones preparadas anteriormente en los tubos de ensayo solo las muestras que resultaron tener más burbujas (tubos positivos), luego agregar 10 mL. del agar Mc Conkey licuado y temperado a 45°C, luego homogenizar con movimientos de vaivén.
- Dejar solidificar unos instantes.
- Agregar una capa adicional del mismo agar, cubriendo completamente la superficie del agar solidificado, inhibiendo de esta manera el crecimiento de las colonias en la superficie
- Incubar las placas invertidas a 37°C por 48 horas.

- Para el recuento se considera las colonias rojo oscuro.

Se obtiene el resultado como número más probable por 1 ml (NMP/1ml) de muestra, para expresar los resultados en las unidades requeridas (NMP/100 mL), por la norma D.S. N° 003-2010-MINAM. Se realiza la conversión de la siguiente manera.

Para expresar los resultados como (NMP/100 mL) solo se multiplica los resultados (NMP/1ml) * 100 = obteniendo resultados como (NMP/100 mL).



Fotografía 21. Recuento de colonias con microscopio de poco aumento.

3.6. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Se realizó el monitoreo del afluente y efluente de los biodigestores autolimpiables Rotoplas, obteniendo resultados para cada parámetro, se procedió a determinar la eficiencia de remoción del biodigestor, y se evaluó la calidad del efluente con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S 003 – 2010 MINAM, donde la eficiencia se relaciona con los resultados de la calidad de agua residual en el efluente, por ende, lo mencionado constituyen los objetivos específicos de la investigación, estos objetivos presentados anteriormente permitirán estimar si son o no eficaces los biodigestores en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los parámetros de campo fueron temperatura y potencial de hidrógeno, en cuanto a los parámetros: sólidos totales en suspensión (STS), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y aceites y grasas (AyG); fueron transportados al laboratorio “RCJ LABS UNIVERSAL – SERVICIO DE ANÁLISIS DE MINERALES SUELO AGRÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE”, en la ciudad de Huancayo. El parámetro microbiológico coliformes termotolerantes se analizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Huancavelica.

Para establecer los valores porcentuales de la eficiencia se tomó como referencia el antecedente de Ramos (2016) tomando como “modelo de comparación” los resultados obtenidos en su investigación “Uso del biodigestor en el sistema de saneamiento básico por arrastre hidráulico del c.p. de Pampacancha, distrito de Lircay”. Elegido debido a que presenta el mismo sistema de tratamiento para efectos de esta investigación, con similares características de lugar y condiciones climáticas ubicados en la misma región de Huancavelica. Para tal efecto se muestra el método empleado para la determinación de los valores de referencia (ver tabla 17).

La eficiencia se calcula como sigue:

$$E (\%) = \left(\frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

Donde:

E (%): Eficiencia de remoción de uno de sus componentes.

Afluente: Carga contaminante de entrada.

Efluente Carga contaminante de salida.

Tabla 17

Valores referenciales para las eficiencias de remoción en los biodigestores, Huando 2019

parámetros	Antecedente		Valor de referencia	
	C.P. Pampacancha - Lircay		C.P. Nueva Acobambilla - Huando	
	Temperatura (°C)	Eficiencia (%)	Temperatura (°C)	Eficiencia (%)
Sólidos totales en suspensión	15	49.30	8.3	27.28
Demanda química de oxígeno	15	46.92	8.3	25.96
Demanda bioquímica de oxígeno	15	66.44	8.3	36.76
Aceites y grasas	15	24.51	8.3	13.56
Coliformes termotolerantes	15	0	8.3	10

Donde las eficiencias (%), para tomar como valor referencial para el C.P. Nueva Acobambilla, son los valores mínimos fijados en las hipótesis y para la contrastación de las mismas. El cual se calculó por una regla de aspa simple como se muestra:

$$E (\%)_{Huando} = \frac{Eficiencia (\%)_{Lircay} * Temperatura_{Huando}}{Temperatura_{Lircay}}$$

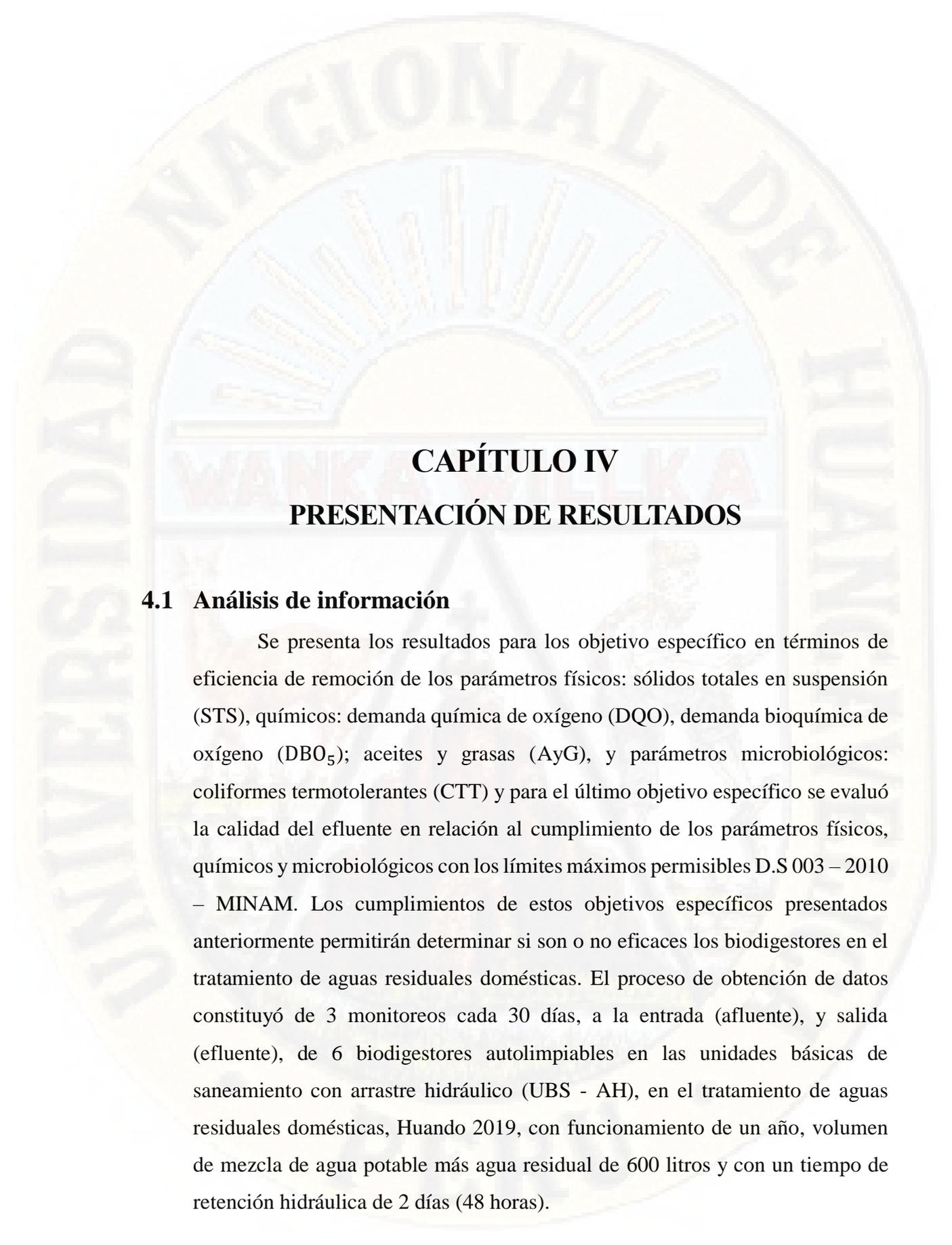
Se observa que los coliformes termotolerantes tuvieron una eficiencia de 0 % ya que en los resultados de Ramos (2016) para este parámetro fueron mayores en el efluente (salida) que al del afluente (entrada) lo que significa que no se

removió los coliformes termotolerantes, para efectos de esta investigación se propone un valor mínimo en términos de eficiencia del 10 % en remoción de los coliformes.

Para validar los datos por parámetro se analizó la prueba de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk, aplicado para tamaños de muestras menores a 50, donde los resultados obtenidos cumplen con el principio de normalidad. Los datos resultantes se recopilaron creando una matriz de datos para cada uno de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos los cuales se registraron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

Para el análisis estadístico se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.4 para obtener los parámetros descriptivos las medidas de tendencia central y de dispersión y gráficos de los parámetros a analizar, para la prueba de contrastación de hipótesis se analizó con la prueba de T – Student para proporciones en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

El nivel de significancia utilizado es 0.05 que corresponde al error de los monitoreos, el cual implica que se tiene el 95 % certeza de obtención de los datos resultantes de cada parámetros físico, químico y microbiológico.



CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis de información

Se presenta los resultados para los objetivo específico en términos de eficiencia de remoción de los parámetros físicos: sólidos totales en suspensión (STS), químicos: demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5); aceites y grasas (AyG), y parámetros microbiológicos: coliformes termotolerantes (CTT) y para el último objetivo específico se evaluó la calidad del efluente en relación al cumplimiento de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con los límites máximos permisibles D.S 003 – 2010 – MINAM. Los cumplimientos de estos objetivos específicos presentados anteriormente permitirán determinar si son o no eficaces los biodigestores en el tratamiento de aguas residuales domésticas. El proceso de obtención de datos constituyó de 3 monitoreos cada 30 días, a la entrada (afluente), y salida (efluente), de 6 biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, con funcionamiento de un año, volumen de mezcla de agua potable más agua residual de 600 litros y con un tiempo de retención hidráulica de 2 días (48 horas).

4.1.1 Eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019

La eficacia se usa para expresar el logro concreto o las acciones conducentes a ese logro concreto, de los fines y objetivos deseados. Partiendo de esta teoría la eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, del Centro Poblado de Nueva Acobambilla, Distrito de Huando, Provincia de Huancavelica, Región Huancavelica, está determinado por el grado de cumplimiento de los objetivos específicos planteados; para el cual se calculó la eficiencia de remoción de cada parámetro los cuales están relacionados con la calidad de agua residual en el efluente de los biodigestores.

De este modo con los resultados obtenidos de la eficiencia y resultados de la calidad de aguas residuales en los efluentes, se procederá a contrastar las hipótesis, para aceptar o rechazar la hipótesis general de investigación el cual fue “Los biodigestores autolimpiables, son eficaces, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019”, para tal efecto deberá cumplir con todas la hipótesis específicas planteadas.

❖ Fórmula para determinar la eficiencia interna del biodigestor en términos de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos:

✓ Primer paso: determinar el factor de la eficiencia:

El cual consiste en un proceso de factorización la fórmula, hallado solo para facilitar el ingreso de datos en las hojas de cálculo Microsoft Excel.

Formula de la eficiencia:

$$E (\%) = \left(\frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

Donde:

E (%): Eficiencia de remoción de uno de sus componentes.

Afluente: Carga contaminante de entrada.

Efluente: Carga contaminante de salida.

- Factorizar el factor:

$$E (\%) = \left(\frac{\text{Afluente}}{\text{Afluente}} - \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

$$E (\%) = \left(1 - \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

$$E (\%) = 100 - 100 * \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}}$$

- Donde el factor viene a ser:

$$\text{Factor} = 100 * \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}}$$

- ✓ Segundo paso: calcular la eficiencia:

Se vuelve a reiterar que se determina el factor solo para facilitar el ingreso de datos en las hojas de cálculo Microsoft Excel.

$$\text{Eficiencia (\%)} = 100 - \text{Factor}$$

De esta manera se determinó el porcentaje de remoción de los parámetros físico: sólidos totales en suspensión (STS); parámetros químicos: demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y aceites y grasas (AyG), finalmente para el parámetro

microbiológico: coliforme termotolerante (CTT). Como se muestra a continuación:

a) Eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019

Tabla 18

Eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión (STS)

Sólidos totales en suspensión (STS)						
Monitoreos	Fecha	Afluente	Efluente	Factor	Eficiencia	% en decimales
Monitoreo 1	15/02/2019	325.5	125.5	38.56	61.44	0.6144
	15/02/2019	320	125	39.06	60.94	0.6094
	15/02/2019	325.5	125	38.40	61.60	0.6160
	15/02/2019	320	125	39.06	60.94	0.6094
	15/02/2019	325	125	38.46	61.54	0.6154
	15/02/2019	322.5	125.5	38.91	61.09	0.6109
\bar{X}_M		323.1	125.2	38.7	61.3	0.613
Monitoreo 2	18/03/2019	225.3	149	65.13	33.87	0.3387
	18/03/2019	224	147	65.63	34.38	0.3438
	18/03/2019	225.3	122.5	54.37	45.63	0.4563
	18/03/2019	224	125.3	55.94	44.06	0.4406
	18/03/2019	225	122.5	54.44	45.56	0.4556
	18/03/2019	225.3	122.75	54.48	45.52	0.4552
\bar{X}_M		224.8	131.3	58.5	41.5	0.416
Monitoreo 3	5/04/2019	222.5	100	44.94	55.06	0.5506
	5/04/2019	206.7	105	50.80	49.20	0.4920
	5/04/2019	200.5	120	59.85	40.15	0.4015
	5/04/2019	203	125.5	61.82	38.18	0.3818
	5/04/2019	203.3	120	59.03	40.97	0.4097
	5/04/2019	312	120	38.46	61.54	0.6154
\bar{X}_M		224.7	115.1	52.5	47.5	0.475
\bar{X}_T		257.52	123.92	49.91	50.09	0.5009

Nota: \bar{X}_M = Promedio de cada monitoreo; \bar{X}_T = Promedio total.

Se observa en la tabla 18, la eficiencia de remoción del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), acumulados durante los 3 monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril, para los 6 biodigestores autolimpiables en las UBS – AH. Obteniendo como resultado que los biodigestores autolimpiables, son eficientes en un promedio de 50.09 %, en remoción de los sólidos totales en suspensión, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

b) Eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019

Tabla 19

Eficiencia de remoción de demanda química de oxígeno (DQO)

Demanda química de oxígeno (DQO)						
Monitoreos	Fecha	Afluyente	Efluente	Factor	Eficiencia	% decimal
Monitoreo 1	15/02/2019	360	95	26.39	73.61	0.7361
	15/02/2019	355	94	26.48	73.52	0.7352
	15/02/2019	350	95	27.14	72.86	0.7286
	15/02/2019	360	90.5	25.14	74.86	0.7486
	15/02/2019	355	93	26.20	73.80	0.7380
	15/02/2019	356	95	26.69	73.31	0.7331
\bar{X}_M		356.0	93.8	26.3	73.7	0.737
Monitoreo 2	18/03/2019	357	93.5	26.19	73.81	0.7381
	18/03/2019	358	92.6	25.87	74.13	0.7413
	18/03/2019	325	93	28.62	71.38	0.7138
	18/03/2019	336	90.3	26.88	73.13	0.7313
	18/03/2019	343	92.3	26.91	73.09	0.7309
	18/03/2019	350	93	26.57	73.43	0.7343
\bar{X}_M		344.8	92.5	26.8	73.2	0.732
Monitoreo 3	5/04/2019	355	92	25.92	74.08	0.7408
	5/04/2019	361	91.2	25.26	74.74	0.7474
	5/04/2019	301	90.8	30.17	69.83	0.6983
	5/04/2019	311	90	28.94	71.06	0.7106
	5/04/2019	330	91.5	27.73	72.27	0.7227
	5/04/2019	345	90.9	26.35	73.65	0.7365
\bar{X}_M		333.8	91.1	27.4	72.6	0.726
\bar{X}_T		344.89	92.42	26.86	73.14	0.7314

Nota: \bar{X}_M = Promedio de cada monitoreo; \bar{X}_T = Promedio total.

Se observa en la tabla 19, la eficiencia de remoción del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), acumulados durante los 3 monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril, para los 6 biodigestores autolimpiables en las UBS – AH. Obteniendo como resultado que los biodigestores autolimpiables, son eficientes en un promedio de 73.14 %, en remoción de la demanda química de oxígeno, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

c) **Eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019**

Tabla 20

Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)						
Monitoreos	Fecha	Afluente	Efluente	Factor	Eficiencia	% decimal
Monitoreo 1	15/02/2019	285.5	80	28.02	71.98	0.7198
	15/02/2019	295.5	80	27.07	72.93	0.7293
	15/02/2019	290.5	80	27.54	72.46	0.7246
	15/02/2019	285.5	80	28.02	71.98	0.7198
	15/02/2019	290	80	27.59	72.41	0.7241
	15/02/2019	285.5	80	28.02	71.98	0.7198
\bar{X}_M		288.8	80.0	27.7	72.3	0.723
Monitoreo 2	18/03/2019	280	80	28.57	71.43	0.7143
	18/03/2019	290	80.5	27.76	72.24	0.7224
	18/03/2019	280	80	28.57	71.43	0.7143
	18/03/2019	274	80.5	29.38	70.62	0.7062
	18/03/2019	281	80	28.47	71.53	0.7153
	18/03/2019	283	80.5	28.45	71.55	0.7155
\bar{X}_M		281.3	80.3	28.5	71.5	0.715
Monitoreo 3	5/04/2019	275	80	29.09	70.91	0.7049
	5/04/2019	285	81	28.42	71.58	0.7158
	5/04/2019	270	80	29.63	70.37	0.7037
	5/04/2019	264	81	30.68	69.32	0.6932
	5/04/2019	272	80	29.41	70.59	0.7059
	5/04/2019	280	81	28.93	71.07	0.7107
\bar{X}_M		274.3	80.5	29.4	70.6	0.706
\bar{X}_T		281.47	80.25	28.53	71.47	0.7147

Nota: \bar{X}_M = Promedio de cada monitoreo; \bar{X}_T = Promedio total.

Se observa en la tabla 20, la eficiencia de remoción del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), acumulados durante los 3 monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril, para los 6 biodigestores autolimpiables en las UBS – AH. Obteniendo como resultado que los biodigestores autolimpiables, son eficientes en un promedio de 71.47 %, en remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

d) Eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019

Tabla 21

Eficiencia de remoción de los aceites y grasas (AyG)

Aceites y grasas						
Monitoreos	Fecha	Afluente	Efluente	Factor	Eficiencia	% decimal
Monitoreo 1	15/02/2019	165	10	6.06	93.94	0.9394
	15/02/2019	165	10	6.06	93.94	0.9394
	15/02/2019	165	10.5	6.36	93.64	0.9364
	15/02/2019	165	10	6.06	93.94	0.9394
	15/02/2019	165	10	6.06	93.94	0.9394
	15/02/2019	165	10.5	6.36	93.64	0.9364
\bar{X}_M		165.0	10.2	6.2	93.8	0.938
Monitoreo 2	18/03/2019	154	10.3	6.69	93.31	0.9331
	18/03/2019	154	10	6.49	93.51	0.9351
	18/03/2019	152	11	7.24	92.76	0.9276
	18/03/2019	152	9.3	6.12	93.88	0.9388
	18/03/2019	155	9.8	6.32	93.68	0.9368
	18/03/2019	154	10.3	6.69	93.31	0.9331
\bar{X}_M		153.5	10.1	6.6	93.4	0.934
Monitoreo 3	5/04/2019	143	10.5	7.34	92.66	0.9266
	5/04/2019	143	10	6.99	93.01	0.9301
	5/04/2019	139	10.5	7.55	92.45	0.9245
	5/04/2019	140	8.5	6.07	93.93	0.9393
	5/04/2019	145	9.5	6.55	93.45	0.9345
	5/04/2019	144	10	6.94	93.06	0.9306
\bar{X}_M		142.3	9.8	6.9	93.1	0.931
\bar{X}_T		153.61	10.04	6.55	93.45	0.9345

Nota: \bar{X}_M = Promedio de cada monitoreo; \bar{X}_T = Promedio total.

Se observa en la tabla 21, la eficiencia de remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), acumulados durante los 3 monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril, para los 6 biodigestores autolimpiables en las UBS – AH. Obteniendo como resultado que los biodigestores autolimpiables, son eficientes en un promedio de 93.45 %, en remoción de los aceites y grasas, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

e) **Eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019**

Tabla 22

Eficiencia de remoción de los coliformes termotolerantes (CTT)

Coliformes termotolerantes (CTT)						
Monitoreos	Fecha	Afluente	Efluente	Factor	Eficiencia	% decimal
Monitoreo 1	15/02/2019	3500	2200	62.86	37.14	0.3714
	15/02/2019	3500	2200	62.86	37.14	0.3714
	15/02/2019	3550	2250	63.38	36.62	0.3662
	15/02/2019	3500	2250	64.29	35.71	0.3571
	15/02/2019	3500	2200	62.86	37.14	0.3714
	15/02/2019	3550	2250	63.38	36.62	0.3662
\bar{X}_M		3516.7	2225.0	63.3	36.7	0.367
Monitoreo 2	18/03/2019	3530	2230	63.17	36.83	0.3683
	18/03/2019	3530	2225	63.03	36.97	0.5697
	18/03/2019	3550	2250	63.38	36.62	0.3662
	18/03/2019	3520	2250	63.92	36.08	0.3608
	18/03/2019	3530	2225	63.03	36.97	0.3697
	18/03/2019	3555	2250	63.29	36.71	0.3671
\bar{X}_M		3535.8	2238.3	63.3	36.7	0.367
Monitoreo 3	5/04/2019	3570	2250	63.03	36.97	0.3697
	5/04/2019	3560	2245	63.06	36.94	0.3694
	5/04/2019	3555	2247	63.21	36.79	0.3679
	5/04/2019	3548	2250	63.42	36.58	0.5658
	5/04/2019	3557	2250	63.26	36.74	0.3674
	5/04/2019	3560	2245	63.06	36.94	0.3694
\bar{X}_M		3558.3	2247.8	63.2	36.8	0.368
\bar{X}_T		3536.94	2237.06	63.25	36.75	0.3675

Nota: \bar{X}_M = Promedio de cada monitoreo; \bar{X}_T = Promedio total.

Se observa en la tabla 22, la eficiencia de remoción del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), acumulados durante los 3 monitoreos en los meses de febrero, marzo y abril, para los 6 biodigestores autolimpiables en las UBS – AH. Obteniendo como resultado que los biodigestores autolimpiables, son eficientes en un promedio de 36.75 %, en remoción de coliformes termotolerantes, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

f) Evaluación de la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019

Tabla 23

Estadística descriptiva de los parámetros físicos en los puntos de monitoreo

Biodigestores autolimpiables (UBS - AH)						
Evaluación de parámetros físicos	Und	fi	Medias	Medias	D.S 003-2010-MINAM LMP	Cumple Con LMP Sí/No
			Punto de entrada Afluente	Punto de salida Efluente		
Temperatura	°C	36	13.46	13.73	<35	SI
Sólidos						
Totales en Suspensión	mg/L	36	257.52	123.92	150	SI

Nota: Und = Unidad de medida; fi= Numero de datos procesados.

➤ **Comportamiento de la temperatura (T)**

Lorenzo y Obaya (2005), señalan que la temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso de tratamiento, cuya eficiencia decrece por debajo de 15 °C por esta razón, el proceso anaerobio es mayor en los lugares de clima cálido debido a que el aumento de la temperatura acelera la descomposición de la materia orgánica.

A pesar de que el valor de la temperatura fue menor al de la teoría de, Lorenzo y Obaya (2005), el tratamiento funciona adecuadamente a una temperatura de 13.73 °C, observando un incremento de 0.27 °C a la salida (efluente), del biodigestor; esta variación se debe principalmente a los cambios meteorológicos (días soleados y días nublados), y al tipo de material que es de polietileno que actúan como un aislante térmico y color de material de color negro este color ayuda a captar y retener mejor la radiación solar y mejorar la temperatura dentro del contenedor.

➤ **Comportamiento de los sólidos totales en suspensión (STS)**

Se observa una disminución de 133.6 mg/L a la salida (efluente), del biodigestor, esta disminución se debe a que en condiciones de reposo los sólidos suspendidos de mayor tamaño sedimentan al fondo del biodigestor debido a la influencia de la gravedad y cuando el peso específico es mayor que la del agua, estos eliminándose al momento de la extracción de lodos; y los sólidos de menor tamaño se mantienen suspendidas siendo consumidas al comento de adherirse en los aros Pet (Blasco, 1998).

los STS que no sedimentan pasan con menor concentración al sistema secundario de pozos de percolación donde se termina el tratamiento de forma natural

Tabla 24

Estadística descriptiva de los parámetros químicos en los puntos de monitoreo

Biodigestores autolimpiables (UBS - AH)						
Evaluación de parámetros químicos	Und	Medias Punto entrada	Medias Punto de salida	D.S 003- 2010 MINAM LMP	Cumple Con LMP	Sí/No
		<i>Fi</i>	Afluente	Efluente	LMP	
pH	Unidad	36	7.14	6.93	6.5-8.5	SI
DQO	mg/L	36	344.89	92.42	200	SI
(DBO ₅)	mg/L	36	281.47	80.25	100	SI
Aceites y grasas	mg/L	36	153.61	10.04	20	SI

Nota: Und = Unidad de medida; fi= Numero de datos procesados.

➤ **Comportamiento del potencial de hidrógeno (pH)**

Lorenzo y Obaya (2005), señalan que el pH es un aspecto de gran importancia para determinar la calidad de un agua residual esto es debido a que el rango en el cual se desarrollan los procesos biológicos corresponde a un intervalo estrecho y crítico (6,5-8,5) por tanto el agua residual con un pH inadecuado presenta dificultades de tratamiento durante los procesos biológicos.

Se observa un pH de 7.14 unidades dentro del biodigestor concordando con Lorenzo y Obaya (2005) que en este rango el tratamiento es eficiente, teniendo una disminución de 0.21

unidades de pH, a la salida (efluente), del biodigestor, este cambio nos indica que el afluente fue alcalino dentro del biodigestor, mientras que en el pozo de percolación fue ligeramente acida debido principalmente al cambio de temperatura.

➤ **Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO, representa la medida indirecta del contenido de materia orgánica presente en un agua residual tanto la biodegradable como la no biodegradable Metcalf y Eddy (1998). Este parámetro no puede ser menor que la (DBO_5), ya que siempre es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica (Metcalf y Eddy, 1998).

Se observa una disminución de 252.47 mg/L, a la salida (efluente), del biodigestor, este cambio nos indicó que los microorganismos presentes en el agua residual consumieron una gran parte del oxígeno convirtiendo una parte en calor y la otra parte la utilizaron los microorganismos para su respiración.

➤ **Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)**

Se observa una disminución de 201.22 mg/L a la salida (efluente), del biodigestor, el cual significa la cantidad de materia orgánica biodegradable fue utilizada por los microorganismos, para sus procesos vitales y para la formación de nueva materia celular (Metcalf y Eddy, 1998).

➤ **Comportamiento de aceites y grasas (AyG)**

Se observa una disminución de 143.57 mg/L, debido a que una parte de los aceites y grasas sedimentaron arrastradas por los sólidos en suspensión que se acumulan en la base cónica del biodigestor, de esta manera parte de las grasas es retirada con los lodos (Barrenechea, 1978).

Tabla 25

Estadística descriptiva de los parámetros químicos en los puntos de monitoreo

		Biodigestores autolimpiables (UBS - AH)				
Evaluación de parámetros químicos	Und	Medias		D.S 003- 2010 MINAM LMP	Cumple Con LMP	
		Punto entrada	Punto de salida			
		<i>Fi</i>	Afluente	Efluente		
Coliformes	NMP/					
Termotolerantes	100 mL	36	3536.94	2237.06	10 000 SI	

Nota: Und = Unidad de medida; fi= Numero de datos procesados.

Barrenechea (1978), señala que los coliformes se utilizan como indicadores de polución por vertidos de origen humano, ya que cada persona elimina diariamente coliformes además de otras clases de bacterias a través de las heces; donde estos agentes microbianos disminuyeron en 1299.88 mg/L, en el efluente, debido a la presencia de los sólidos en suspensión estos desempeñan un papel importante como contaminantes, tanto debido a la materia orgánica o inorgánica que los forman, como por los agentes patógenos que son transportados en la superficie de dichas partículas, por ello, cuanto mayor sea el tamaño de la partícula, mayor será la eliminación de los coliformes por sedimentación en el fondo del biodigestor expulsándolas al momento de la extracción de los lodos.

Evaluados las medidas de concentración de cada parámetro se muestra el resumen de los resultados por parámetros para su comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, donde se establecen los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Tabla 26

Evaluación de los resultados de los efluente mediante D.S N° 003-2010-MINAM.

Parámetros	Unid.	Resultados Afluyente (entrada)	Resultados Efluente (salida)	D.S 003- 2010- MINAM (LMP)	Cumple con LMP
Parámetros físicos					
Temperatura	°C	13.46	13.73	<35	Si
Sólidos suspendidos totales	mg/L	257.52	123.92	150	Si
Parámetros químicos					
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unid.	7.14	6.93	6.5 – 8.5	Si
Demanda química de oxígeno	mg /L	344.89	92.42	200	Si
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	281.47	80.25	100	Si
Aceites y grasas	mg/L	153.61	10.04	20	Si
Parámetros microbiológicos					
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	3536.94	2237.06	10000	Si

Fuente: elaboración propia.

Se observa en la tabla 26, los resultados medios del afluyente y efluente donde para los efluentes cumplen con los límites máximos permisibles como se presenta a continuación:

❖ Temperatura (T)

La temperatura del agua tratada (efluente), fue de 13.73° C por lo que cumple con los límites máximos permisibles, cuyo valor no debe exceder los 35°C (ver figura 25).

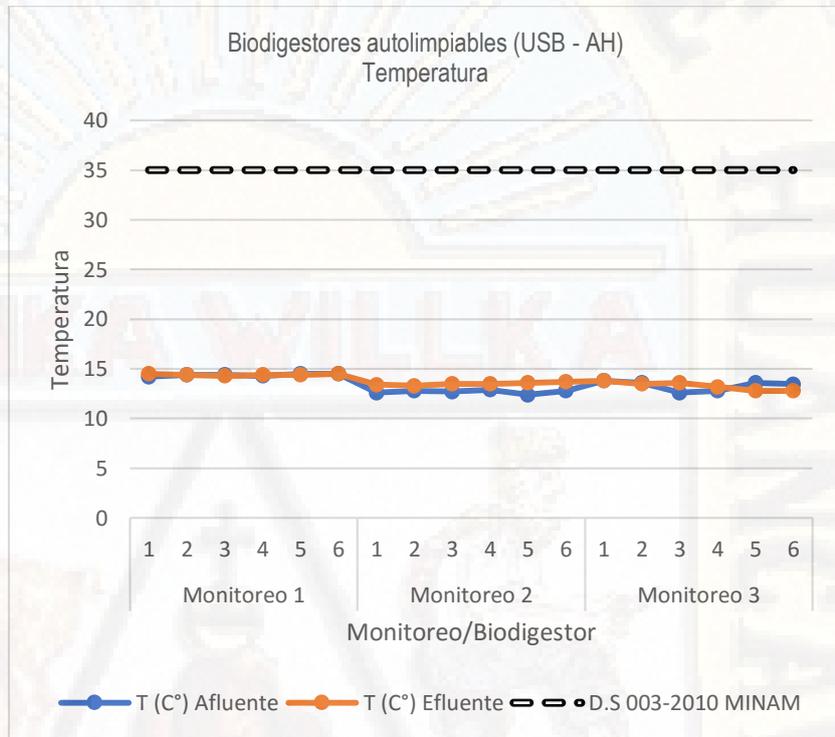


Figura 25. Comparación de temperatura entre el agua residual tratada y LMP.

❖ Sólidos totales en suspension (STS)

El resultado de STS obtenido del agua tratada (efluente), fue de 123.92 mg/l por lo que cumple con los límites máximos permisibles, cuyo valor no debe sobre pasar los 150 ml/ L (ver figura 26).

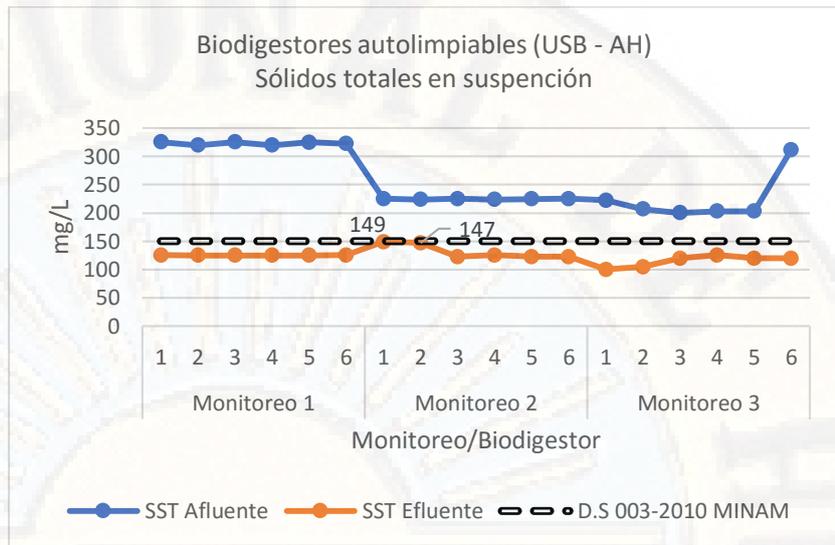


Figura 26. Comparación SST del agua residual tratada y LMP.

❖ **Potencial de hidrógeno (pH)**

El resultado de pH del agua tratada (efluente) fue de 6.93 por lo que cumple con los límites máximos permisibles, cuyo valor debe oscilar entre 6.5 a 8.5 (ver figura 27).

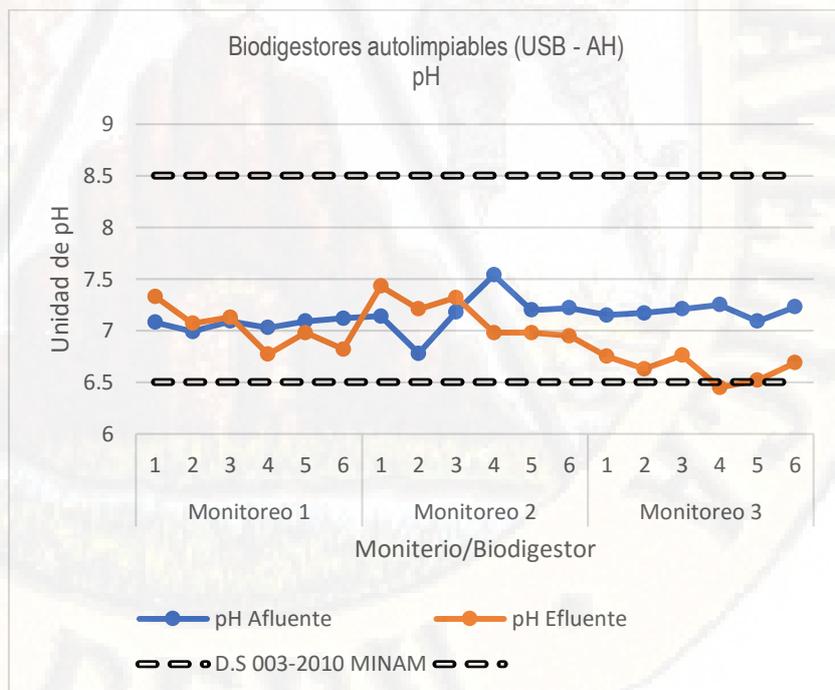


Figura 27. Comparación de pH del agua residual tratada y LMP.

❖ Demanda química de oxígeno (DQO)

El resultado de DQO obtenido del agua tratada (efluente) fue de 92.42 mg/l, por lo que cumple con los límites máximos permisibles, cuyo valor no debe sobre pasar los 200 mg/l (ver figura 28).

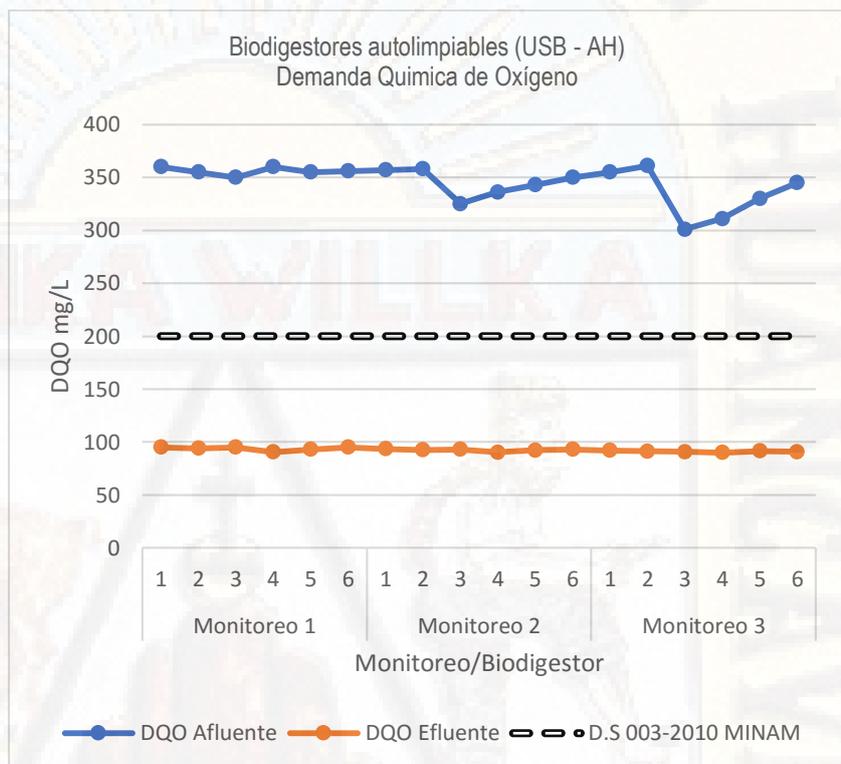


Figura 28. Comparación de la DQO del agua residual tratada y LMP.

❖ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

El resultado de (DBO_5) obtenido del agua tratada (efluente) fue de 80.25 mg/l por lo que cumple con los límites máximos permisibles, cuyo valor no debe sobre pasar los 100 mg/l (ver figura 29).

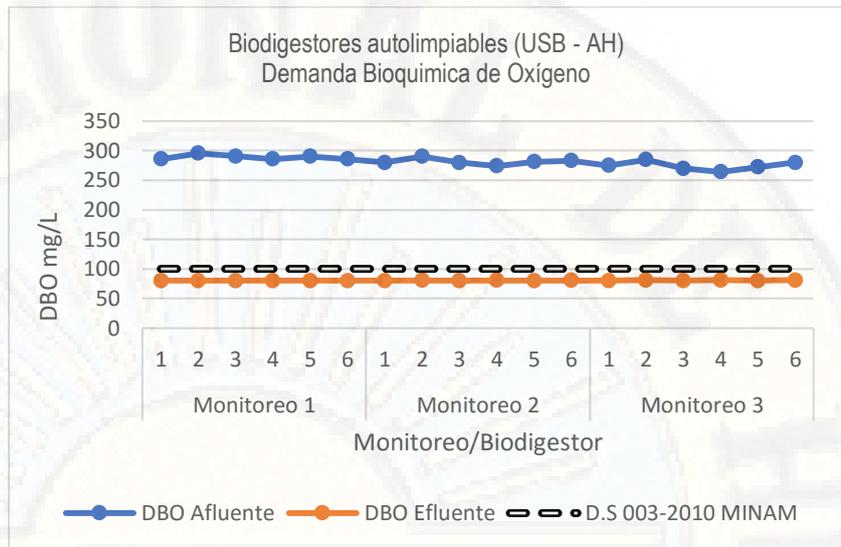


Figura 29. Comparación de la (DBO₅) entre el agua residual tratada y LMP.

❖ **Aceites y grasas (AyG)**

El resultado de aceites y grasas obtenido del agua tratada (efluente), fue de 10.04 mg/l. por lo que cumple con los límites máximos permisibles, cuyo valor no debe sobre pasar los 20 mg/l.

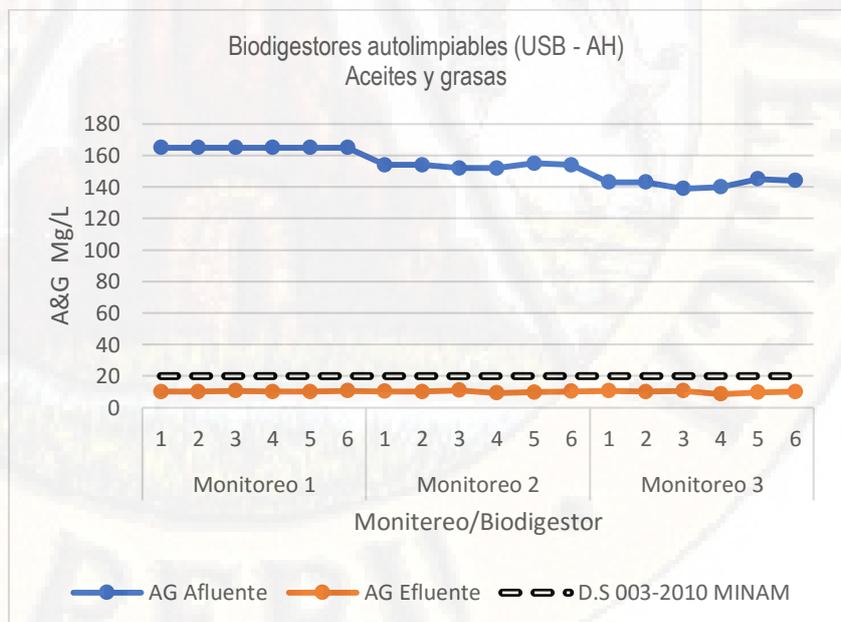


Figura 30. Comparación de aceites y grasas del agua residual tratada y LMP.

❖ Coliformes termotolerantes (CTT)

El resultado de coliformes termotolerantes del agua tratada (efluente), fue de 2237.06 NMP/100 ml, por lo que cumple con los límites máximos permisibles, cuyo valor no debe sobre pasar los 10000 NMP/100 ml (ver figura 31).

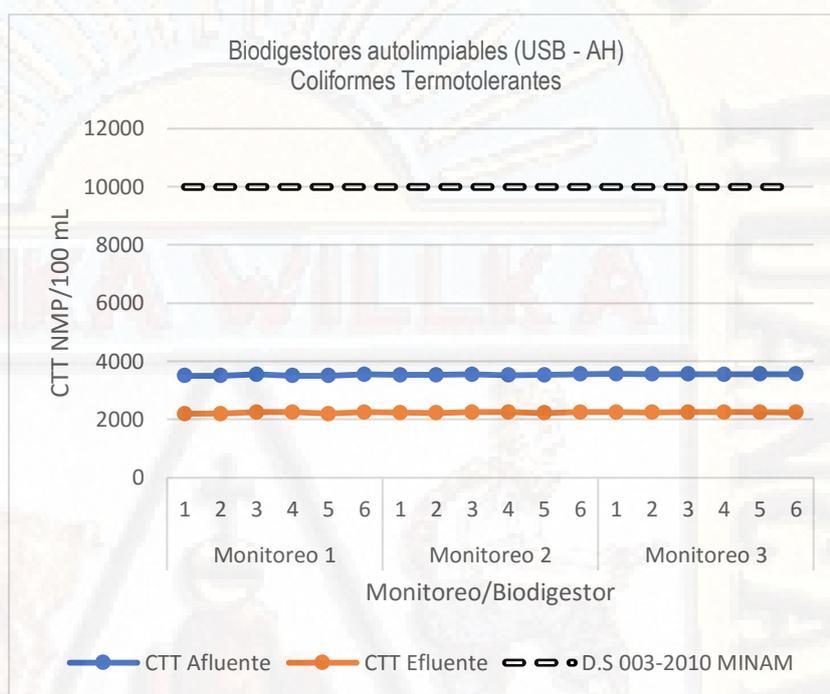


Figura 31. Comparación de Coliformes termotolerantes del agua residual tratada y LMP.

Finalmente, en el análisis de resultados se comprobó que la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019.

Por lo cual se evaluó la posibilidad de aprovechar los efluentes, relacionando en primer lugar lo siguiente:

- ✓ Las remociones de los contaminantes en las aguas residuales dependen de la tecnología utilizada y la capacidad de esta para alcanzar los niveles deseados.
- ✓ Donde los efluentes (agua tratada y lodo tratado), son considerados subproductos valiosos para la agricultura como fuentes de nutrientes y acondicionadores de suelos, sin embargo, también constituyen un riesgo, porque con ellos también sedimentan concentraciones de patógenos, especialmente bacterias.
- ✓ Los resultados del tratamiento define la calidad sanitaria del efluente y por tanto las posibilidades y tipos de reúsos, según el D.S N° 004-2017-MINAM, donde se “Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias”, señalando que para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos del tipo de riego no restringido por lo que de acuerdo a los resultados obtenidos para coliformes termotolerantes en las aguas residuales tratadas por los biodigestores autolimpiables Rotoplas fueron 2237.06 NMP/100 ml, el cual supera los 1000 NMP/100 ml, establecidos en la norma para aprovechamiento de aguas residuales tratadas.
- ✓ Lo cual significa que las aguas residuales tratadas en los biodigestores autolimpiables de las UBS – AH, no pueden reutilizarse para ninguna categoría.
- ✓ Debido a que los biodigestores constituyen tratamientos primarios, donde lo ideal es dejar completar el proceso de post tratamiento de manera natural es los pozos de percolación.

4.2 Principios de la investigación y prueba de hipótesis

A. Principios de la investigación

A través de la historia se ha tratado de encontrar un método confiable y eficaz, es por ello que la investigación científica tiene principios básicos para poder garantizar un correcto muestreo y un adecuado análisis de los datos obtenidos. La distribución normal es utilizada en muchos campos ya que es el supuesto básico de algunas herramientas estadísticas tales como para las pruebas T de Student, que son pruebas de hipótesis de medias, utilizadas para datos muestrales menores a 30, empleadas para observar los resultados, para los objetivos definidos, al ser modelados mediante esta prueba; de esto han surgido varias pruebas de normalidad que toman la información de la muestra para generar un valor que establezca un parámetro de decisión, por ello utilizamos la prueba de normalidad (Hernández, Fernández, y Baptista, 2006).

Se realizó el test de normalidad utilizando el estadístico de **Shapiro-Wilk**, porque la cantidad de datos evaluados de cada parámetro son menores a 50 datos ($n < 50$).

a) Test de normalidad para el primer objetivo específico

- ❖ Test de normalidad para los sólidos totales en suspensión (STS), en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Tabla 27

Test de normalidad para sólidos totales en suspensión en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Test para normalidad				
Test	Estadístico	p valor		
Shapiro-Wilk	W	0.59989	Pr < W	0.0900

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk en el cual resultó que los datos de sólidos totales suspendidos en

los biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, muestran un comportamiento normal, debido a que $Pr < W$ resultado 0.0900 el cual es mayor a 0.05 (error de 5 %), por lo que presenta normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk.

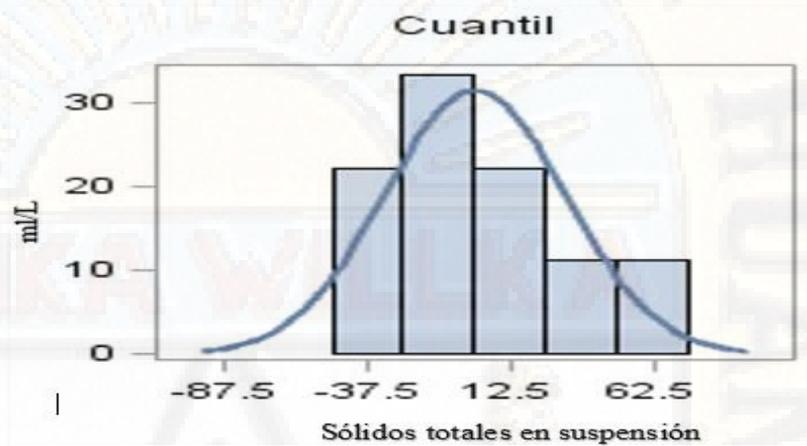


Figura 32. Test de normalidad de sólidos totales en suspensión en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH), cuantiles normales.

b) Test de normalidad para el segundo objetivo específico

- ❖ Test de normalidad para la demanda química de oxígeno (DQO), en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Tabla 28

Test de normalidad de demanda química de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Test para normalidad			
Test	Estadístico		p valor
Shapiro-Wilk	W	0.936785	$Pr < W$ 0.2551

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk, en el cual resultado que los datos de la demanda química de

oxígeno (DQO), en los biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, muestran un comportamiento normal, debido a que $Pr < W$ resultado 0.2551 el cual es mayor a 0.05 (error de 5 %), por lo que presenta normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk.

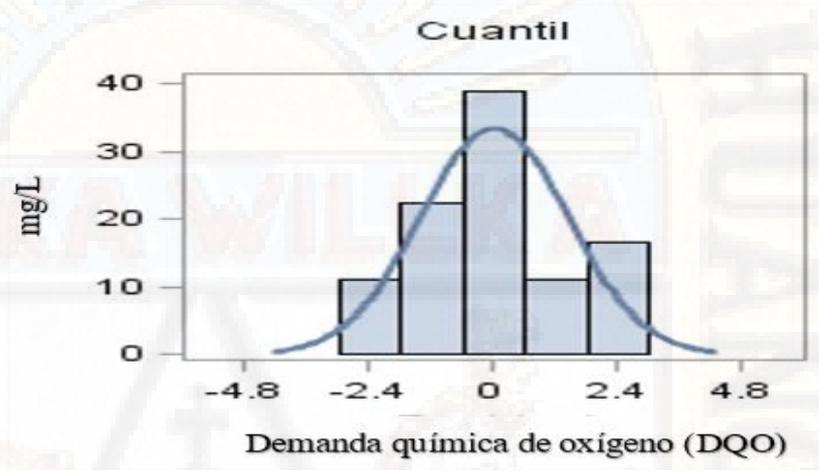


Figura 33. Test de normalidad de demanda química de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.

c) Test de normalidad para el tercer objetivo específico

- ❖ Test de normalidad para demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Tabla 29

Test de normalidad de demanda bioquímica de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Test para normalidad			
Test	Estadístico	p valor	
Shapiro-Wilk	W 0.653247	Pr < W	0.1800

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk en el cual resultado que los datos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en los biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, muestran un comportamiento normal, debido a que $Pr < W$ resultado 0.1800 el cual es mayor a 0.05 (error de 5 %), por lo que presenta normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk.

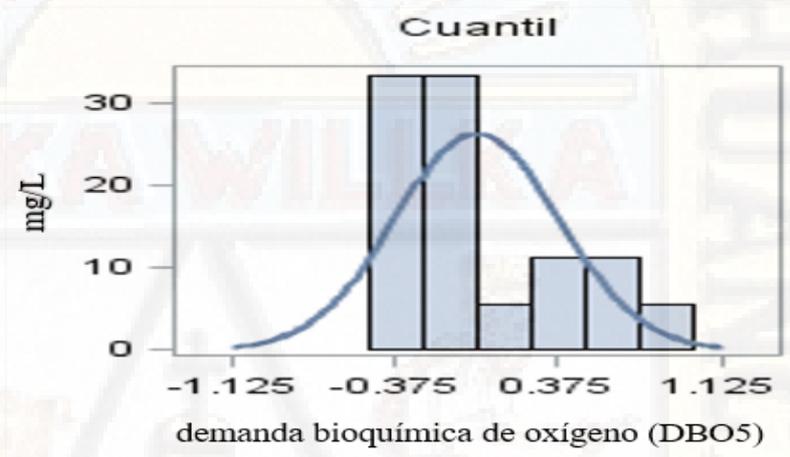


Figura 34. Test de normalidad de demanda bioquímica de oxígeno en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.

d) Test de normalidad para el cuarto objetivo específico

- ❖ Test de normalidad para aceites y grasas (AyG), en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Tabla 30

Test de normalidad de los aceites y grasas en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Test para normalidad				
Test	Estadístico		p valor	
Shapiro-Wilk	W	0.891189	Pr < W	0.0860

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk en el cual resultado que los datos de los aceites y grasas (AyG), en los biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, muestran un comportamiento normal, debido a que $Pr < W$ resultado 0.0860 el cual es mayor a 0.05 (error de 5 %), por lo que presenta normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk.

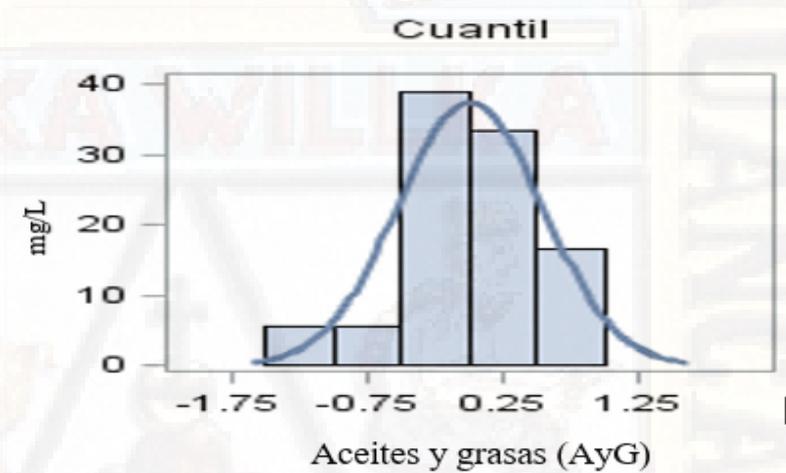


Figura 35. Test de normalidad de aceites y grasas en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.

e) Test de normalidad para el quinto objetivo específico

- ❖ Test de normalidad para coliformes termotolerantes (CTT), en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Tabla 31

Test de normalidad de coliformes termotolerantes en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Test para normalidad			
Test	Estadístico		p valor
Shapiro-Wilk	W	0.694717	Pr < W 0.1100

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk en el cual resultado que los datos de los coliformes termotolerantes (CTT), en los biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, muestran un comportamiento normal, debido a que $Pr < W$ resultado 0.1100 el cual es mayor a 0.05 (error de 5 %), por lo que presenta normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk.

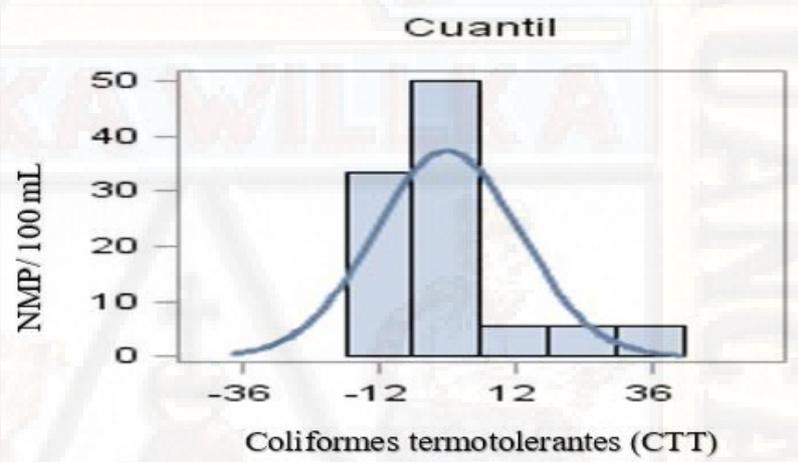


Figura 36. Test de normalidad de coliformes termotolerantes en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.

f) Test de normalidad para el sexto objetivo específico

- ❖ Test de normalidad para la temperatura en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Tabla 32

Test de normalidad de la temperatura en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Test para normalidad			
Test	Estadístico		p valor
Shapiro-Wilk	W	0.905024	$Pr < W$ 0.0703

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk en el cual resultado que los datos de las temperaturas (T), en los biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, muestran un comportamiento normal, debido a que $Pr < W$ resultado 0.0703 el cual es mayor a 0.05 (error de 5 %), por lo que presenta normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk.

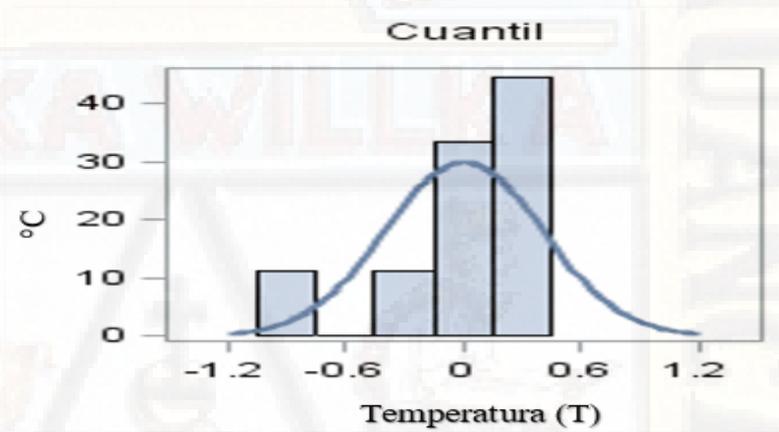


Figura 37. Test de normalidad de temperatura en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.

- ❖ Test de normalidad del potencial de hidrógeno (pH), en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Tabla 33

Test de normalidad del pH en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH)

Test para normalidad			
Test	Estadístico		p valor
Shapiro-Wilk	W	0.972654	Pr < W 0.8458

Se realizó el test de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk en el cual resultado que los datos del potencial de hidrógeno (pH),

en los biodigestores autolimpiables de las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, muestran un comportamiento normal, debido a que $Pr < W$ resultado 0.8458 el cual es mayor a 0.05 (error de 5 %), por lo que presenta normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk.

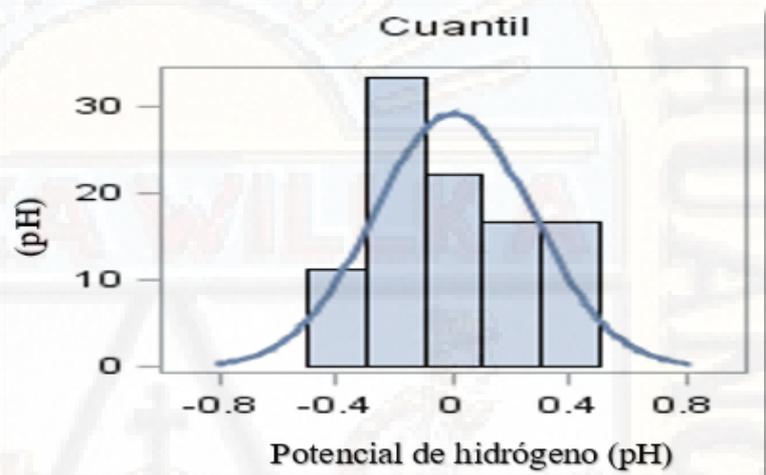


Figura 38. Test de normalidad de potencial de hidrógeno, en los biodigestores autolimpiables (UBS-AH) cuantiles normales.

B. Prueba de hipótesis

Como señala Hernández *et al.* (2014), la contratación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis:

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo " α ".
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
4. Establecer la región crítica.
5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño " n ".
6. Decisión estadística: rechazar la hipótesis nula (H_0) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar) igual en el otro caso.

1. Formulación de la hipótesis nula y alterna

a) Formulación de la hipótesis nula y alterna para el primer objetivo

- ✓ Formulación de la hipótesis para proporciones, para los sólidos totales en suspensión (STS)

Ha: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 27.28 %, en cuanto a la remoción del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ha: $P > 0.2728$

Ho: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia menor igual a 27.28 %, en cuanto a la remoción del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ho: $P \leq 0.2728$

b) Formular la hipótesis nula y alterna para el segundo objetivo

- ✓ Formulación de la hipótesis para proporciones, para demanda química de oxígeno (DQO)

Ha: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 25.96 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ha: $P > 0.2596$

Ho: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia menor igual a 25.96 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ho: $P \leq 0.2596$

c) Formular la hipótesis nula y alterna para el tercer objetivo

- ✓ Formulación de la hipótesis para proporciones, para demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Ha: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 36.76 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

$$Ha: P > 0.3676$$

Ho: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia menor igual a 36.76 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

$$Ho: P \leq 0.3676$$

d) Formular la hipótesis nula y alterna para el cuarto objetivo

- ✓ Formulación de la hipótesis para proporciones, para aceites y grasas (AyG)

Ha: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 13.56 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ha: $P > 0.1356$

Ho: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia menor igual a 13.56 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ho: $P \leq 0.1356$

e) Formular la hipótesis nula y alterna para el quinto objetivo

- ✓ Formulación de la hipótesis para proporciones, para coliformes termotolerantes (CTT)

Ha: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 10 %, en cuanto a la remoción del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ha: $P > 0.10$

Ho: Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia menor igual a 10 %, en cuanto a la remoción del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Ho: $P \leq 0.10$

f) Formular la hipótesis nula y alterna para el sexto objetivo específico

Ha: La calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumplen con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019.

Ha: $\mu < LMP$

Ho: La calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables, no cumplen con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019.

Ho: $\mu > LMP$

2. Nivel de significación

En la presente investigación se trabajó con un error de 5 %; es decir:

$\alpha = 0.05$, por lo que el error del trabajo no debe ser mayor al planteado y con un grado de confianza de 95 %, es decir con $1 - \alpha = 0.95$.

3. Estadístico de prueba

El estadístico de prueba utilizado fue el “T de Student” para proporciones debido a que los datos analizados son menores a 30 datos y se encuentran en porcentajes, por cada parámetro para analizar el comportamiento de los datos (Sampieri, 2010).

4. Valor crítico y regla de decisión

A partir de la hipótesis planteada la $H_a (>)$, indica que tendrá una cola hacia la derecha y cuando $H_a (<)$, indica que tendrá una cola hacia la izquierda para un nivel de confianza de 95% con un error $\alpha = 0.05$ en la tabla de T de Student tenemos los valores críticos de T de tabla y α error.

$$T_{\text{tabla}} = 1/17 = 1.7396$$

$GL = 18 - 1$; porque se tiene 18 datos de eficiencias y 18 muestras solo en el afluente o solo en el efluente para un solo parámetro en el acumulado de 3 monitoreos.

$T_{\text{cal}} < =$ que el valor T de la tabla se acepta la hipótesis nula

$T_{\text{cal}} > =$ que el valor T de la tabla se rechaza la hipótesis nula.

5. Cálculo de los estadígrafos de prueba

a) T de Student para proporción para el primer objetivo específico

Resumen de la prueba de T de Student para proporciones de los sólidos totales en suspensión (STS), en los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019

Tabla 34

Prueba de T de Student para una proporción - sólidos totales en suspensión

Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Proporción teórica o alterna (P_{Ha})	0,2728
Proporción muestral (P)	0.5009
Muestra (n)	18
T de tabla (valor crítico)	1.7396
T de Student proporciones	1.935

Reemplazando los datos en la siguiente fórmula de la prueba de T de Student para una proporción se obtiene:

$$T_{cal} = \frac{P - P_{Ha}}{\sqrt{\frac{P * (1 - P)}{n}}}$$

Donde:

Tcal = T de student calculado

P = Proporción muestral

P_{Ha} = proporción teórica o alterna

n = Muestra

Obteniendo que el T cal o T de Student es = 1.935

Con T de tabla = 1.7396

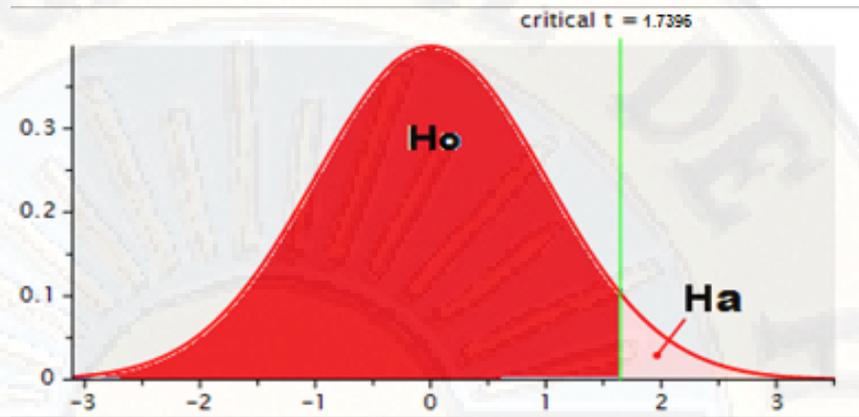


Figura 39. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0), en términos de sólidos totales en suspensión.

*Mi valor T calculado para proporciones es $1.935 >$ que el valor de T de la tabla que es igual a 1.7396, para los sólidos totales en suspensión se observa que hay una diferencia entre los valores de T de tabla y T calculado, siendo T de Student o T calculado la prueba de contrastación de hipótesis.

b) T de Student para el segundo objetivo específico

- ✓ Análisis de T de Student para una proporción - demanda química de oxígeno (DQO)

Resumen de la prueba de T de Student para proporciones de la demanda química de oxígeno (DQO), en los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019

Tabla 35

Prueba de T de Student para una proporción - demanda química de oxígeno (DQO)

Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Proporción teórica o alterna (P_{Ha})	0.2596
Proporción muestral (P)	0.7314
Muestra (n)	18
T de tabla (valor crítico)	1.7396
T de Student proporciones	4.516

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

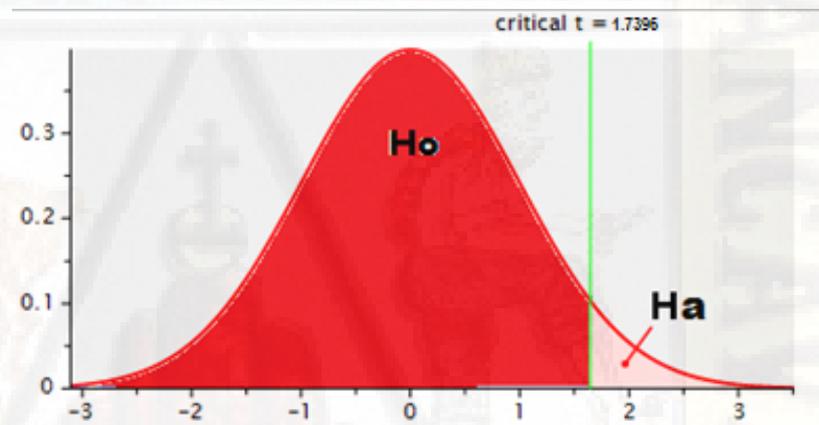


Figura 40. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de demanda química de oxígeno.

*Mi valor T calculado para proporciones es $4.516 >$ que el valor de T de la tabla que es igual a 1.7396, para la demanda química de oxígeno (DQO), se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

c) T de Student para el tercer objetivo específico

- ✓ Análisis de T de Student para una proporción - demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Resumen de la prueba de T de Student para proporciones de la demanda bioquímica de oxígeno en los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Tabla 36

Prueba de T de Student para una proporción - demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Proporción teórica o alterna (P_{Ha})	0.3676
Proporción muestral (P)	0.7147
Muestra (n)	18
T de tabla (valor crítico)	1.7396
T de Student proporciones	3.261

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

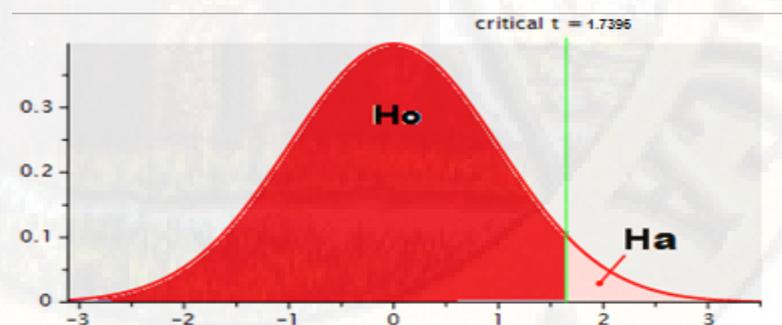


Figura 41. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de demanda bioquímica de oxígeno.

*Mi valor T calculado para proporciones es $3.261 >$ que el valor de T de la tabla igual 1.7396, para la demanda bioquímica de oxígeno se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

d) T de Student para el cuarto objetivo específico

- ✓ Análisis de T de Student para una proporción - aceites y grasas (AyG)

Resumen de la prueba de T de Student para una proporción - aceites y grasas de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Tabla 37

Prueba de T de Student para una proporción - aceites y grasas

Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Proporción teórica o alterna (P_{Ha})	0.1356
Proporción muestral (P)	0.9345
Muestra (n)	18
T de tabla (valor crítico)	1.7396
T de Student proporciones	13.699

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

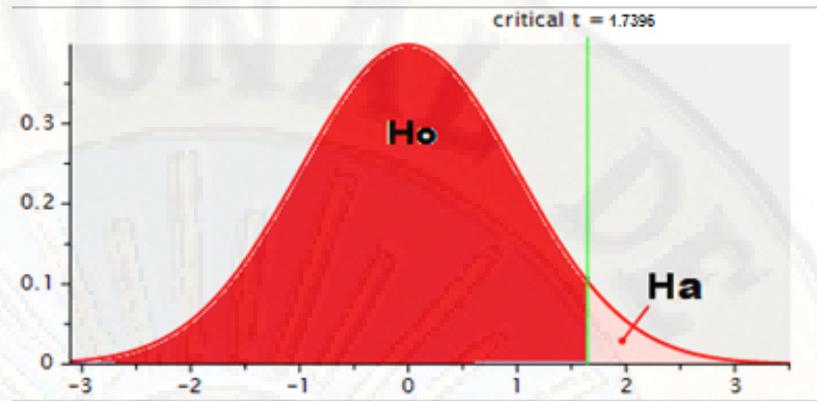


Figura 42. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de aceites y grasas.

*Mi valor T calculado para proporciones es 13.699 > que el valor de T de la tabla 1.7396, para los aceites y grasas se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

e) T de Student para el quinto objetivo específico

- ✓ Análisis de T de Student para una proporción - coliformes termotolerantes (CTT)

Resumen de la prueba de T de Student para proporciones, de los coliformes termotolerantes de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Tabla 38

Prueba de T de Student para una proporción - coliformes termotolerantes

Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Proporción teórica o alterna (P_{Ha})	0.10
Proporción muestral (P)	0.3675
Muestra (n)	18
T de tabla (valor crítico)	1.7396
T de Student proporciones	2.354

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

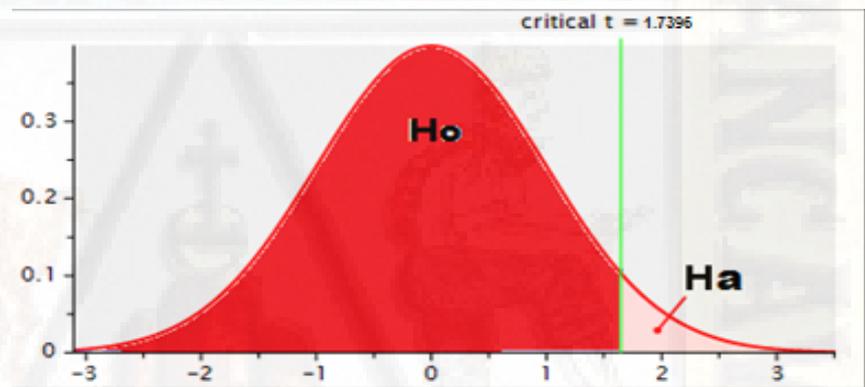


Figura 43. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de coliformes termotolerantes.

*Mi valor T calculado para proporciones es $2.354 >$ que el valor de T de la tabla 1.7396, para los coliformes termotolerantes se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

f) T de Student para el sexto objetivo específico

- ✓ Análisis de (T de Student) para la temperatura (T), mediante los LMP

Se realizó el análisis de T de Student para la temperatura, condicionados por los valores del efluente de los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM.

Tabla 39

Prueba de T de Student para la temperatura

T de Student para la temperatura con el LMP del reglamento	
Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 35 °C	35
Muestra (n)	18
grados de libertad (n-1)	17
media (x)	13.73
desviación estándar (s)	0.56
Prueba de T de Student	-160.69

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

$$T_{cal} = \frac{X - u}{S / \sqrt{n}}$$

Obteniendo que el T cal o T de Student es = -160.69

Con T de tabla = -1.7396

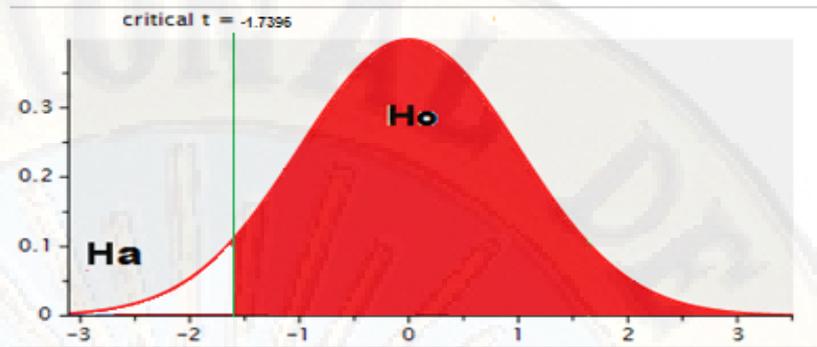


Figura 44. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de temperatura.

*Mi valor T calculado resulto $-160.69 <$ que los valores de T de la tabla igual -1.7396 , para la temperatura se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

- ✓ Análisis de (T de Student) para los sólidos totales en suspensión (STS), mediante los LMP

Se realizó el análisis de T de Student para los sólidos totales en suspensión, condicionados por los valores del efluente de los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM.

Tabla 40

Prueba de T de Student para Sólidos totales en suspensión

T de Student para los STS con el LMP del reglamento	
Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 150 mg/L	150
Muestra (n)	18
grados de libertad (n-1)	17
media (x)	123.92
desviación estándar (s)	11.93
Prueba de T de Student	-9.82

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

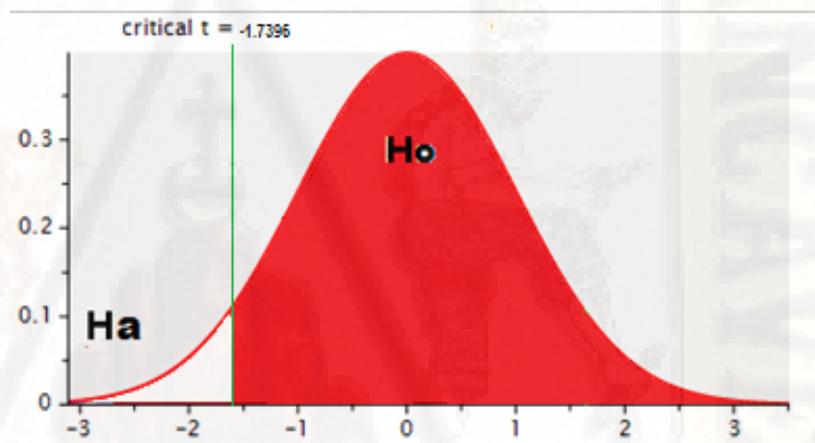


Figura 45. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de sólidos totales en suspensión.

*Mi valor T calculado es $-9.82 <$ que el valor de T de la tabla que es igual a -1.7396 , para sólidos totales en suspensión se observa que hay una diferencia entre los valores de T de tabla y T calculado, siendo T de Student o T calculado la prueba de contrastación de hipótesis.

- ✓ Análisis de (T de Student) para el potencial de hidrógeno (pH),

mediante los LMP

Se realizó el análisis de T de Student para el potencial de hidrógeno, condicionados por los valores del efluente de los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM.

Tabla 41

Prueba de T de Student para el pH con LMP

T de Student para el pH con el LMP del reglamento	
Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 8.5 unid.	8.5
Muestra (n)	18
grados de libertad (n-1)	17
media (x)	6.93
desviación estándar (s)	0.28
Prueba de T de Student	-23.59

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

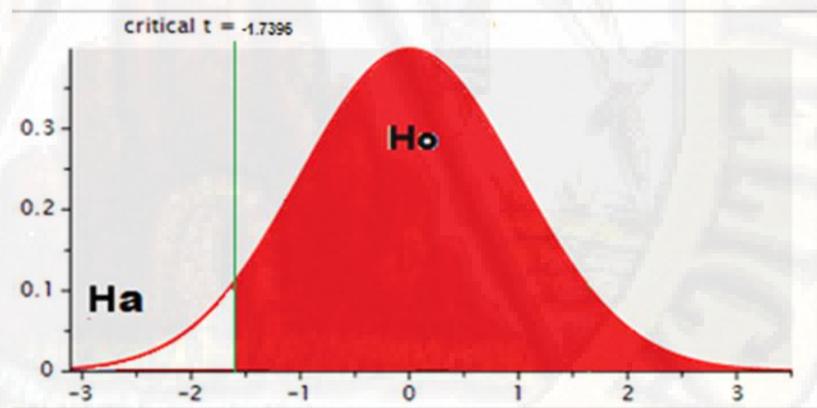


Figura 46. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , para el potencial de hidrógeno.

*Mi valor T calculado es $-23.59 <$ que el valor de T de la tabla igual a -1.7396 , para el pH se observa que hay una diferencia

entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

- ✓ Análisis de T de Student para la demanda química de oxígeno (DQO), mediante los LMP

Se realizó el análisis de T de Student para la demanda química de oxígeno (DQO), condicionados por los valores del efluente de los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM.

Tabla 42

Prueba de T de Student para la demanda química de oxígeno (DQO), con los LMP

T de Student para la DQO con el LMP del reglamento	
Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 200 mg/L	200
Muestra (n)	18
grados de libertad (n-1)	17
media (x)	92.42
desviación estándar (s)	1.65
Prueba de T de Student	-276.95

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

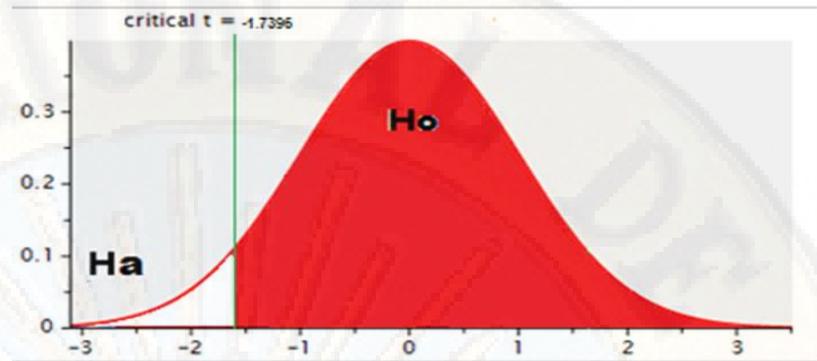


Figura 47. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , en términos de demanda química de oxígeno.

*Mi valor T calculado es $-276.95 <$ que el valor de T de la tabla que es igual a -1.7396 , para la demanda química de oxígeno (DQO), se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

- ✓ Análisis de (T de Student) para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), con los LMP

Se realizó el análisis de T de para la demanda bioquímica de oxígeno, condicionados por los valores del efluente de los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM.

Tabla 43

Prueba de T de Student para la demanda bioquímica de oxígeno con los LMP

T de Student para la DBO_5 con el LMP del reglamento	
Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 100 mg/L	100
Muestra (n)	18
grados de libertad (n-1)	17
media (x)	80.25
desviación estándar (s)	0.39
Prueba de T de Student	-213.24

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

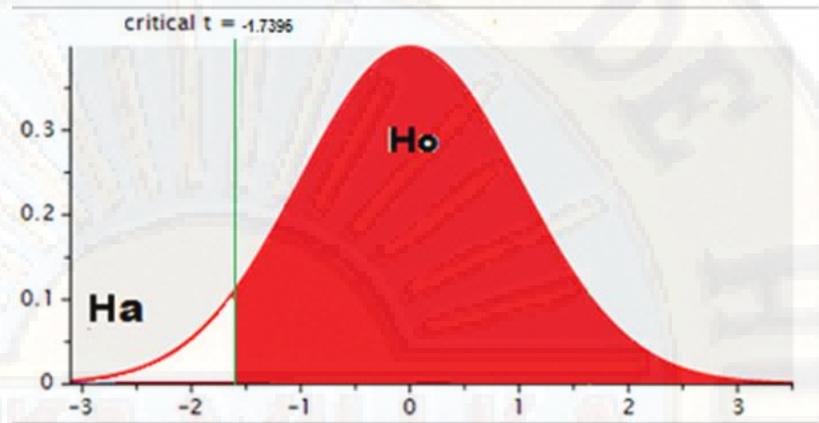


Figura 48. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_o en términos de demanda bioquímica de oxígeno.

*Mi valor T calculado es $-213.24 <$ que el valor de T de la tabla igual -1.7396 , para la demanda bioquímica de oxígeno se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

- ✓ Análisis de (T de Student) para los aceites y grasas (AyG), con los LMP.

Se realizó el análisis de T de Student los aceites y grasas, condicionados por los valores del efluente de los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM.

Tabla 44

Prueba de T de Student para los aceites y grasas con los LMP

T de Student para los aceites y grasas con el LMP del reglamento	
Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 20 mg/L	20
Muestra (n)	18
grados de libertad (n-1)	17
media (x)	10.04
desviación estándar (s)	0.55
Prueba de T de Student	-76.54

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

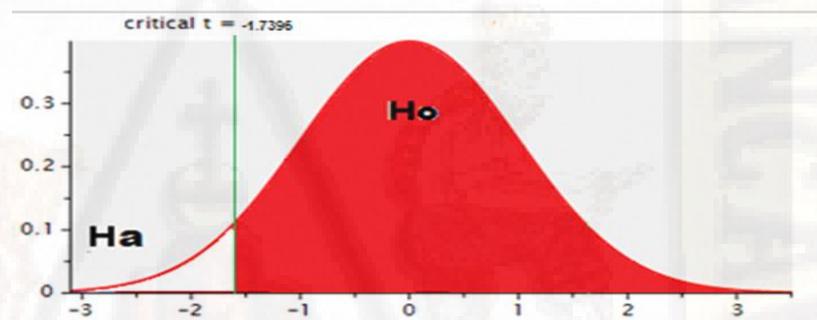


Figura 49. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, en términos de aceites y grasas.

*Mi valor T calculado es $-76.54 <$ que el valor de T de la tabla igual a -1.7396 , para los aceites y grasas se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

- ✓ Análisis de (T de Student) para los coliformes termotolerantes (CTT), con los LMP

Se realizó el análisis de T de Student para los coliformes termotolerantes (CTT), condicionados por los valores del

efluente de los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM.

Tabla 45

Prueba de T de Student para coliformes termotolerantes con los LMP

T de Student para los coliformes termotolerantes con el LMP del reglamento	
Nivel de significancia (NS)	0.05
Nivel de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 10000 mg/L	10000
Muestra (n)	18
grados de libertad (n-1)	17
media (x)	2237.06
desviación estándar (s)	19.09
Prueba de T de Student	-1725.59

De acuerdo a los resultados obtenidos se tiene la siguiente figura:

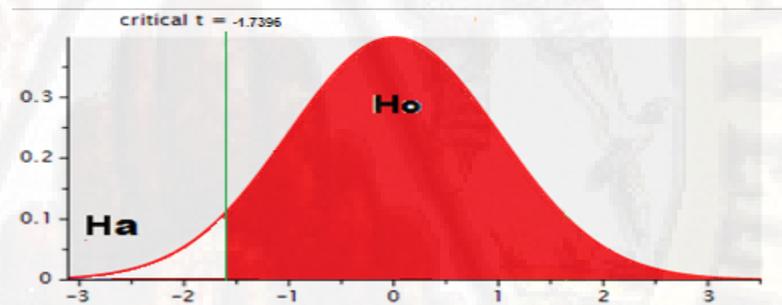


Figura 50. Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_o , en términos de coliformes termotolerantes.

*Mi valor T calculado es $-1725.59 <$ que el valor de T de la tabla igual -1.7396 , para los coliformes termotolerantes se observa que hay una diferencia entre los valores de T siendo T de Student la prueba de contrastación de hipótesis.

6. Decisión estadística

a) Decisión estadística para el primer objetivo específico

- ✓ Decisión estadística para sólidos totales en suspensión (STS)

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a) Debido a que el valor de T calculado para proporciones es $1.935 >$ que el valor de T de la tabla 1.7396, lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo para H_0 , entonces la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y concluimos que: los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 27.28 %, en cuanto a la remoción del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

b) Decisión estadística para el segundo objetivo específico

- ✓ Decisión estadística para la demanda química de oxígeno (DQO)

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado para proporciones es $4.516 >$ que el valor de T de la tabla 1.7396, lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo de H_0 , entonces la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y concluimos que: los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 25.96 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

c) Decisión estadística para el tercer objetivo específico

- ✓ Decisión estadística para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado para proporciones es $3.261 >$ que el valor de T de la tabla 1.7396, lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo de H_0 , entonces la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y concluimos que: los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 36.76 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

d) Decisión estadística para el cuarto objetivo específico

- ✓ Decisión estadística para los aceites y grasas (AyG)

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado para proporciones es $13.699 >$ que el valor de T de la tabla 1.7396, lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo de H_0 , entonces la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y concluimos que: los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 13.56 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

e) Decisión estadística para el quinto objetivo específico

- ✓ Decisión estadística para la coliformes termotolerantes (CTT)

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado para proporciones es $2.354 >$ que el valor de T de la tabla 1.7396, lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo para H_0 , entonces la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y concluimos que: los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 10 %, en cuanto a la remoción del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

f) Decisión estadística para el sexto objetivo específico

- ✓ Decisión estadística para temperatura (T), en relación a los LMP

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado resulto $-160.69 <$ que los valores de T de la tabla - 1.7396, lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo para H_0 , entonces la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y concluimos que: la calidad del parámetro físico: temperatura, en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- ✓ Decisión estadística para los sólidos totales en suspensión (STS), en relación a los LMP

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado es $-9.82 <$ que el valor de T de la tabla -1.7396 , lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo, entonces la hipótesis nula se rechaza, y concluimos que: la calidad del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- ✓ Decisión estadística para el potencial de hidrógeno (pH), en relación a los LMP

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado es $-23.59 <$ que el valor de T de la tabla -1.7396 , lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo, entonces la hipótesis nula se rechaza, y concluimos que: la calidad del parámetro químico: potencial de hidrógeno (pH), en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- ✓ Decisión estadística para la demanda química de oxígeno (DQO), en relación a los LMP

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado es $-23.59 <$ que el valor de T de la tabla -1.7396 , lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo, entonces la hipótesis nula se rechaza, y concluimos que: la calidad del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- ✓ Decisión estadística para demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en relación a los LMP

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado es $-213.24 <$ que el valor de T de la tabla igual -1.7396 , lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo, entonces la hipótesis nula se rechaza, y concluimos: la calidad del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- ✓ Decisión estadística para los aceites y grasas (AyG), en relación a los LMP

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado es $-76.54 <$ que el valor de T de la tabla -1.7396 , lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo, entonces la hipótesis nula se rechaza, y concluimos que: la calidad del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- ✓ Decisión estadística para coliformes termotolerantes (CTT), en relación a los LMP

Rechazo la hipótesis nula (H_0) y acepto la hipótesis alterna (H_a). Debido a que el valor de T calculado es $-1725.59 <$ que el valor de T de la tabla -1.7396 , lo que indica que el valor del estadístico muestral (T calculado), se encuentra en la región de rechazo, entonces la hipótesis nula se rechaza, y concluimos que: la calidad del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumple con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

Conclusiones de la prueba de hipótesis.

Según el análisis estadístico T de Student, para el objetivo general, se asegura que los biodigestores autolimpiables, son eficaces, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. Debido al cumplimiento de todos los objetivos específicos planteados, en términos de eficiencias de remoción, y el cumplimiento de la calidad de agua residual con los límites máximos permisibles, en los efluentes de cada biodigestor.

4.3 Discusión de resultados

4.3.1 Eficiencia de los biodigestores autolimpiables en el tratamiento de aguas residuales domésticos

Se entiende por eficacia, de los biodigestores autolimpiables en el tratamiento de aguas residuales domésticas, al logro concreto de todos los objetivos específicos del proyecto de investigación, en un período determinado, independientemente del trabajo desarrollado y el tiempo invertido durante la etapa de construcción e instalación de los biodigestores en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS -AH), donde los objetivos específicos fueron constituidos por la eficiencia de remoción de los biodigestores, los cuales se relacionan directamente con los resultados obtenidos de la calidad de agua residual en el efluente.

De encontrarse que la eficiencia de remoción, de los parámetros establecidos, cumplieran con los valores referenciales propuestos en los objetivos específicos de eficiencias, y no obstante, la calidad del agua residual en el efluente de los biodigestores incumplieran con los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM, entonces estos biodigestores no serían eficaces, aunque se lograran cumplir con los

objetivos de eficiencias, no necesariamente se lograrían cumplir con los objetivos del cumplimiento con el D.S 003 – 2010 MINAM. Entonces con respecto a su objetivo máximo donde la iniciativa tiene que lograr cumplir todos sus objetivos, los biodigestores no serían eficaces, debido a que no se lograrían cumplir con todos los objetivos específicos propuestos en la investigación.

Por lo que cumplir con todos los objetivos específicos propuestos tanto en la eficiencia de remoción como el cumplimiento del D.S 003 – 2010 MINAM, es un logro de eficacia

Para la presente investigación. Se lograron cumplir con todos los objetivos específicos, tanto en la eficiencia de remoción como en el cumplimiento del D.S 003 – 2010 MINAM, los cuales permitieron determinar que los biodigestores autolimpiables, son eficaces, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

a) Eficiencia de remoción según valores obtenidos en los efluentes de los sólidos totales en suspensión (STS)

En la presente investigación se obtuvo una disminución de 133.6 mg/L, a la salida (efluente), del biodigestor, esta disminución se debe a que en condiciones de reposo los sólidos suspendidos de mayor tamaño sedimentan al fondo del biodigestor eliminándose al momento de la extracción de lodos; y los sólidos de menor tamaño se mantienen suspendidas siendo consumidas al momento de adherirse en los aros Pet. Donde la eficiencia de remoción fue de 50.09 % y 123.92 mg/L en el efluente. Cubillos y Huertas (2018) obtuvieron valores de 81.52% en un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas, donde la diferencia respecto a la presente tesis es bastante notorio el cual se debe principalmente a la influencia de la temperatura, donde trabajaron con temperaturas

mayores a 27 °C por lo que esta condición modifica la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión, a pesar de las altas eficiencias de remoción que presentó el sistema a escala piloto el efluente fue 580.60 mg/L, demostrándose la teoría de la presente investigación, que un tratamiento puede ser eficiente mas no eficaz.

Calderón (2014) reporta que obtuvo 88.29 % de remoción para STS, mayor a la presente tesis debido a que presentaron temperaturas mayores de 22 (°C) a diferencia de la presente investigación que trabajo con 13.73 °C, apoyando la teoría de que a mayores temperaturas la eficiencia de remoción de los biodigestores incrementa.

Guerrero, Inga y Samaniego (2011) nos hacen referencia en su tesis la implementación de un biodigestor tipo tubular con flujo discontinuo, para tratar un efluente proveniente del establo de ganado de bovino luego de un tiempo de retención de 25 días obteniendo una remoción del 79,57%, mayor al de la presente tesis que trabajo con un tiempo de retención de 2 días (48 horas), donde se infiere que a mayor tiempo de retención hidráulica (TRH), se obtendrán mayores eficiencias de remoción.

En la investigación de Ramos (2016) “Uso del biodigestor autolimpiable en el sistema de saneamiento básico por arrastre hidráulico del C.P. de Pampacancha, distrito de Lircay”, desarrollado en condiciones similares a la presente tesis, obtuvo una eficiencia de 49.30 % menor al de la presente tesis y 72.05 (mg/L) en el efluente los cuales son menores a los obtenido en la presente tesis del efluente que fue 123.92 (mg/L), esto debido a la temperatura ambiental de Lircay a 15 °C, mayor al de la presente investigación que tuvo una temperatura ambiental de 8.3 °C.

b) Eficiencia de remoción según valores obtenidos en los efluentes de la demanda química de oxígeno (DQO)

Los resultados de las aguas residuales en los biodigestores autolimpiables de las UBS-AH en Huando, tuvo una eficiencia de remoción de 73.14 %, logrando disminuir 252.47 mg/L, a la salida (efluente) del biodigestor obteniendo 92.42 (mg/L), el cual representa el contenido de materia orgánica presente en un agua residual tanto la biodegradable como la no biodegradable. Cubillos y Huertas (2018) obtuvieron un 81.52 % en la remoción de DQO y 2664.82 (mg/L) en un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto respecto a la eficiencia es mayor a la obtenida en la presente tesis debido principalmente a la variación de temperatura, a pesar de la alta eficiencia de remoción ellos obtuvieron una concentración mayor en el efluente que el de la presente investigación, volviéndose a demostrar la factibilidad de la teoría sostenida por la presente investigación, que un tratamiento puede ser eficiente mas no eficaz por lo que la iniciativa tiene que lograr cumplir todos sus objetivos para que sean eficaces.

En la investigación de Calderón (2014), obtuvo como resultado de 184 (mg/L) en el efluente, donde los resultados de la presente tesis fueron mejores contradiciendo así la teoría de que a mayor temperatura mejor será la remoción, demostrando así que la digestión anaerobia funciona adecuadamente a temperaturas menores a 15 °C o 35 °C. Torres (1994) realizó la investigación “Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para reúso del agua en la agricultura” obteniendo 372.09 (mg/L), donde los resultados de la presente tesis fueron mejores 92.42 (mg/L) a pesar de la reducción considerable de estos parámetros no pueden ser destinados para ningún rehusó.

También se manifiesta a Rodríguez (2018), que plantea un sistema de tratamiento anaerobio mediante un biodigestor de 600 litros, obteniendo una eficiencia de 88 % de DQO y 190 (mg/L) mejores resultados al de la eficiencia obtenida en la presente tesis, no obstante se presentó mejores resultados en el efluente de la presente investigación a una menor eficiencia de remoción, demostrando nuevamente, la teoría sostenida por la presente tesis, que un tratamiento puede ser eficiente mas no eficaz.

En un biodigestor pre fabricado a una altitud de 4103 m.s.n.m, Mejía (2016) obtuvo 310.90 (mg/L) para DQO sobrepasando los LMP del D.S 003 – 2010 – MINAM, provocados por las bajas temperaturas, demostrándose la veracidad de las teorías del marco teórico de que temperaturas menores a 15 °C, las eficiencias de remoción disminuyen desfavorablemente. Castro (2017), desarrolló la investigación “Evaluación de la remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica” obteniendo 48.86 % de eficiencia para DQO y 517 (mg/L), los cuales sobrepasan los LMP debido a que se usó aguas residuales del camal municipal con contenidos de sangre a diferencia de la presente tesis que trato aguas residuales doméstica con menores contenidos de materia orgánica en el agua residual. Ramos (2016) obtuvo 46.92 % de eficiencia y 250 (mg/l), en el distrito de Lircay para aguas residuales domesticas donde estos valores superan los límites máximos permisibles donde los resultados obtenido en la presente tesis fueron mucho mejores analizando el mismo sistema de tratamiento, demostrándose la teoría sostenida por la presente tesis, de que un tratamiento no puede ser eficiente ni eficaz para lo cual se recomendaría revisar las causas por las que resultaron no ser eficientes ni eficaces.

c) Eficiencia de remoción según valores obtenidos en los efluentes de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Los resultados obtenidos muestran que los biodigestores autolimpiables en las UBS – AH, de Huando son eficientes en un 71.47 %, determinando que los niveles de 80.25 (mg/L) de (DBO₅) no sobrepasan los LMP del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, para 1 año de funcionamiento, logrando disminuir 201.22 mg/L a la salida (efluente), del biodigestor, el cual significa que la materia orgánica biodegradable fue utilizada por los microorganismos, para sus procesos vitales y para la formación de nueva materia celular.

En la evaluación de la eficiencia del biodigestor comercial después de 5 años de funcionamiento Calderón (2014) reporta que se obtuvo 54.07 % de remoción para (DBO₅) y 101.17 (mg/L) donde los resultados de la presente tesis son mejores contradiciendo la teoría de que a mayor tiempo de funcionamiento y a mayores temperaturas es mejor la remoción de contaminantes. León (2018), ejecutó la investigación “Eficiencia de biodigestores prefabricado, usando Pet y esponjas para la remoción de aguas residuales domésticas indicando que el de mayor eficiencia es usando los filtros Pet. También se manifiesta a Rodríguez (2018), que plantea un sistema de tratamiento anaerobio mediante un biodigestor de 600 litros, donde obtuvo un 94 % de remoción de la (DBO₅); 80 (mg/L) estos resultados cumplen con los del D.S 003 – 2010 MINAM, demostrándose la teoría de la presente tesis que un tratamiento es eficaz si logra cumplir todos los objetivos específicos planteados como son la eficiencia de remoción y cumplimiento con las normativas.

Mejía (2016) También reportó valores de 113 (mg/L) en un biodigestor pre fabricado a una altitud de 4103 m.s.n.m, sobrepasando

los límites máximos permisibles debido a las bajas temperaturas el cual ocasiona que las velocidades de degradación disminuyan. En la investigación de Ramos (2016), el resultado fue de 66.44% de eficiencia y 149 (mg/L) demostrando que la eficiencia es determinada por la diferencia del afluente y efluente entre el afluente el cual no necesariamente determina el cumplimiento con los LMP en relación a los valores del efluente donde se ve que superan los LMP, reiterando la factibilidad de la teoría planteada por la presente tesis, que un tratamiento puede ser eficiente mas no eficaz, esto debido al incumplimiento de uno de sus objetivos planteados en la tesis para Lircay.

Santos (2015) en su tesis denominada “Evaluación de biodigestor de polietileno Rotoplas en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba - Espinar”, obtuvo 71 % de eficiencia de remoción para DBO_5 , a pesar de la alta eficiencia obtenida no redujo los niveles de concentración en el efluente, quien concluyó que el nivel de contaminación de la zona en estudio es alto ya que los contaminantes potenciales superan los límites máximos permisibles, es decir afecta al agua de riego de vegetales y bebidas de animales, y la contaminación el agua subterránea, demostrándose la teoría de la presente investigación, de que un sistema puede ser eficiente mas no eficaz.

Yapu (2018) en su tesis “Tratamiento de aguas residuales domesticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del Municipio de San Buenaventura”, obteniendo una concentración promedio de 198.82 mg/l que en comparación de los límites permisibles establecidos en la ley 1333, normativa Boliviana donde solo permite 80 mg/l por día, el cual no cumple con lo establecido. Se observa que la normativa boliviana es más exigente en

cuanto a los límites máximos permisibles a diferencia de la normativa peruana que es más flexible estableciendo como límite máximo permisible de 100 mg/L.

d) Eficiencia de remoción según valores obtenidos en los efluentes de los aceites y grasas (AyG)

Referente a aceites y grasas (AyG) se obtuvo una eficiencia de 93.45 % y 10.04 (mg/L) en el efluente del biodigestor autolimpiable Rotoplas, Se observa una disminución de 143.57 mg/L, debido a que una parte de los aceites y grasas sedimentaron arrastradas por los sólidos en suspensión de esta manera parte de las grasas es retirada con los lodos, demostrándose que el sistema implantado en Huando es eficaz debido al cumplimiento de todos los objetivos específicos planteados inicialmente, referidos tanto para la eficiencia de remoción como el cumplimiento de la normativa. Mejía (2016), obtuvo 7.8 (mg/L) para aceites y grasas en el efluente del biodigestor prefabricado en Apurímac, cumpliendo con los LMP del D.S 003 – 2010 – MINAM estos resultados son mejores que los de la presente tesis debido a la variación de la temperatura. También se reporto 27.64 (mg/L) para aceites y grasas llegando a la conclusión de que al no realizar la limpieza de las natas de aceites y grasas derivadas de los detergentes se tendría una inadecuada eficiencia del reactor Castro (2017).

Ríos y Cisnéros (2019) realizaron la investigación “Eficiencia de un biodigestor en el tratamiento de agua residual domestica a nivel familiar en la asociación “los Víquez” Carapongo - Lurigancho Chosica- Lima”, obteniendo como resultado 82.5 % de remoción de AyG, logrando un 21 mg/L en el efluente sobrepasando los límites máximos permisibles del D.S 003 – 2010 MINAM, confirmando la teoría sostenida por la presente investigación, de que un tratamiento

puede ser eficiente mas no eficaz, porque no logro cumplir todos sus objetivos planteados.

Leon (2018) en su tesis “Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la Localidad de Chibaya Baja – Torata – Moquegua ”. Con el objetivo: de determinar la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domesticas con biodigestor, obtuvo como resultados en términos de eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domesticas 35.92 % en remoción de aceites y grasas, cumpliendo con los límites máximos permisibles para este parámetro mas no para DBO_5 y DQO, donde estas aguas no deben ser vertidos a cuerpos de aguas (ríos, lagos, aguas subterráneas, etc.).

e) Eficiencia de remoción según valores obtenidos en los efluentes de los coliformes termotolerantes (CTT)

Los resultados de la investigación para el parámetro microbiológico de coliformes termotolerantes (CTT), obtuvo un promedio de 36.75 % y 2237.06 NMP/100 mL, donde estos agentes microbianos disminuyo 1299.88 mg/L, en el efluente, debido a la presencia de los sólidos en suspensión quienes desempeñan un papel importante como contaminantes, ya que los agentes patógenos adheridos a estos son transportados en la superficie de dichas partículas, eliminándose los coliformes por sedimentación al ser expulsadas al momento de la extracción de los lodos. Torres (1994) realizó la investigación “Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para reúso del agua en la agricultura” obteniendo 153×10^6 (NMP/100 mL) resultados que sobrepasan los LMP a diferencia de los resultados de la presente tesis que se obtuvo 2237.06 (NMP/100 mL) donde si cumple con las normas peruanas a pesar del cumplimiento con los LMP no clasifican para ser reusados

en ninguna categoría. En otra investigación, Mejía (2016) analizó la eficiencia de biodigestores en Apurímac a 4103 m.s.n.m donde se obtuvo 230000 (NMP/100 ml) para CTT sobrepasando los LMP, esto debido a las condiciones de las bajas temperatura, los cuales no deben ser vertidos en los suelos y cuerpos de aguas como ríos, lagos o mar. En otra investigación Ramos (2016), obtuvo $2.40E+04$ de CTT en el efluente del biodigestor para aguas residuales domesticas en el distrito de Lircay donde estos valores superan los límites máximos, en el cual es necesario cambiar el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Valdez (2016), en su tesis “Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la localidad de Chucuito” inocularon las bacterias (*E. Collí*), para lograr una mejor eficiencia de remoción, donde demostraron que el tratamiento obtuvo una disminución significativa de pH, sólidos totales en suspensión, a medida que aumento el tiempo de retención y la carga de aplicación, obteniendo que el *Escherichia coli* se desarrolla óptimamente con pH entre 6 y 7, y su mínimo es 4.4; concordando con la presente tesis que tuvo un pH de 6.93 unidades obteniendo adecuados niveles de remoción demostrándose que los biodigestores autolimpiables funcionan sin problema en climas menores a los 15 °C, como es el caso del Centro Poblado de Nueva Acobambilla.

Ríos y Cisnéros (2019) realizaron la investigación “Eficiencia de un biodigestor en el tratamiento de agua residual domestica a nivel familiar en la asociación “los Víquez” Carapongo - Lurigancho Chosica- Lima”, tuvo como resultados 97.3% de eficiencia de remoción, y en el efluente obtuvo 724.5 NMP/100 ml, los cuales cumplen con las normativas peruanas, demostrando la teoría de la presente investigación que un sistema puede ser eficiente y eficaz, debido al cumplimiento de todos sus objetivos planteados.

Mancha (2015) ejecuto la tesis “Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor autolimpiable en el Centro Poblado de Sanquira – Yunguyo - puno”. Indica que los biodigestores autolimpiables Rotoplas, en el centro poblado de Sanquira – Yunguyo – Puno, no son del todo eficientes en cuanto a la remoción de las aguas residuales, obteniendo 33.60 % de eficiencia de remoción para CTT, a pesar de la considerable eficiencia de remoción obtenida los CTT superan los límites máximo permisibles. Llegando a la conclusión de que los valores en el efluente no cumplen con los LMP para ser descargados a cuerpos receptores. Demostrando la teoría sostenida por la presente investigación, de que, aunque se logran cumplimiento con las eficiencias, no necesariamente se logran cumplir con los objetivos de cumplimiento con las normas pertinentes.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019, se demostró que los parámetros físicos, químicos y microbiológicos cumplen con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales; sin embargo no clasifican para ser reutilizados, para ninguna categoría ni para el riego de plantas de tallo alto ni para el riego de áreas verdes, donde los LMP para estas categorías son más bondadosas a diferencia del resto de las categorías.

Por otro lado, los lodos podrían ser aprovechados como fertilizantes previo análisis físico, químico y microbiológico, para ello es importante realizar investigaciones referidos a estos temas para buscar el aprovechamiento de los residuos tratados de diferentes sectores.

CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó que los biodigestores autolimpiables, son eficaces, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- ✓ Se determinó que los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 27.28 %, en cuanto a la remoción del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- ✓ Se determinó que los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 25.96 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- ✓ Se determinó que los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 36.76 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- ✓ Se determinó que los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 13.56 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.
- ✓ Se determinó que los biodigestores autolimpiables, son eficientes mayor a 10 %, en cuanto a la remoción del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.

- ✓ Se determinó que la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumplen con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019.

RECOMENDACIONES

- ✓ Es necesario realizar como mínimo 3 monitoreos y cumplir con todos los objetivos sin excepción para determinar la eficacia de los biodigestores.
- ✓ Se recomienda realizar de forma obligatoria los análisis de todos los parámetros para determinar la eficacia de un determinado tratamiento para aguas residuales según el D.S 003 – 2010 MINAM.
- ✓ Se recomienda realizar proyectos de investigación para la caracterización de las aguas residuales tratadas para determinar si se puede destinar para riego de plantas de tallo alto y el aprovechamiento de los lodos como abono.
- ✓ Es necesario capacitar a los beneficiarios de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, del Centro Poblado de Nueva Acobambilla, Distrito de Huando, Provincia de Huancavelica, Región Huancavelica, para la correcta operación, mantenimiento y limpieza del biodigestor.
- ✓ No sobrepasar el número de usuarios indicados para la capacidad del biodigestor según las especificaciones técnicas de la empresa fabricante ya que podría ocasionar defectos en el tratamiento.
- ✓ Se recomienda verificar la caja de lodos y realizar la primera extracción de lodos antes de que los biodigestores colapsen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2013). Resolución Jefatural N° 224-2013 - ANA. *El Peruano*, p. 48. Recuperado de http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.224_con_reglamento_autorizaciones_de_vertimientos_6.pdf
- APHA, AWWA, y WPCF. (1989). *Metodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España.
- Barrenechea, A. (1978). Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua. En *Aguas residuales* (p. 54). Canadá.
- Bisquerra, R. (2009). *Metodología de la investigación educativa* (segunda edición; S. S. La Muralla, Ed.). Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/166/16612113.pdf#page=1&zoom=auto,0,288>
- Blasco, E. (1998). *Análisis de aguas y desagües* (Segunda). Lima, Perú.
- Calderón, P. (2014). Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Castro, J. (2017). Evaluación de la remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica. Universidad nacional de huancavelica, Huancavelica, Perú.
- COHRE, WaterAid, COSUDE, y UN-HABITAT. (2008). *Saneamiento: Un imperativo de derechos humanos*. Ginebra, Suiza.
- Conza, A., Arobes, S., Salinas, J., Quispe, A., y Jave, I. (2017). *Saneamiento rural para la region Libertad - PRAYSAR*.
- Corona, I. (2007). *Biodigestores* (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). <https://doi.org/10.1111/1467-9914.00232>
- Corrales, L., Antolinez, D., Bohórquez, J., y Corredor, A. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 27. <https://doi.org/10.22490/24629448.1717>
- Cubillos, D., y Huertas, D. (2018). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento

- de aguas residuales porcinas en la Institución Educativa Agrícola Guacavia, Cumaral-Meta (Universidad Santo Tomas). Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15536>
- Departamento Nacional de Planeacion. (2015). Construcción de Unidades Sanitarias para Vivienda Rural Dispersa. En *World bank group*. Recuperado de <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/unidadesanitarias/PTunidadesanitarias.pdf>
- Espigares, M., y Pérez, J. (1985). *Aguas Residuales: Composicion*. Recuperado de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Franceys, R., Pickford, J., y Reed, R. (1992). A guide to the development of on-site sanitation. En *World Health Organization*. United Nations.
- Garzón, M. (2011). *Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- González, E., y Jurado, P. (2017). Sustratos y producción de biogás en biodigestores . Una revisión sistemática. *Ingeciencia*, 2(1), 21.
- Guerrero, C., Inga, E., y Samaniego, F. (2011). Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino (Universidad politécnica salesiana). Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1215/14/UPS-CT002194.pdf>
- Guerrero, L. (2018, mayo 24). ¿Qué es un biodigestor? Recuperado de <https://www.aboutespanol.com/que-es-un-biodigestor-3417683>
- HACH. (2000). *Manual De Análisis De Agua*. Recuperado de www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639984469
- Hanna, I. (2015). *Phmetro digital HI 8424*. España.
- Hernández, R., y Fernández, C. (2010). *Metodología de la Investigación* (Quinta). México.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1997). *Metodología dela investigación* (Primera). México.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación*.

- En *Metodología de la investigación* (Cuarta). México.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta). México.
- Herrero, J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación. En *GTZ-Energía*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ibañez, W. (2012). *Manual de Costos y Presupuestos de Obras Hidráulicas y de Saneamiento* (Primera; M. E.I.R.L., Ed.). Perú.
- INVEMAR. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos). *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives De Andrés" INVEMAR*, p. 148. <https://doi.org/10.1192/bjp.111.479.1009-a>
- Lara, J. (2006). *Tratamientos naturales de aguas residuales*. Bogotá, Colombia.
- Leon, E. (2018). Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la Localidad de Chibaya Baja – Torata – Moquegua. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- León, K. (2018). *Eficiencia de biodigestores usando pet y esponjas para la remoción de DQO, DBO del agua residual domestica - Tuyu, Marcará - Ancash*. (Universidad nacional Santiago antúnez de mayolo). Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2830>
- Lorenzo, Y., y Obaya, C. (2005). La digestión anaerobia aspectos teóricos parte I. *revista ICIDCA*, 15.
- Mancha, R. (2015). *Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor autolimpiable en el Centro Poblado de Sanquira - Yunguyo*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Mejía, F. (2016). Eficiencia Del Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Mediante Un Biodigestor Prefabricado En La Subestación Eléctrica Cotaruse - Apurímac. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Metcalf, y Eddy. (1998). *Ingeniería de aguas residuales* (A. García, Ed.). España.
- MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. , Pub. L. No. 469446–6, El Peruano 2 (2010).
- Mokate, K. (2002). Eficacia, equidad y sostenibilidad. *INDES*, 37. Recuperado de

https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/9/37779/gover_2006_03_eficacia_eficiencia.pdf

MVCS. Reglamento nacional de edificaciones. , Ministerio de Vivienda, Construcción y saneamiento § (2006).

MVCS. Guía de opciones técnicas para abastecimiento de agua potable y saneamiento para centros poblados del ámbito rural. , Programa Nacional de Saneamiento Rural § (2012).

MVCS. *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.* , (2013).

MVCS. (2016). Agua y saneamiento. Recuperado de Ministerio de Vivienda Construcción y saneamiento website: http://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/agua_saneamiento/agua_y_saneamiento.html

MVCS. *Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural.* , (2018).

OMS. (2019, junio 14). Saneamiento. Recuperado de Organización Mundial de la Salud website: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

Ortiz, P. (2014). *Fundamentos de tratamiento por lagunas.* La Ceiba, Atlántida.

Pizarro, S. (2005). *Biodigestor* (Primera). Buenos Aires, Argentina.

Ramalho, R. (1983). Tratamiento de aguas residuales. En *Editorial Reverté.* Canada.

Ramirez, E. (2004). *Fundamentos teóricos de lodos activados y aereación extendida.* Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-search.pl?idx=ti&q=Fundamentos+teóricos+de+lodos+activados+y+aereación+extendida>

Ramos, C. (2016). Uso del biodigestor en el sistema de saneamiento básico por arrastre hidráulico del c.p. de Pampacancha, distrito de Lircay. Universidad nacional de huancavelica, Huancavelica, Perú.

Ríos, J., y Cisnéros, L. (2019). Eficiencia de un biodigestor en el tratamiento de agua residual domestica a nivel familiar en la asociación “los Víquez” Carapongo - Lurigancho Chosica- Lima (Universidad Peruana Unión). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Rodriguez, I. (2018). Propuesta de diseño del sistema de saneamiento básico en el caserío de Huayabas – Parcoy – Pataz – La Libertad, 2017. Universidad Privada

- del Norte, Trujillo, Perú.
- Romero, J. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y principios de diseño* (3a ed.). Bogotá, Colombia.
- Rotoplas. (2017). *Biodigestor Rotoplas*. Recuperado de http://www.sanitariosgabriel.com.ar/img/productos/biodigestor_rotoplas.pdf
- Rotoplas. (2018). Ficha técnica biodigestor autolimpiable. *Procon*, p. 10. Lima, Perú.
- Rotoplas. (2019). Biodigestor autolimpiable Rotoplas. *Rotoplas*, p. 42. Colombia.
- Rugama, F., y Castillo, J. (2014). *Métodos de detección de contaminación microbiana*. Recuperado de <https://avdiaz.files.wordpress.com/2010/02/presentacion-clase-4.pdf>
- Santos, R. (2015). Evaluación de biodigestor de polietileno rotoplas en el tratamiento de aguas residuales doméstica y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-Espinar (Universidad Nacional del Altiplano - Puno). Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2032/RUBEN_SANTOS_NINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica* (Cuarta). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Torres, E. (1994). Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para reúso del agua en la agricultura. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Valdez, A. (2016). Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la localidad de Chucuito (Universidad Nacional del Altiplano). Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4085>
- Valdez, E., y Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México.
- Viñas, V., Lewis, E., y Paulette, M. (2017). Conceptos clave de seguimiento y evaluación de programas y proyectos. *Fondo internacional de desarrollo agrícola (FIDA)*, p. 127. Italia, Roma.
- Volcy, C. (2007). Historia de los conceptos de causa y enfermedad: Paralelismo entre la medicina y la fitopatología. *Iatreia*, 20(4), 407–421.
- Yapu, C. (2018). Tratamiento de aguas residuales domesticas a través de un

biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del Municipio de San Buenaventura. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.



APÉNDICE

Apéndice 1.

Matriz de consistencia.

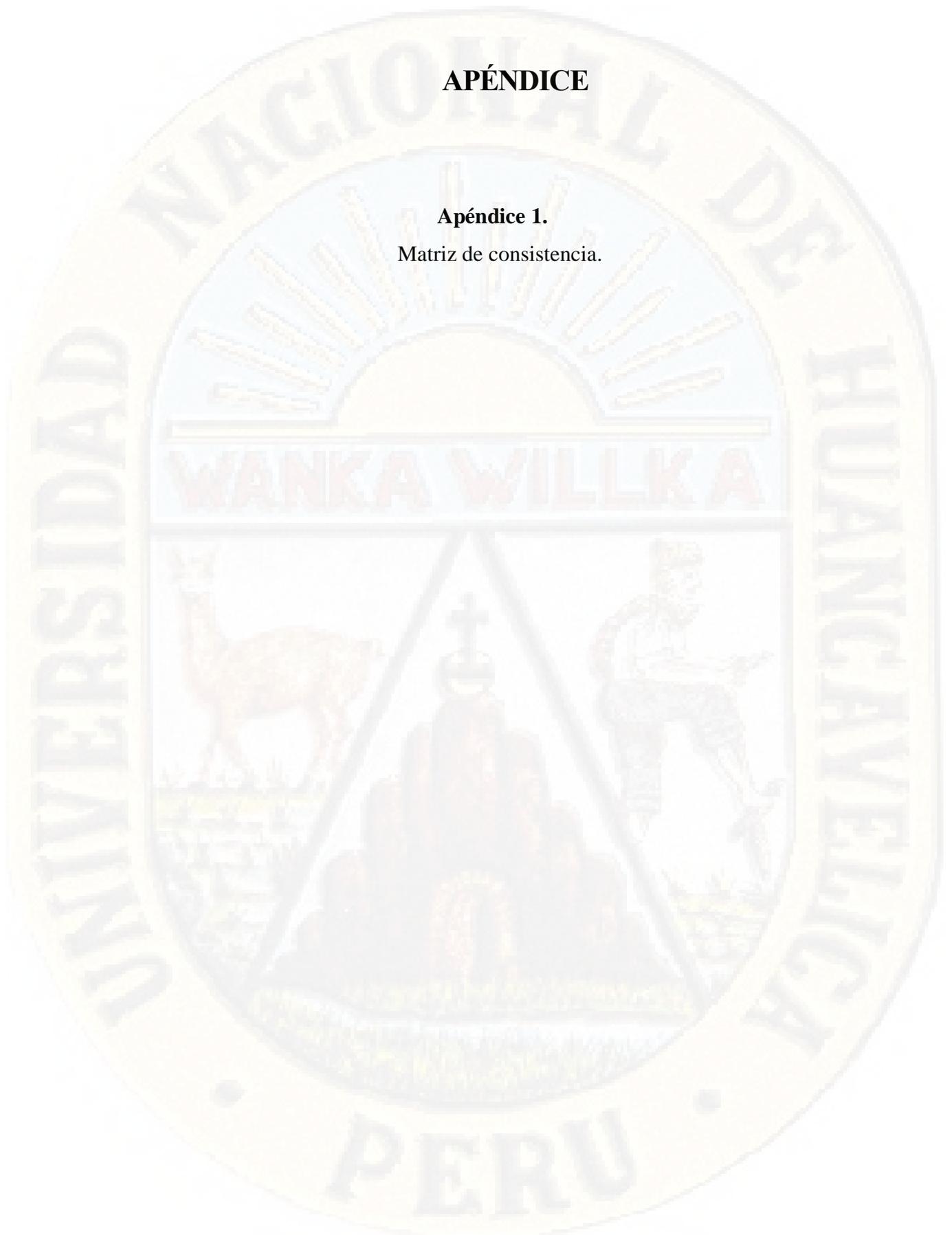
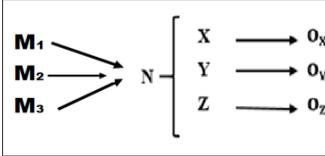


Tabla 46

Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es la eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL:</p> <p>Los biodigestores autolimpiables, son eficaces, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.</p>	<p>Variable de estudio:</p> <p>Eficacia de los biodigestores autolimpiables.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Investigación aplicada.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Descriptivo.</p> <p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Científico</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>No experimental</p> <p>transeccional – Descriptivo</p> 
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019? ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades básicas de 	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las 	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 27.28 %, en cuanto a la remoción del parámetro físico: sólidos totales en suspensión (STS), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 25.96 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda química de oxígeno (DQO), en las unidades 	<p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parámetros físicos - Parámetros químicos. - Parámetros microbiológicos 	

<p>saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019? • ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019? • ¿Cuál es la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), 	<p>unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. • Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. • Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores autolimpiables, en cuanto al parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), 	<p>básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 36.76 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. • Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 13.56 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. • Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 10 %, en cuanto a la remoción del parámetro microbiológico: coliformes termotolerantes (CTT), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas,
---	--	--

Leyenda:

M_{1,2 y 3} = Monitoreos

N = 252 muestras.

X = Parámetros físicos.

Y = Parámetros químicos.

Z = Parámetros microbiológicos.

O_X = Observación 1 para X.

O_Y = Observación 2 para Y.

O_Z = Observación 3 para Z.

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

Muestreo de las aguas residuales.

- **Técnica:**

Análisis de laboratorio (observación).

- **Instrumento:**

Ficha de análisis de laboratorio, pHmetro digital HI 8424 y PS diferencial Garmin.

POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO:

- Población: 6 biodigestores.
- Muestra: 252

<p>en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019?</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019? 	<p>en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019. 	<p>Huando 2019.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los biodigestores autolimpiables, muestran una eficiencia mayor a 13.56 %, en cuanto a la remoción del parámetro químico: aceites y grasas (AyG), en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019. • La calidad de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el efluente de los biodigestores autolimpiables, cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), en comparación con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH), en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Huando 2019. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muestreo: <ul style="list-style-type: none"> No probabilístico con tipo de muestreo por conveniencia. <p style="text-align: center;">TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS</p> <p style="text-align: center;">Técnica estadística:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Test de normalidad - Paquete estadístico SAS 9.4 - estadístico de Shapiro-Wilk - Prueba de T de Student.
---	---	--	--

Apéndice 2.

Resultado de parámetros físico – químico y microbiológicos durante los 3 monitoreos.

Tabla 47

Resultado de parámetros físicos - químicos y microbiológicos durante el 1er monitoreo

MONITOREO 1:									
Fecha: 15/02/2019		ID	PARÁMETROS						
			AyG	DBO ₅	DQO	SST	CTT	pH .	T (°C)
UBS1	AFLUENTE	M-01 A1	165	285.5	360			7.08	14.2
		M-01 A2				325.5			
		M-01 A3					3500		
	EFLUENTE	M-01 E1	10	80	95			7.33	14.5
		M-01 E2				125.5			
		M-01 E3					2200		
UBS2	AFLUENTE	M-02 A1	165	295.5	355			6.99	14.4
		M-02 A2				320			
		M-02 A3					3500		
	EFLUENTE	M-02 E1	10	80	94			7.07	14.4
		M-02 E2				125			
		M-02 E3					2200		
UBS3	AFLUENTE	M-03 A1	165	290.5	350			7.09	14.4
		M-03 A2				325.5			
		M-03 A3					3550		
	EFLUENTE	M-03 E1	10.5	80	95			7.13	14.3
		M-03 E2				125			
		M-03 E3					2250		
UBS4	AFLUENTE	M-03 A1	165	285.5	360			7.03	14.3
		M-03 A2				320			
		M-03 A3					3500		
	EFLUENTE	M-03 E1	10	80	90.5			6.77	14.4
		M-03 E2				125			
		M-03 E3					2250		
UBS5	AFLUENTE	M-03 A1	165	290	355			7.09	14.5
		M-03 A2				325			
		M-03 A3					3500		
	EFLUENTE	M-03 E1	10	80	93			6.98	14.4
		M-03 E2				125			
		M-03 E3					2200		
UBS6	AFLUENTE	M-03 A1	165	285.5	355.5			7.12	14.5
		M-03 A2				322.5			
		M-03 A3					3550		
	EFLUENTE	M-03 E1	10.5	80	95			6.82	14.5
		M-03 E2				125.5			
		M-03 E3					2250		

Tabla 48

Resultado de parámetros físico – químico y microbiológicos durante el 2do monitoreo

MONITOREO 2									
Fecha: 18/03/2019	ID	PARÁMETROS							
		AyG	DBO5	DQO	SST	CTT	pH .	T (°C)	
UBS1	AFLUENTE	M-01 A1	154	280	357			7.14	12.6
		M-01 A2				225.3			
		M-01 A3					3530		
	EFLUENTE	M-01 E1	10.3	80	93.5			7.43	13.4
		M-01 E2				149			
		M-01 E3					2230		
UBS2	AFLUENTE	M-02 A1	154	290	357.8			6.78	12.8
		M-02 A2				224			
		M-02 A3					3530		
	EFLUENTE	M-02 E1	10	80.5	92.6			7.21	13.3
		M-02 E2				147			
		M-02 E3					2225		
UBS3	AFLUENTE	M-03 A1	152	280	325.3			7.18	12.7
		M-03 A2				225.3			
		M-03 A3					3550		
	EFLUENTE	M-03 E1	10.5	80	93			7.32	13.5
		M-03 E2				122.5			
		M-03 E3					2250		
UBS4	AFLUENTE	M-03 A1	152	274	335.5			7.54	12.9
		M-03 A2				224			
		M-03 A3					3520		
	EFLUENTE	M-03 E1	9.3	80.5	90.3			6.98	13.5
		M-03 E2				125.3			
		M-03 E3					2250		
UBS5	AFLUENTE	M-03 A1	155	281	342.5			7.2	12.4
		M-03 A2				225			
		M-03 A3					3530		
	EFLUENTE	M-03 E1	9.8	80	92.3			6.98	13.6
		M-03 E2				122.5			
		M-03 E3					2225		
UBS6	AFLUENTE	M-03 A1	154	282.8	350.3			7.22	12.8
		M-03 A2				225.3			
		M-03 A3					3555		
	EFLUENTE	M-03 E1	10.3	80.5	93			6.95	13.7
		M-03 E2				122.75			
		M-03 E3					2250		

Tabla 49

Resultado de parámetros físico – químico y microbiológicos durante el 3er monitoreo

MONITOREO 3									
Fecha: 05/04/2019	ID	PARÁMETROS							
		AyG	DBO5	DQO	SST	CTT	pH .	T(°C)	
UBS1	AFLUENTE	M-01 A1	143	275	355.3			7.15	13.8
		M-01 A2				222.5			
		M-01 A3					3570		
	EFLUENTE	M-01 E1	10.5	80	92			6.75	13.8
		M-01 E2				100			
		M-01 E3					2250		
UBS2	AFLUENTE	M-02 A1	143	285	360.5			7.17	13.6
		M-02 A2				206.7			
		M-02 A3					3560		
	EFLUENTE	M-02 E1	10	81	91.2			6.63	13.5
		M-02 E2				105			
		M-02 E3					2245		
UBS3	AFLUENTE	M-03 A1	139	270	300.5			7.21	12.6
		M-03 A2				200.5			
		M-03 A3					3555		
	EFLUENTE	M-03 E1	10.5	80	90.8			6.76	13.6
		M-03 E2				120			
		M-03 E3					2247		
UBS4	AFLUENTE	M-03 A1	140	264	310.9			7.25	12.8
		M-03 A2				203			
		M-03 A3					3548		
	EFLUENTE	M-03 E1	8.5	81	90			6.45	13.2
		M-03 E2				125.5			
		M-03 E3					2250		
UBS5	AFLUENTE	M-03 A1	145	272	330			7.09	13.6
		M-03 A2				203.3			
		M-03 A3					3557		
	EFLUENTE	M-03 E1	9.5	80	91.5			6.52	12.8
		M-03 E2				120			
		M-03 E3					2250		
UBS6	AFLUENTE	M-03 A1	144	280	345			7.23	13.45
		M-03 A2				312			
		M-03 A3					3560		
	EFLUENTE	M-03 E1	10	81	90.9			6.69	12.8
		M-03 E2				120			
		M-03 E3					2245		

Apéndice 3

Datos de todos los efluentes procesados en el Sistema SAS.

TEMPERATURA (T)

DATA ESTDISCRIMONIVIVI;

INPUT EFLUENTE TEMPERATURA;

CARDS;

14.5

14.4

14.3

14.4

14.4

14.5

13.4

13.3

13.5

13.5

13.6

13.7

13.8

13.5

13.6

13.2

12.8

12.8

PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=ESTDISCRIMONIVIVI;

VAR EFLUENTE TEMPERATURA;

HISTOGRAM;

RUN;

Potencial de hidrógeno (pH)

DATA ESTDISCRIMONIVIVI;

INPUT EFLUENTE pH;

CARDS;

7.33

7.07

7.13

6.77

6.98

6.82

7.43

7.21

7.32

6.98

6.98

6.95

6.75

6.63

6.76

6.45

6.52

6.69

PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=ESTDISCRIMONIVIVI;

VAR EFLUENTE pH;

HISTOGRAM;

RUN;

Sólidos totales en suspensión (STS)

DATA ESTDISCRIMONIVIVI;

INPUT EFLUENTE SST;

CARDS;

125.5

125

125

125

125

125.5

149

147

122.5

125.3

122.5

122.75

100

105

120

125.5

120

120

PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=ESTDISCRIMONIVIVI;

VAR EFLUENTESST;

HISTOGRAM;

RUN;

Demanda química de oxígeno (DQO)

```
DATA ESTDISCRIMONIVIVI;
```

```
INPUT EFLUENTE DQO;
```

```
CARDS;
```

```
95  
94  
95  
90.5  
93  
95  
93.5  
92.6  
93  
90.3  
92.3  
93  
92  
91.2  
90.8  
90  
91.5  
90.9
```

```
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=ESTDISCRIMONIVIVI;
```

```
VAR EFLUENTE DQO;
```

```
HISTOGRAM;
```

```
RUN;
```

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

```
DATA ESTDISCRIMONIVIVI;
```

```
INPUT EFLUENTE DBO5;
```

```
CARDS;
```

```
80  
80  
80  
80  
80  
80  
80  
80.5  
80  
80.5  
80  
80.5  
80  
81  
80  
81  
80  
81
```

```
PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=ESTDISCRIMONIVIVI;
```

```
VAR EFLUENTEDBO5;
```

```
HISTOGRAM;
```

```
RUN;
```

Aceites y grasas (AyG)

DATA ESTDISCRIMONIVIVI;

INPUT EFLUENTE AyG;

CARDS;

10
10
10.5
10
10
10.5
10.3
10
11
9.3
9.8
10.3
10.5
10
10.5
8.5
9.5
10

PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=ESTDISCRIMONIVIVI;

VAR EFLUENTE AyG;

HISTOGRAM;

RUN;

Coliformes termotolerantes (CTT)

DATA ESTDISCRIMONIVIVI;

INPUT EFLUENTECTT;

CARDS;

2200
2200
2250
2250
2200
2250
2230
2225
2250
2250
2225
2250
2250
2245
2247
2250
2250
2245

PROC UNIVARIATE PLOT NORMAL DATA=ESTDISCRIMONIVIVI;

VAR EFLUENTECTT;

HISTOGRAM;

RUN;

Apéndice 4

Límites de confianza para los parámetros físicos químicos y microbiológico.

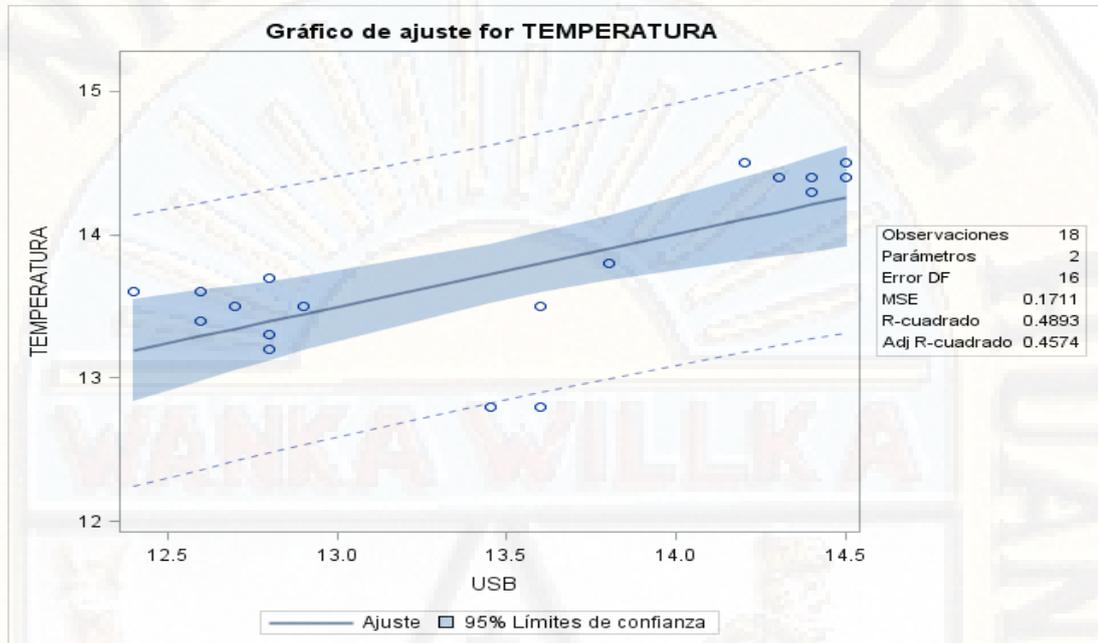


Figura 51. Límites de confianza parámetros físicos temperatura.

Fuente: elaboración propia.

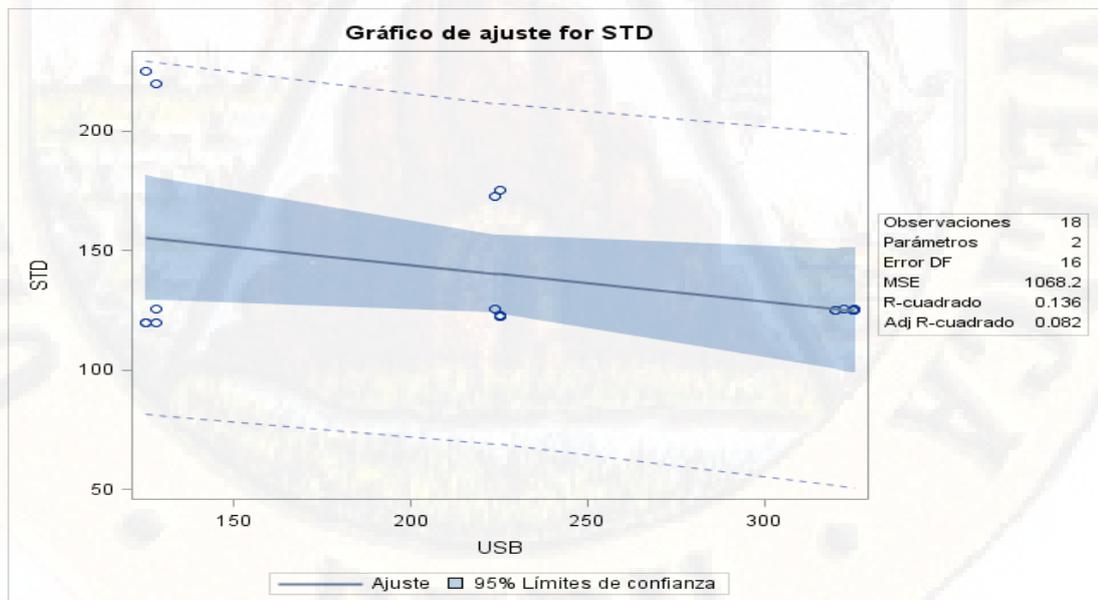


Figura 52. Límites de confianza parámetros físicos STS.

Fuente: elaboración propia.

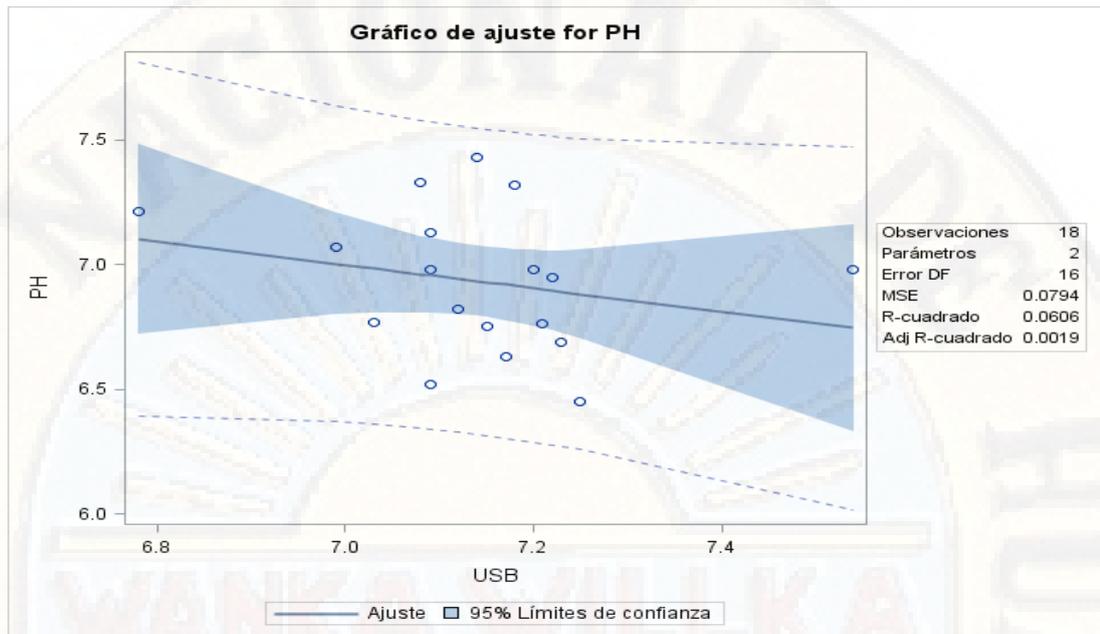


Figura 53. Límites de confianza parámetros químicos pH.

Fuente: elaboración propia.

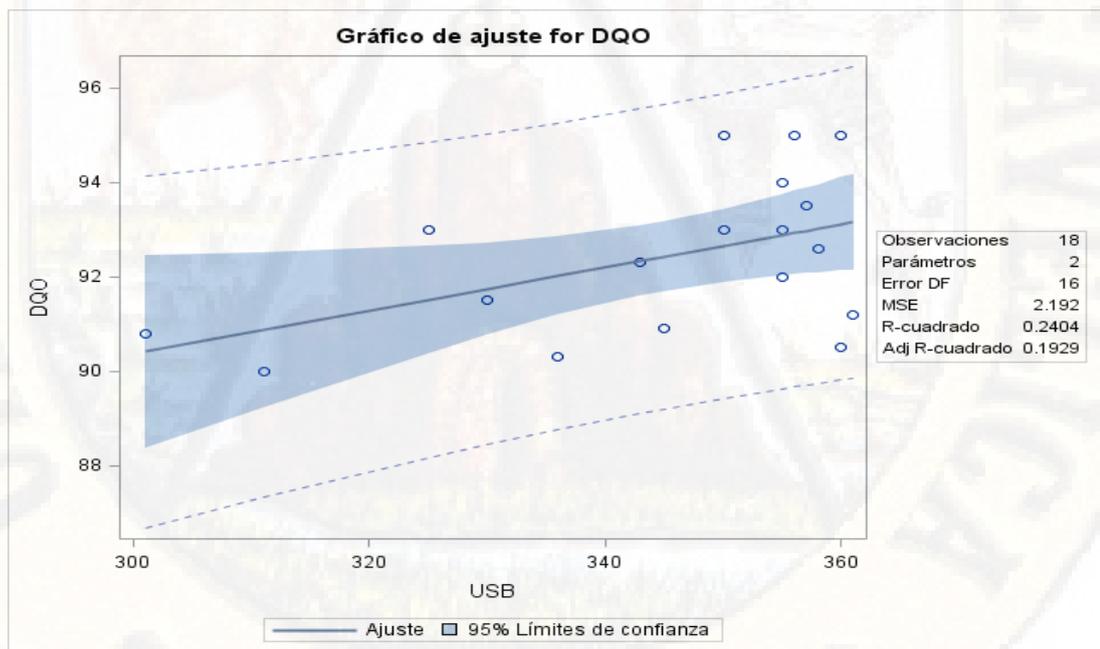


Figura 54. Límites de confianza parámetros químicos DQO.

Fuente: elaboración propia.

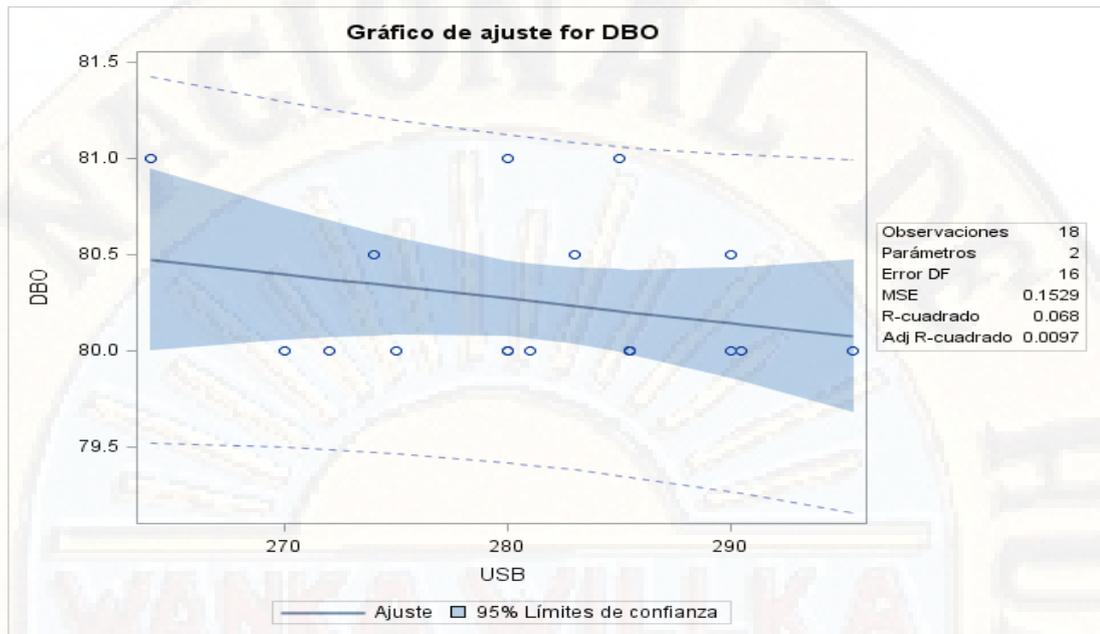


Figura 55. Límites de confianza parámetros químicos (DBO₅).

Fuente: elaboración propia.

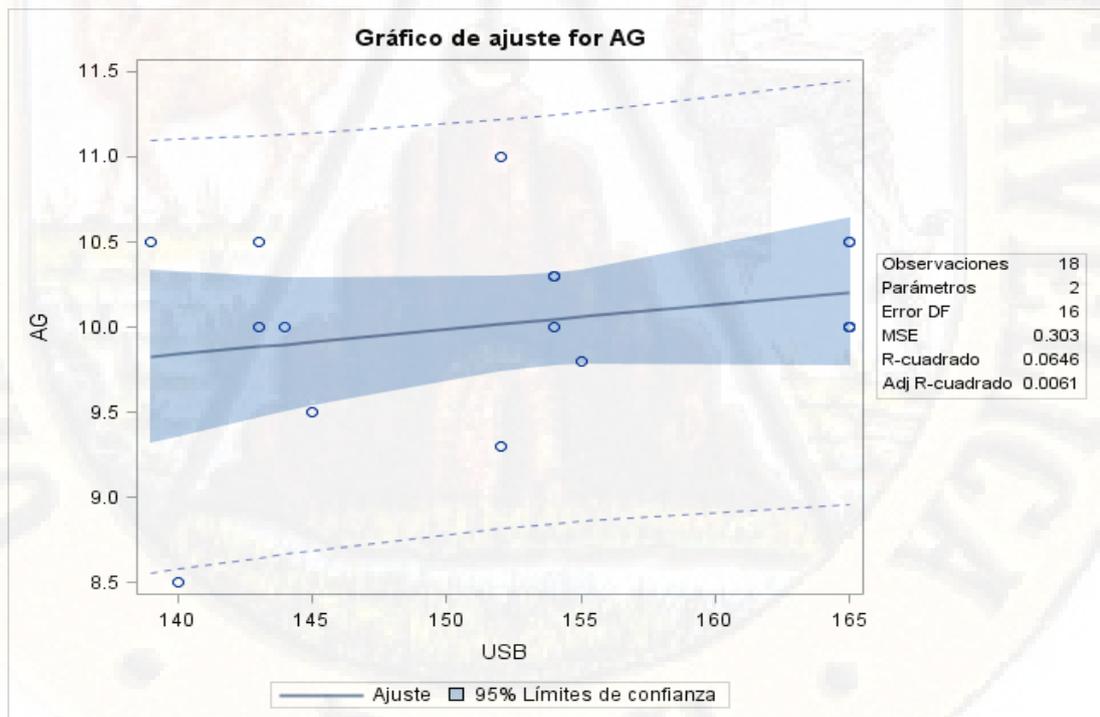


Figura 56. Límites de confianza parámetros químicos AyG.

Fuente: elaboración propia.

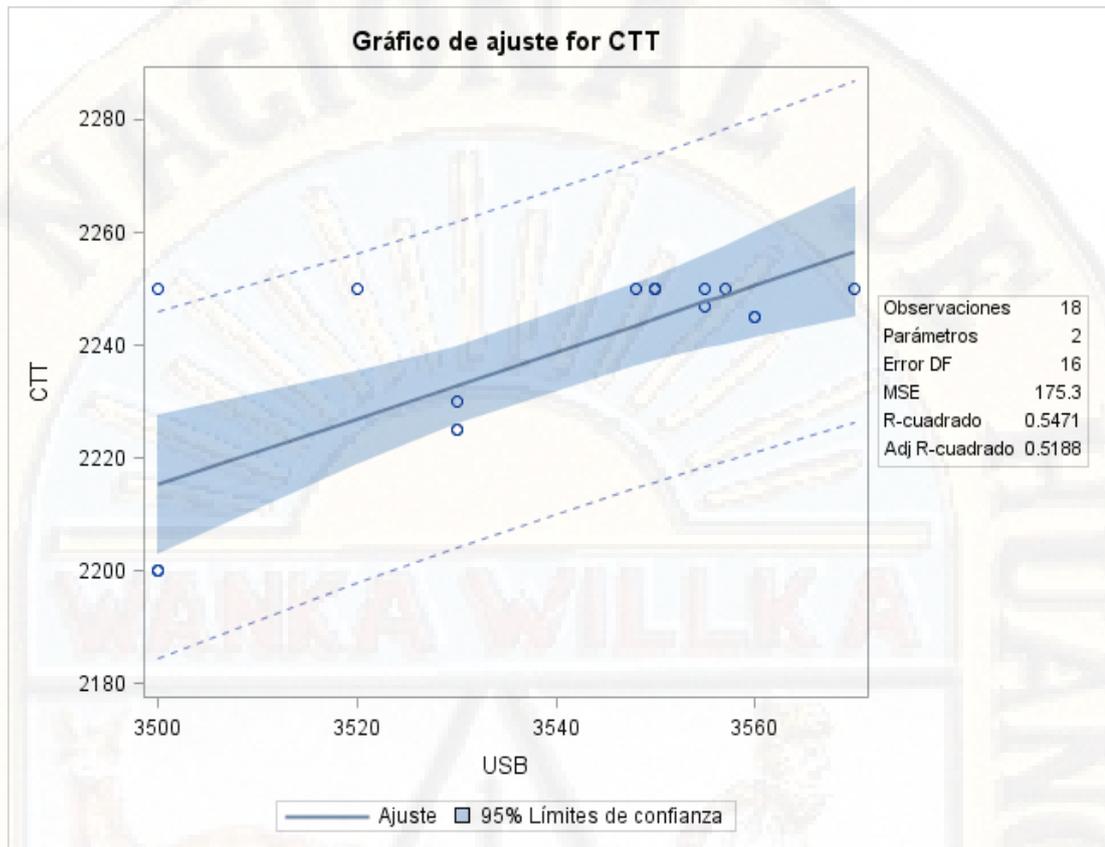


Figura 57. Límites de confianza del parámetro microbiológico CTT.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5

Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

Tabla 50

Etiqueta adhesiva para etiquetar los frascos

Zona de muestreo: Nueva Acobambilla, Huando - Huancavelica	
Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):	
No. de muestra (orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico químico	<input type="checkbox"/> DBO <input type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input type="checkbox"/> SST
Ensayo microbiológico	<input type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros	
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo	

Fuente: (MVCS, 2013)

Tabla 51

Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo

Determinación/Parámetros	recipiente	Volumen mínimo de muestra (1)	Preservación y conservación	Tiempo máximo de duración
Fisicoquímico				
Temperatura	P,V	1000 mL	No es posible	15 min
pH	P,V	50 mL	No es posible	15 min
(DBO ₅)	P, V	1000 mL	Refrigerar a 4 °C	48 días
DQO	P, V	100 mL	Analizar lo más pronto posible, o agregar H2SO4 hasta pH < 2, refrigerar a 4 °C	28 días
Aceites y grasas	V, ámbar boca ancha calibrado	1000 mL	Agregar HCl hasta pH < 2, refrigerar a 4 °C	28 días
Sólidos totales en suspensión (STS)	P, V	100 mL	Refrigerar a 4 °C	7 días
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	V esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4 °C agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 Horas

Fuente: (MVCS, 2013).

Tabla 52

Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales

Parámetro	Unidad	LPM de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	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	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (MINAM, 2010).

FE DE ERRATAS

ANEXO - DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

Mediante Oficio N° 192-2010-SCM-PR, la Secretaría del Consejo de Ministros solicita se publique Fe de Erratas del Anexo del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, publicado en nuestra edición del día 17 de marzo de 2010. -

DICE:

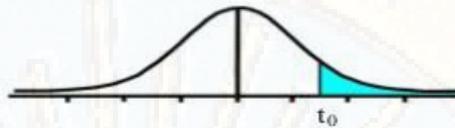
PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Sólidos Totales en Suspensión	en mL/L	150

DEBE DECIR:

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Sólidos Totales en Suspensión	en mg/L	150

Apéndice 6
Tabla T – Student.

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

Apéndice 7

Cadena de custodia adjunta a las muestras de agua residual.

CADENA DE CUSTODIA:

Zona de Muestreo: Nueva Acobambilla – Huando - Huancavelica														
Nº	Afluente	Efluente	Fecha	Hora de toma de muestra	Tipo de frasco	Vol.	Reactivos Preservación	Parámetro a ser medido						Obs.
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT	pH	
01	B1A1	—	15/02/19	10:42 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
02	B1A2	—	15/02/19	10:49 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
03	B1A3	—	15/02/19	10:55 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
04	—	B1E1	15/02/19	11:09 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
05	—	B1E2	15/02/19	11:21 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
06	—	B1E3	15/02/19	11:30 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
07	B2A1	—	15/02/19	11:42 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
08	B2A2	—	15/02/19	11:52 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
09	B2A3	—	15/02/19	11:59 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
10	—	B2E1	15/02/19	12:05 a.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
11	—	B2E2	15/02/19	12:25 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
12	—	B2E3	15/02/19	12:36 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
13	B3A1	—	15/02/19	12:41 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
14	B3A2	—	15/02/19	12:58 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
15	B3A3	—	15/02/19	2:15 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
16	—	B3E1	15/02/19	2:25 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
17	—	B3E2	15/02/19	2:31 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
18	—	B3E3	15/02/19	2:42 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
19	B4A1	—	15/02/19	2:54 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
20	B4A2	—	15/02/19	3:05 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
21	B4A3	—	15/02/19	3:15 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
22	—	B4E1	15/02/19	3:28 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
23	—	B4E2	15/02/19	3:31 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
24	—	B4E3	15/02/19	3:45 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
25	B5A1	—	15/02/19	3:51 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
26	B5A2	—	15/02/19	4:00 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
27	B5A3	—	15/02/19	4:09 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
28	—	B5E1	15/02/19	4:15 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
29	—	B5E2	15/02/19	4:20 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
30	—	B5E3	15/02/19	4:27 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
31	B6A1	—	15/02/19	4:35 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
32	B6A2	—	15/02/19	4:42 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
33	B6A3	—	15/02/19	4:50 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
34	—	B6E1	15/02/19	4:56 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
35	—	B6E2	15/02/19	4:59 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X
36	—	B6E3	15/02/19	5:07 p.m	P	1000ml	—	X	X	X	X	X	X	X

Operador del muestreo			Custodio de la muestra		
Nombres y Apellidos	Institución	Firma	Nombres y Apellidos	Institución	Firma
Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica	Para tesis		Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica	Para tesis	
Rojas Leonardo, Katerin Viviana			Rojas Leonardo, Katerin Viviana		

Recepción en laboratorio		
Nombres y Apellidos	Institución	Firma
Esmila Yeime Chavarría Márquez	RCl Labs Universal	

Figura 58. Cadena de custodia del 1er monitoreo.

CADENA DE CUSTODIA:

Zona de Muestreo: Nueva Acobambilla – Huando - Huancavelica																
Nº	Afluente	Efluente	Fecha	Hora de toma de muestra	Tipo de frasco	Vol.	Reactivos Preservación	Parámetro a ser medido						Obs.		
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT	pH		Tº	
01	B1A1	—	18/03/19	9:00 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
02	B1A2	—	18/03/19	9:05 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
03	B1A3	—	18/03/19	9:10 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
04	—	B1E1	18/03/19	9:14 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
05	—	B1E2	18/03/19	9:19 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
06	—	B1E3	18/03/19	9:25 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
07	B2A1	—	18/03/19	9:30 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
08	B2A2	—	18/03/19	9:37 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
09	B2A3	—	18/03/19	9:45 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
10	—	B2E1	18/03/19	9:51 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	B2E2	18/03/19	9:57 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
12	—	B2E3	18/03/19	9:59 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
13	B3A1	—	18/03/19	10:02 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
14	B3A2	—	18/03/19	10:08 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
15	B3A3	—	18/03/19	10:13 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
16	—	B3E1	18/03/19	10:16 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	B3E2	18/03/19	10:21 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
18	—	B3E3	18/03/19	10:27 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
19	B4A1	—	18/03/19	10:32 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
20	B4A2	—	18/03/19	10:36 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
21	B4A3	—	18/03/19	10:42 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
22	—	B4E1	18/03/19	10:49 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
23	—	B4E2	18/03/19	10:55 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
24	—	B4E3	18/03/19	10:57 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
25	B5A1	—	18/03/19	10:59 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
26	B5A2	—	18/03/19	11:05 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
27	B5A3	—	18/03/19	11:13 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
28	—	B5E1	18/03/19	11:18 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
29	—	B5E2	18/03/19	11:23 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
30	—	B5E3	18/03/19	11:26 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
31	B6A1	—	18/03/19	11:31 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
32	B6A2	—	18/03/19	11:32 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
33	B6A3	—	18/03/19	11:43 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—
34	—	B6E1	18/03/19	11:43 a.m.	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—	—
35	—	B6E2	18/03/19	11:52 a.m.	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—	—
36	—	B6E3	18/03/19	11:58 a.m.	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—	—

Operador del muestreo			Custodio de la muestra		
Nombres y Apellidos	Institución	Firma	Nombres y Apellidos	Institución	Firma
Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica	Para tesis		Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica	Para tesis	
Rojas Leonardo, Katerin Viviana			Rojas Leonardo, Katerin Viviana		

Recepción en laboratorio		
Nombres y Apellidos	Institución	Firma
Esmila Yeime Chavarría Márquez	RCJ Labs Universal	

Figura 59. Cadena de custodia del 2do monitoreo.

CADENA DE CUSTODIA:

Zona de Muestreo: Nueva Acobambilla – Huando - Huancavelica															
Nº	Afluente	Efluente	Fecha	Hora de toma de muestra	Tipo de frasco	Vol.	Reactivos Preservación	Parámetro a ser medido						Obs.	
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT	pH		Tº
01	B1A1	—	05/04/19	8:00 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
02	B1A2	—	05/04/19	8:05 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
03	B1A3	—	05/04/19	8:09 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
04	—	B1E1	05/04/19	8:12 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
05	—	B1E2	05/04/19	8:15 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
06	—	B1E3	05/04/19	8:17 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
07	B2A1	—	05/04/19	8:21 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
08	B2A2	—	05/04/19	8:25 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
09	B2A3	—	05/04/19	8:27 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
10	—	B2E1	05/04/19	8:32 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
11	—	B2E2	05/04/19	8:35 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
12	—	B2E3	05/04/19	8:38 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
13	B3A1	—	05/04/19	8:42 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
14	B3A2	—	05/04/19	8:50 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
15	B3A3	—	05/04/19	8:55 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
16	—	B3E1	05/04/19	8:58 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
17	—	B3E2	05/04/19	9:02 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
18	—	B3E3	05/04/19	9:10 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
19	B4A1	—	05/04/19	9:12 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
20	B4A2	—	05/04/19	9:17 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
21	B4A3	—	05/04/19	9:23 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
22	—	B4E1	05/04/19	9:28 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
23	—	B4E2	05/04/19	9:32 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
24	—	B4E3	05/04/19	9:39 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
25	B5A1	—	05/04/19	10:00 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
26	B5A2	—	05/04/19	10:05 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
27	B5A3	—	05/04/19	10:12 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
28	—	B5E1	05/04/19	10:17 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
29	—	B5E2	05/04/19	10:22 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
30	—	B5E3	05/04/19	10:31 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
31	B6A1	—	05/04/19	10:42 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
32	B6A2	—	05/04/19	10:47 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
33	B6A3	—	05/04/19	10:53 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—
34	—	B6E1	05/04/19	11:00 a.m	P	1000ml	--	X	—	—	—	—	—	—	—
35	—	B6E2	05/04/19	11:07 a.m	P	1000ml	--	—	X	—	—	—	—	—	—
36	—	B6E3	05/04/19	11:11 a.m	P	1000ml	--	—	—	X	X	—	—	—	—

Operador del muestreo			Custodio de la muestra		
Nombres y Apellidos	Institución	Firma	Nombres y Apellidos	Institución	Firma
Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica	Para tesis		Domínguez Ccaycuri, Liz Mónica	Para tesis	
Rojas Leonardo, Katerin Viviana			Rojas Leonardo, Katerin Viviana		

Recepción en laboratorio		
Nombres y Apellidos	Institución	Firma
Esmila Yeime Chavarría Márquez	RCJ Labs Universal	

Figura 60. Cadena de custodia 3er monitoreo.

Apéndice 8

Reporte de resultados del monitoreo de efluentes de los biodigestores autolimpiables



SERVICIO DE ANÁLISIS DE MINERALES,
SUELO AGRÍCOLA Y MEDIO AMBIENTE

REPORTE DE ANÁLISIS

Análisis Solicitado por : Katerin Viviana Rojas Leonardo.
 : Liz Mónica Domínguez Ccaycuri.
 Tipo de muestra : Muestras de Agua Residual
 Fecha de recepción : 14/02/2019
 Fecha de inicio : 15/02/2019
 Fecha de finalización : 21/02/2019
 Tipo de ensayo : Instrumental – clásico

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-18/0036	B-01MA1	165	285.5	360	-
MA-18/0037	B-01MA2	-	-	-	325.5
MA-18/0038	B-01ME1	10	80	95	-
MA-18/0039	B-01ME2	-	-	-	125.5

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-18/0040	B-02MA1	165	295.5	355	-
MA-18/0041	B-02MA2	-	-	-	320
MA-18/0042	B-02ME1	10	80	94	-
MA-18/0043	B-02ME2	-	-	-	125

Oficina y Laboratorio:
Carretera Central Km 8.9 San Agustín de Cajas –
Huancayo - Junín

Figura 61. Resultados del 1er monitoreo de los afluentes y efluentes del biodigestor.

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-18/0044	B-03MA1	165	290.5	350	-
MA-18/0045	B-03MA2	-	-	-	325.5
MA-18/0046	B-03ME1	10.5	80	95	-
MA-18/0047	B-03ME2	-	-	-	125

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-18/0048	B-04MA1	165	285.5	360	-
MA-18/0049	B-04MA2	-	-	-	320
MA-18/0050	B-04ME1	10	80	90.5	-
MA-18/0051	B-04ME2	-	-	-	125

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-18/0052	B-05MA1	165	290	355	-
MA-18/0053	B-05MA2	-	-	-	325
MA-18/0054	B-05ME1	10	80	93	-
MA-18/0055	B-05ME2	-	-	-	125

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-18/0056	B-06MA1	165	285.5	355.5	-
MA-18/0057	B-06MA2	-	-	-	322.5
MA-18/0058	B-06ME1	10.5	80	95	-
MA-18/0059	B-06ME2	-	-	-	125.5

PARÁMETROS DE ACUERDO A NORMAS:

PARÁMETROS	MÉTODOS DE ENSAYO
DBO ₅	ME-98 EXAMINATION OF THA WATER AND WASTEWATER
DQO	ME-05-2017 MÉTODO COLORÍMETRO
Aceites y Grasas	ME-03-2017 MÉTODO DE EXTRACCIÓN
Sólidos Suspendidos Totales	ME-04 MÉTODO CLÁSICO INSTRUMENTAL

Huancayo, 21 de febrero de 2019



MSc. Ing. Chavarría Márquez Esmila
 CIP N° 191752
 Responsable de Laboratorio M.A.
 RCJ LABS UNIVERSAL

Oficina y Laboratorio:
 Carretera Central Km 8.9 San Agustín de
 Cajas -
 Huancayo - Junín

REPORTE DE ANÁLISIS

Análisis Solicitado por : Katerin Viviana Rojas Leonardo.

: Liz Mónica Domínguez Ccaycuri.

Tipo de muestra : Muestras de Agua Residual

Fecha de recepción : 18/03/2019

Fecha de inicio : 19/03/2019

Fecha de finalización : 25/03/2019

Tipo de ensayo : Instrumental – clásico

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros	Unidad	Aceites y grasas mg/L	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendedos Totales mg/L
Tiempos de cuantificación 1-6 días					
MA-19/0036	B-01MA1	154	280	357	-
MA-19/0037	B-01MA2	-	-	-	225.3
MA-19/0038	B-01ME1	10.3	80	93.5	-
MA-19/0039	B-01ME2	-	-	-	149

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros	Unidad	Aceites y grasas mg/L	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendedos Totales mg/L
Tiempos de cuantificación 1-6 días					
MA-19/0040	B-02MA1	154	290	357.8	-
MA-19/0041	B-02MA2	-	-	-	224
MA-19/0042	B-02ME1	10	80.5	92.6	-
MA-19/0043	B-02ME2	-	-	-	147

Oficina y Laboratorio:
Carretera Central Km 8.9 San Agustín de
Cajas –
Huancayo - Junín

Figura 62. Resultados del 2do monitoreo de los afluentes y efluentes del biodigestor.

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-19/0044	B-03MA1	152	280	325.3	-
MA-19/0045	B-03MA2	-	-	-	225.3
MA-19/0046	B-03ME1	10.5	80	93	-
MA-19/0047	B-03ME2	-	-	-	122.5

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-19/0048	B-04MA1	152	274	335.5	-
MA-19/0049	B-04MA2	-	-	-	224
MA-19/0050	B-04ME1	9.3	80.5	90.3	-
MA-19/0051	B-04ME2	-	-	-	125.3

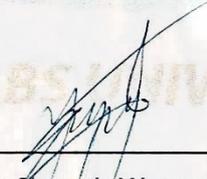
ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-19/0052	B-05MA1	155	281	342.5	-
MA-19/0053	B-05MA2	-	-	-	225
MA-19/0054	B-05ME1	9.8	80	92.3	-
MA-19/0055	B-05ME2	-	-	-	122.5

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-19/0056	B-06MA1	154	282.8	350.3	-
MA-19/0057	B-06MA2	-	-	-	225.3
MA-19/0058	B-06ME1	10.3	80.5	93	-
MA-19/0059	B-06ME2	-	-	-	122.75

PARÁMETROS DE ACUERDO A NORMAS:

PARÁMETROS	MÉTODOS DE ENSAYO
DBO ₅	ME-98 EXAMINATION OF THA WATER AND WASTEWATER
DQO	ME-05-2017 MÉTODO COLORÍMETRO
Aceites y Grasas	ME-03-2017 MÉTODO DE EXTRACCIÓN
Sólidos Suspendidos Totales	ME-04 MÉTODO CLÁSICO INSTRUMENTAL

Huancayo, 25 de marzo de 2019


MSc.Ing. Chavarría Márquez Esmila
CIP N° 191752
Responsable de Laboratorio M.A.
RCJ LABS UNIVERSAL

REPORTE DE ANÁLISIS

Análisis Solicitado por : Katerin Viviana Rojas Leonardo.
 : Liz Mónica Domínguez Ccaycuri.
 Tipo de muestra : Muestras de Agua Residual
 Fecha de recepción : 05/04/2019
 Fecha de inicio : 06/04/2019
 Fecha de finalización : 11/04/2019
 Tipo de ensayo : Instrumental – clásico

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-20/0036	B-01MA1	143	275	355.3	-
MA-20/0037	B-01MA2	-	-	-	222.5
MA-20/0038	B-01ME1	10.5	80	92	-
MA-20/0039	B-01ME2	-	-	-	100

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO ₅ mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-20/0040	B-02MA1	143	285	360.5	-
MA-20/0041	B-02MA2	-	-	-	206.7
MA-20/0042	B-02ME1	10	81	91.2	-
MA-20/0043	B-02ME2	-	-	-	105

Oficina y Laboratorio:
 Carretera Central Km 8.9 San Agustín de Cajas –
 Huancayo - Junín

Figura 63. Resultados del 3er monitoreo de los afluentes y efluentes del biodigestor.

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-20/0044	B-03MA1	139	270	300.5	-
MA-20/0045	B-03MA2	-	-	-	200.5
MA-20/0046	B-03ME1	10.5	80	90.8	-
MA-20/0047	B-03ME2	-	-	-	120

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-20/0048	B-04MA1	140	264	310.9	-
MA-20/0049	B-04MA2	-	-	-	203
MA-20/0050	B-04ME1	8.5	81	90	-
MA-20/0051	B-04ME2	-	-	-	125.5

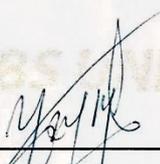
ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
MA-20/0052	B-05MA1	145	272	330	-
MA-20/0053	B-05MA2	-	-	-	203.3
MA-20/0054	B-05ME1	9.5	80	91.5	-
MA-20/0055	B-05ME2	-	-	-	120

ID. MUESTRAS DE LABORATORIO	ID. MUESTRAS DE CLIENTE	PARÁMETROS			
		Aceites y grasas mg/L	DBO5 mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos Totales mg/L
Parámetros Unidad Tiempos de cuantificación 1-6 días					
MA-20/0056	B-06MA1	144	280	345	-
MA-20/0057	B-06MA2	-	-	-	312
MA-20/0058	B-06ME1	10	81	90.9	-
MA-20/0059	B-06ME2	-	-	-	120

PARÁMETROS DE ACUERDO A NORMAS:

PARÁMETROS	MÉTODOS DE ENSAYO
DBO ₅	ME-98 EXAMINATION OF THA WATER AND WASTEWATER
DQO	ME-05-2017 MÉTODO COLORÍMETRO
Aceites y Grasas	ME-03-2017 MÉTODO DE EXTRACCIÓN
Sólidos Suspendidos Totales	ME-04 MÉTODO CLÁSICO INSTRUMENTAL

Huancayo, 11 de abril de 2019


 MSc. Ing. Chavarría Márquez Esmila
 CIP N° 191752
 Responsable de Laboratorio M.A.
 RCJ LABS UNIVERSAL

Apéndice 9
Panel fotográfico.



Fotografía 22. Autorización del presidente y encargado del Área Técnica Municipal para la realización de la tesis.



Fotografía 23. Rotulado de los frascos.



Fotografía 24. Frascos etiquetados para su respectivo análisis.



Fotografía 25. Punto de monitoreo del afluente tubo de ingreso al biodigestor.



Fotografía 26. Punto de monitoreo del efluente a la salida del biodigestor o al ingreso del pozo percolador.



Fotografía 27. Parámetros tomados en campo Temperatura y pH, con un pH metro digital HI 8424.



Fotografía 28. Parámetros tomados en campo Temperatura y pH, con un Multiparámetro marca Hanna.



Fotografía 29. Parámetros tomados en laboratorio Temperatura y pH, con un Potenciómetro.



Fotografía 30. Análisis del parámetro microbiológico por el método de tubos múltiples.



Fotografía 31. Tubos preparados para incubar, determinación de los coliformes termotolerantes.



Fotografía 32. Dificultades presentadas por el desconocimiento en temas de tratamiento de aguas residuales por parte de los beneficiarios.



Fotografía 33. Colapsó de pozo percolador por mal estudio de suelos y falta de mantenimiento en el sistema.