

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO  
ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO  
PARA EL ASENTAMIENTO HUMANO SAN VALENTIN -  
DISTRITO DE CASTILLA – PIURA – PERÚ, 2017”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
ALBERT EINSTEIN GARCIAAPONTE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**MAG. ING. CYNTHIA CATHERINE CASTRO CANGO**

**PIURA – PERÚ**

**2019**

**DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD**

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO  
ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO  
PARA EL ASENTAMIENTO HUMANO SAN VALENTIN -  
DISTRITO DE CASTILLA – PIURA – PERÚ, 2017”**

---

**ALBERT EINSTEIN GARCIA APONTE**

**BACHILLER**

---

**MAG. ING. CYNTHIA CATHERINE CASTRO CANGO  
ASESOR METODOLÓGICO**

PÁGINA DE FIRMAS

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO  
ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO  
PARA EL ASENTAMIENTO HUMANO SAN VALENTIN -  
DISTRITO DE CASTILLA – PIURA – PERÚ, 2017”**

**APROBADO EN CONTENIDO Y ESTILO**

---

**MAG. ING. LUIS ÁNGEL VIGNOLO FARFAN**  
**PRESIDENTE**

---

**MAG. ING. JORGE LUIS FLORES LÓPEZ**  
**MIEMBRO/SECRETARIO**

---

**MAG. ING. ANTÍA RANGEL VEGA**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación se lo dedico en primer lugar a Dios.

A mi familia, me apoyo en todo momento.  
a mi madre amada Gladys Mariela Aponte Neira, Gracias a su amor incondicional y motivación he logrado cumplir una de mis metas.

Así también a mis Docentes quienes sembraron en mí la inquietud y el amor al conocimiento sobre todo el constante afán de superación de mi persona.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo el camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis hermanos, que con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

Agradezco infinitamente a Mariela, mi madre, por ser mi compañera y amiga confidente. Desde que nací vi en ella una personalidad única con buenos valores, aptitudes y actitudes que me ayudan día tras día a no decaer de todo lo que me propongo, mi madre, quien me impulsó y ayudó incondicionalmente a continuar con mi carrera y llegar donde estoy ahora.

Agradecimiento especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental que me impartieron la enseñanza, consejos y apoyo para poder ser un buen profesional dispuesto al desarrollo del país.

A mi asesor el MGR. ING. CYNTHIA C. CASTRO CANGO, a quien le agradezco su apoyo, dedicación y la paciencia que me ha podido brindar durante el desarrollo de la tesis.

También agradezco a quienes me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria como mis familiares, gracias por su apoyo incondicional a pesar de las circunstancias.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD.....	ii
PÁGINA DE FIRMAS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS .....	xi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxii
INTRODUCCIÓN.....	21
CAPITULO I .....	23
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA: .....	23
1.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA. ....	23
1.1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.2.1. PROBLEMA GENERAL. ....	24
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.....	25
1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.....	26
1.3.1. OBJETIVO GENERAL. ....	26
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	26
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA. ....	26
1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA. ....	27
1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA. ....	27
1.5. IMPORTANCIA.....	27
1.6. LIMITACIONES. ....	28
CAPÍTULO II .....	29
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	29
2.1. MARCO REFERENCIAL. ....	29
2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN. ....	29
2.2. MARCO LEGAL. ....	30

2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	31
2.4. MARCO TEÓRICO.....	36
2.4.1. DEFINICIÓN.....	36
2.4.2. HISTORIA Y EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN TECNOLÓGICA.....	46
2.4.3.1. PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	52
2.4.3. NIVELES DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.....	53
2.4.3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO.....	53
2.4.3.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	54
2.4.3.4. TRATAMIENTO TERCARIO.....	54
2.4.4. OTROS PROCESOS RELACIONADOS CON LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	55
2.4.4.1. DESINFECCIÓN.....	55
2.4.4.2. TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS RETENIDOS Y LODOS PRODUCIDOS.....	56
2.4.5. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	57
2.4.5.1. UNIDADES DE PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	60
2.4.5.2. UNIDADES DE TRATAMIENTO PRIMARIO.....	61
2.4.5.2.1. TANQUES SÉPTICOS CON ZANJAS DE INFILTRACIÓN.....	62
2.4.5.2.2. TANQUES IMHOFF.....	66
2.4.5.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	68
2.4.5.3.1. FILTRO PERCOLADOR.....	68
2.4.5.3.2. HUMEDALES ARTIFICIALES.....	72
2.4.5.3.3. LODOS ACTIVADOS DE AIREACIÓN EXTENDIDA.....	75
2.4.5.3.4. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	78
2.4.5.3.5. LAGUNAS AIREADAS.....	81
2.4.5.3.6. REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA).....	85
2.4.5.3.7. EXPERIENCIAS DEL RAFA + POSTRATAMIENTO.....	86
2.4.6. DIGESTIÓN ANAEROBIA FRENTE A DIGESTIÓN AEROBIA.....	89
2.4.6.1. FILTRO ANAEROBIO.....	94
2.4.7. PRODUCTOS FINALES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	94
2.4.7.1. BIOGÁS.....	94
2.4.7.2. BIOL.....	97
2.4.8. PROCESOS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS.....	98
2.4.8.1. HIDRÓLISIS.....	99
2.4.8.2. ACIDOGÉNESIS.....	100

2.4.8.3. ACETOGÉNESIS.....	102
2.4.8.3.1. ACETOGÉNESIS ACIDOCLÁSTICA.....	102
2.4.8.3.2. ACETOGÉNESIS HIDROGENOCLÁSTICA.....	102
2.4.8.4. METANOGÉNESIS.....	104
2.4.9. MATERIA PRIMA EMPLEADA.....	105
2.4.9.1. ESTIÉRCOL LÍQUIDO Y CO – SUSTRATO.....	106
2.4.9.2. AGUAS RESIDUALES Y CO-SUSTRATOS.....	107
2.4.9.3. RESIDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS ASIMILABLES URBANOS.....	107
2.4.9.4. RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	108
2.4.9.5. RESIDUOS DE VERTEDERO.....	108
2.4.9.6. OTROS.....	109
2.4.9.6.1. GRASAS Y ACEITES.....	109
2.4.9.6.2. CULTIVOS DE ALGAS.....	109
2.4.9.6.3. PLANCTON.....	110
2.4.9.6.4. CO-DIGESTIÓN.....	110
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>111</b>
<b>PLANTEAMIENTO METODÒLOGICO.....</b>	<b>111</b>
3.1. TIPO, NIVEL.....	111
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	111
3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	111
3.2. MÉTODO.....	111
3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	112
3.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	112
3.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	112
3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	112
3.5. VARIABLES.....	113
3.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTE.....	113
3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	113
3.6. COBERTURA DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN.....	113
3.6.1. UNIVERSO.....	113
3.6.2. POBLACIÓN.....	113
3.6.3. MUESTRA.....	113
3.7. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	113
3.7.1. TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	113
3.7.2. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	114



3.7.3. FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	114
3.8. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.....	114
3.8.1. ESTADÍSTICOS.....	114
3.8.2. REPRESENTACIÓN.....	115
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>116</b>
<b>ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>116</b>
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	116
4.1.1. RESULTADOS PARCIALES.....	116
4.1.1.1. INFORME DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	116
4.1.1.1.1. GENERALIDADES.....	116
4.1.1.1.2. PROVINCIA DE PIURA.....	120
4.1.1.1.3. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO .....	121
<b>4.1.1.1.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICO GEOGRÁFICO.....</b>	<b>122</b>
4.1.1.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR.....	128
<b>4.1.1.2.1. DISEÑO DEL REACTOR.....</b>	<b>128</b>
<b>4.1.1.2.2. DISEÑO DE FILTROS ANAER8BIOS .....</b>	<b>130</b>
<b>4.1.1.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES EMPLEADOS.....</b>	<b>131</b>
<b>4.1.1.2.4. DISEÑO DE LA CAMPANA SEPARADORA DE LÍQUIDO –</b>	<b>133</b>
<b>GAS</b>	
<b>4.1.1.2.5. DIMENSIONES DEL REACTOR.....</b>	<b>135</b>
4.1.2. RESULTADOS GENERALES.....	136
<b>4.1.2.1.1. CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA .....</b>	<b>136</b>
<b>4.1.2.1.2. TANQUE DE ALIMENTACIÓN.....</b>	<b>137</b>
<b>4.1.2.1.3. TUBERÍA DE ENTRADA Y SALIDA.....</b>	<b>138</b>
<b>4.1.2.1.4. CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO ANAERÓBICO .....</b>	<b>139</b>
<b>4.1.2.1.5. LÍNEA DE BIOGÁS.....</b>	<b>140</b>
<b>4.1.2.2. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EMITIDO POR EL</b>	
<b>REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.....</b>	<b>143</b>
4.1.3. CALCULO DE UN REACTOR ANAEROBIO EMPLEANDO	
TECNOLOGÍAS APROPIADAS.....	153
4.1.3.1. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR.....	153
4.1.3.2. CALCULO DEL VOLUMEN DEL REACTOR PARA TRATAR	
TOD0 EL RESIDUO GENERADO.....	153
4.1.3.3. MATERIALES NECESARIOS Y PRESUPUESTOS DE LOS	
MISMOS.....	155
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	156
4.2.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	156

4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	156
4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS. ....	157
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>160</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>161</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>162</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>164</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>AGV</b>	Ácidos grasos volátiles
<b>BSR</b>	Sulfato – reductoras
<b>CO2</b>	Dióxido de carbono
<b>CFC</b>	Clorofluorocarbonos
<b>CH4</b>	Metano
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DBO5</b>	Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>DSM</b>	Desechos sólidos municipales
<b>DSD</b>	Desechos sólidos domésticos
<b>ECAs</b>	Estándares de Calidad ambiental
<b>G</b>	Gramo
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>H2</b>	Hidrógeno
<b>H2S</b>	Ácido sulfhídrico
<b>LMP</b>	Límites Máximos Permisibles
<b>M3</b>	Metro cúbico
<b>MI</b>	Mililitro
<b>Minam</b>	El Ministerio del Ambiente
<b>Minagri</b>	El Ministerio de Agricultura y Riego
<b>MO</b>	Materia orgánica
<b>NH3</b>	Amoniaco
<b>N2</b>	Nitrógeno
<b>OHPA</b>	Bacterias acetilénicas productoras de hidrógeno
<b>PH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>R.A.F. A</b>	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente
<b>SO2</b>	Dióxido de azufre
<b>SINIA</b>	sistema nacional de información ambiental
<b>U. A. S. B.</b>	Upflow Anaerobic Sludge Blanquet(Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente)
<b>µg</b>	Microgramo

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO N°1:</b>	<b>49</b>
NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS EN EUROPA EN EL AÑO 1997	
<b>CUADRO N° 2:</b>	<b>59</b>
FLUJOGRAMA DE TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	
<b>CUADRO N° 3:</b>	<b>63</b>
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TANQUES SÉPTICOS.	
<b>CUADRO N° 4:</b>	<b>66</b>
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN	
<b>CUADRO N° 5:</b>	<b>71</b>
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL FILTRO PERCOLADOR.	
<b>CUADRO N° 6:</b>	<b>74</b>
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.	
<b>CUADRO N° 7:</b>	<b>77</b>
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LODOS ACTIVADOS.	
<b>CUADRO N° 08:</b>	<b>84</b>
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS AIREADAS.	
<b>CUADRO N° 09:</b>	<b>85</b>
VENTAJAS Y DESVENTAJAS REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA).	
<b>CUADRO N°10:</b>	<b>90</b>
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS TRATAMIENTOS ANAEROBIOS Y AEROBIOS.	
<b>CUADRO N° 11:</b>	<b>95</b>
COMPOSICIÓN MEDIA DEL BIOGÁS EN FUNCIÓN DEL SUSTRATO EMPLEADO.	
<b>CUADRO N° 12:</b>	<b>96</b>
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BIOGÁS PARA UNA COMPOSICIÓN PROMEDIO.	
<b>CUADRO N° 13:</b>	<b>97</b>

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL METANO.	
<b>CUADRO N°14:</b>	<b>103</b>
PRINCIPALES REACCIONES DURANTE LA ACETOGÉNESIS.	
<b>CUADRO N° 15:</b>	<b>104</b>
PRINCIPALES REACCIONES DURANTE LA METANOGÉNESIS	
<b>CUADRO N° 16:</b>	<b>155</b>
PRESUPUESTOS DEL REACTOR	

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICO N°1:</b>	<b>50</b>
PRODUCCIÓN Y NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS EN ALEMANIA DESDE 1991 HASTA EL AÑO 2006	
<b>GRÁFICO N°2:</b>	<b>51</b>
NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS (EN MILLONES) INSTALADAS EN CHINA FRENTE AL AÑO	
<b>GRÁFICO N° 03:</b>	<b>145</b>
ANÁLISIS FÍSICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.	
<b>GRÁFICO N° 04:</b>	<b>146</b>
ANÁLISIS FÍSICO (TEMPERATURA)	
<b>GRÁFICO N° 05:</b>	<b>147</b>
ANÁLISIS FÍSICO (PARÁMETRO PH).	
<b>GRÁFICO N° 06:</b>	<b>148</b>
ANÁLISIS QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.	
<b>GRÁFICO N° 07:</b>	<b>149</b>
ANÁLISIS QUÍMICO (SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN).	
<b>GRÁFICO N° 08:</b>	<b>150</b>
ANÁLISIS QUÍMICOS DE GRASAS Y ACEITES.	
<b>GRÁFICO N° 09:</b>	<b>150</b>
ANÁLISIS QUÍMICOS DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO5.)	
<b>GRÁFICO N° 10:</b>	<b>151</b>
ANÁLISIS QUÍMICOS DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO).	
<b>GRÁFICO N° 11:</b>	<b>152</b>
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA N° 1:</b>	<b>41</b>
FLUJO DE SUSTRATO COMO MATERIA ORGÁNICA A TRAVÉS DE UNA COMUNIDAD BIOLÓGICA ANAEROBIA.	
<b>FIGURA N°2:</b>	<b>46</b>
ESQUEMA GENERAL DE UN REACTOR UASB.	
<b>FIGURA N° 3:</b>	<b>61</b>
CÁMARAS DE REJAS (PERMITEN LA RETENCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y MATERIAL GRUESO PREVIO AL INGRESO A LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO PRIMARIO).	
<b>FIGURA N° 4:</b>	<b>62</b>
CANALETA PARSHALL (UNA FORMA DE MEDIR EL CAUDAL DE INGRESO A LA PLANTA).	
<b>FIGURA N° 5:</b>	<b>63</b>
DIMENSIONES USUALES PARA EL DISEÑO DE UN TANQUE SÉPTICO.	
<b>FIGURA N° 6:</b>	<b>64</b>
DETALLE DE ZANJA DE INFILTRACIÓN	
<b>FIGURA N° 7:</b>	<b>65</b>
DISTRIBUCIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN A 5M DE DISTANCIA DE LA VIVIENDA.	
<b>FIGURA N° 8:</b>	<b>65</b>
USO DE TANQUE SÉPTICO Y ZANJA DE INFILTRACIÓN, PARA UNA CORRECTA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS EFLUENTES.	
<b>FIGURA N° 9:</b>	<b>67</b>
LECHO DE SECADO PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS PROCEDENTE DE UN TANQUE IMHOFF.	
<b>FIGURA N° 10:</b>	<b>68</b>
TANQUE IMHOFF VISTA SUPERIOR.	

<b>FIGURA N° 11:</b>	<b>69</b>
VISTA PANORÁMICA DE UNA BATERÍA DE FILTROS PERCOLADORES. ESTAS UNIDADES DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO, POR BACTERIAS ADHERIDAS AL MEDIO FILTRANTE, PERMITEN REMOVER MATERIA ORGÁNICA SIN REQUERIR ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SU FUNCIONAMIENTO.	
<b>FIGURA N° 12:</b>	<b>71</b>
FILTRO PERCOLADOR MODIFICADO UBICADO EN EL PARQUE MARÍA REICHE DEL DISTRITO DE MIRAFLORES, LIMA.	
<b>FIGURA N° 13:</b>	<b>72</b>
ESTRUCTURA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL HORIZONTAL.	
<b>FIGURA N° 14:</b>	<b>73</b>
CÁMARAS DE TRATAMIENTO PRELIMINAR DEL HUMEDAL ARTIFICIAL VERTICAL, DONDE UNA DE LAS CÁMARAS DE REPOSO ESTÁ SIENDO APROVECHADA PARA HACER COMPOST CON LA MATERIA ORGÁNICA.	
<b>FIGURA N° 15:</b>	<b>76</b>
FLUJOGRAMA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO CON PROCESO DE LODOS ACTIVADOS DE AIREACION EXTENDIDA.	
<b>FIGURA N° 16:</b>	<b>78</b>
INTERACCIÓN DE BACTERIAS Y ALGAS EN LAS ZONAS AERÓBICAS Y ANAERÓBICAS, EN UNA LAGUNA FACULTATIVA DE ESTABILIZACIÓN.	
<b>FIGURA N° 17:</b>	<b>80</b>
INFRAESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE PRETRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, DONDE SE OBSERVA UNA REJILLA Y UN DESARENADOR, DISEÑADOS PARA UNA LAGUNA FACULTATIVA.	
<b>FIGURA N° 18:</b>	<b>81</b>
VISTA PANORÁMICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS EMPLEADO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL COLEGIO LA INMACULADA, CUYO EFLUENTE ES UTILIZADO	



PARA RIEGO DE ÁREAS VERDES.	
<b>FIGURA N° 19:</b>	<b>82</b>
SISTEMA DE LAGUNAS AIREADAS QUE EMPLEAN AIREADORES MECÁNICOS.	
<b>FIGURA N° 20 :</b>	<b>83</b>
SISTEMA DE LAGUNAS AIREADAS QUE EMPLEA SISTEMA DE DIFUSORES DE AIRE COMPRIMIDO. SE SUELEN EMPLEAR TOBERAS O DIFUSORES DE BURBUJA TIPO DISCO. LA DEBILIDAD DEL SISTEMA AIREADO RADICA EN QUE NO ASUME LA VISIÓN DE ECOEFICIENCIA AL EMPLEAR ENERGÍA ELÉCTRICA QUE FAVORECE EL CALENTAMIENTO GLOBAL.	
<b>FIGURA N° 21:</b>	<b>84</b>
LAGUNA AIREADA DE MEZCLA COMPLETA Y LAGUNA AIREADA FACULTATIVA.	
<b>FIGURA N° 22:</b>	<b>86</b>
PRINCIPIO DEL SISTEMA RAFA	
<b>FIGURA N° 23:</b>	<b>87</b>
FLUJOGRAMA DE TRATAMIENTO CON RAFA Y FILTRO BIOLÓGICO AIREADO	
<b>FIGURA N° 24:</b>	<b>88</b>
FLUJOGRAMA DE TRATAMIENTO EMPLEANDO RAFA Y LODOS ACTIVADOS	
<b>FIGURA N° 25:</b>	<b>89</b>
FLUJOGRAMA DE TRATAMIENTO EMPLEANDO RAFA Y LAGUNAS FACULTATIVAS SECUNDARIAS Y TERCARIAS	
<b>FIGURA N° 26:</b>	<b>92</b>
CICLO AEROBIO	
<b>FIGURA N° 27:</b>	<b>93</b>
CICLO ANAEROBIO	
<b>FIGURA N°28:</b>	<b>98</b>
DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA DIGESTIÓN	

ANAEROBIA	
<b>FIGURA N° 29:</b>	<b>101</b>
SIMPLIFICACIÓN DE LAS RUTAS METABÓLICAS DE DEGRADACIÓN DE LA GLUCOSA POR LA ACCIÓN DE BACTERIAS ACIDOGÉNICAS.	
<b>FIGURA N° 30:</b>	<b>107</b>
INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR LA ADICIÓN DE CO-SUSTRATOS AL ESTIÉRCOL LÍQUIDO.	
<b>FIGURA N° 31:</b>	<b>109</b>
PLANTA DE BIOGÁS A PARTIR DEL CULTIVO DE ALGAS	
<b>FIGURA N°32:</b>	<b>117</b>
MAPA DEL PERÚ	
<b>FIGURA N° 33:</b>	<b>121</b>
UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	
<b>FIGURA N° 34:</b>	<b>123</b>
TOPOGRAFÍA DE CASTILLA	
<b>FIGURA N° 35:</b>	<b>125</b>
HIDROGRAFÍA DEL RÍO PIURA	
<b>FIGURA: N° 36:</b>	<b>127</b>
VISTA PANORÁMICA DE LA QUEBRADA EL GALLO	
<b>FIGURA N° 37:</b>	<b>129</b>
REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA DEL REACTOR ANAEROBIO	
<b>FIGURA N° 38:</b>	<b>130</b>
CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICA.	
<b>FIGURA N° 39:</b>	<b>130</b>
FILTRO ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS	
<b>FIGURA N° 40:</b>	<b>132</b>
REPRESENTACIÓN DEL VIDRIO RECORTADO	
<b>FIGURA N° 41:</b>	<b>134</b>
CRITERIOS DE DISEÑO DE LA CAMPANA.	

<b>FIGURA N°42:</b>	<b>134</b>
CONSTRUCCIÓN DE LA CAMPANA.	
<b>FIGURA N°43:</b>	<b>136</b>
CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA.	
<b>FIGURA N°44:</b>	<b>137</b>
TANQUE DE ALIMENTACIÓN DEL REACTOR	
<b>FIGURA N°45:</b>	<b>138</b>
DETALLE DE LA TUBERÍA DE ENTRADA.	
<b>FIGURA N°46:</b>	<b>139</b>
CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO	
<b>FIGURA N°47:</b>	<b>139</b>
FINALIZANDO DE INTRODUCIR EL FILTRO ANAEROBIO.	
<b>FIGURA N° 48:</b>	<b>140</b>
COLOCACIÓN DE LA MANGUERA DEL GAS.	
<b>FIGURA N°49:</b>	<b>141</b>
REACTOR TERMINADO.	
<b>FIGURA N°50:</b>	<b>141</b>
PUESTO EN MARCHA DEL REACTOR RAFA	
<b>FIGURA N°51:</b>	<b>142</b>
PRIMER PROCESO FISICO DE SEDIMENTACIÓN	
<b>FIGURA N°52:</b>	<b>143</b>
MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA EMITIDA POR EL REACTOR	
<b>FIGURA N°53:</b>	<b>143</b>
MUESTRA DE CALIDAD DE AGUA PARA LLEVAR A LABORATORIO	
<b>FIGURA N°54:</b>	<b>144</b>
MUESTRA PARA SER ANALISADOS EN LABORATORIO	

## **RESUMEN**

En este proyecto de tesis se presenta un estudio para el tratamiento de aguas residuales domésticas, en el A.H San Valentín Castilla - Piura, mediante un reactor anaerobio de flujo ascendente R.A.F.A, buscando alternativas que sean económicas, fáciles de operar y mantener y que cumplan con las normas de vertimiento especificadas en la legislación vigente.

Inicialmente se realizó el diseño, construcción y montaje de un reactor R.A.F.A. piloto con un volumen efectivo de 28 litros. Después de adecuar todos los accesorios necesarios para el funcionamiento del reactor se realizó el arranque del Sistema, Durante el arranque se disminuyó lentamente las grasas y aceites (de 2515.3 d a 0.30 d) consiguiendo valores de remoción después de haber arrancado el sistema para DQO de 87% y para la DBO5 de 49.77%. La carga orgánica máxima con la que trabajó el sistema fue de 14 kg DQO/m<sup>3</sup> d.

Es por ello que el presente trabajo de investigación mostramos información detallada de la construcción, diseño y puesto en funcionamiento del reactor RAFA, así mismo presentamos alternativas de mejoras para lograr la eficiencia del proyecto de tesis.

**Palabras clave:** Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, Diseño, Construcción.

## **ABSTRACT**

This thesis introduces the research made for a sewer treatment through an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) in San Valentin human settlement in Castilla – Piura. It seeks inexpensive choices that can be easy to run and keep in the long term and also that can meet the current shedding standards legislation.

Initially, it was made a model , then the production and finally the assembling of an experimental UASB reactor with an effective volume of 28 liters. After adjusting all the accessories required to have the reactor run, the system was started up. During the starting the fats and oils went gently down (from 2515 d to 0.30 d) reaching removal values after having started the system, 87% for DQO and 49.77 for DBO5. The highest loas worked with was 14kg DQO/m3d.

Therefore, in the current thesis we show detailed information regarding the production, model, and starting up of the UASB reactor, in the same ways we introduce improvement options in order to reach the efficiency of the project.

Key Words: Upflow Anaerobic Sludge Blanket, model, production.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente se produce de forma natural por emisiones de gases o sólidos y también por organismos del planeta que emiten gases como CO<sub>2</sub>. El ser humano, sin embargo, también produce alteraciones en el medio ambiente, tan solo con habitar. Una de ellas es la contaminación por aguas residuales domiciliarias las cuales alteran y modifican química y biológicamente el medio ambiente. De manera que, ocasionan un gran problema de contaminación dada por la aglomeración urbana y acumulación de residuos sólidos, líquidos o gaseosos; tanto así que el propio ecosistema es incapaz de rectificar esas alteraciones.

Por ello surgen nuevas tecnologías que ayudan al cuidado del medio ambiente y darles el tratamiento adecuado a las aguas residuales. Dentro de los diferentes tipos de tratamiento de aguas residuales se encuentra el tratamiento anaerobio; el cual, ha sido objeto de amplias investigaciones y por tanto desarrollo de nuevas tecnologías. Esto debido a su bajo costo y eficiencia en la remoción de contaminantes. En tal sentido es que surge la propuesta: **“CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS A ESCALA DE LABORATORIO PARA EL ASENTAMIENTO HUMANO - DISTRITO DE CASTILLA DEPARTAMENTO DE PIURA”**, de esta manera las aguas residuales generadas por las poblaciones urbanas podrán regresar al medio ambiente; ya

sea a través del cauce del río, un lago o mar. Sin embargo; también pueden ser utilizadas para riego de plantas de tallo alto, siempre y cuando no provoquen contaminación en los ecosistemas. Para ello se tendrá que dar el tratamiento adecuado mediante la construcción de un reactor RAFA. Este tipo de tecnología no solo servirá para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias, también será útil para el sector industrial e inclusive para futuras investigaciones.



## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA:**

##### **1.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROBLEMA.**

Se observa que en el distrito de castilla que no se tiene ningún tipo de tratamiento para las aguas residuales ya sea domiciliarias, industriales etc. Consta de poca asistencia técnica por parte de las autoridades del distrito. Así mismo se observa la realidad de las causas de la contaminación provenientes de aguas residuales, este problema se debe a la aglomeración de la población urbana y la falta de conciencia ambiental. Muchos de estas aguas residuales son vertidos al río Piura y a la laguna de oxidación causando daños al ecosistema así mismo pueden provocar epidemias hacia el ser humano además estas aguas emiten gases tóxicos como CO<sub>2</sub> y malos olores ocasionado un desequilibrio en el medio ambiente.

En ese sentido es indispensable implantar las condiciones necesarias para promover el buen uso y cuidado del medio ambiente. Con la finalidad de mantener la belleza natural de nuestro planeta surge la necesidad de construir un reactor RAFA, que brinde las propiedades de tratar estas aguas residuales y así mismo darle una nueva reutilización que pueden ser

utilizadas en el riego de plantas forestales, así como en el mantenimiento de parques y jardines, lavaderos de carros etc. y de esta forma los pobladores y en especial a los turistas de las diferentes regiones del Perú y del extranjero lleven el concepto de nuestra ciudad por su belleza y cuidado hacia el medio ambiente que siempre se ha caracterizado.

### **1.1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

El gobierno local es la entidad más idónea para ejercer la autoridad ambiental dentro de sus competencias, razón por la cual debe contar con herramientas adecuadas para realizar una efectiva labor. Sin embargo, la Municipalidad de Castilla carece de un **REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE**.

Este reactor es importante para el tratamiento de aguas residuales domésticas, con este reactor se podrá obtener un mejor manejo de la calidad y conservación del recurso hídrico del distrito de castilla.

Ante ello se plantea desarrollar la construcción del reactor **RAFA**, elaborando un diseño, y sobre todo ponerlo en funcionamiento, para que de esta manera poder tomar acciones que fortalezcan capacidades y trabajar proyectos efectivos de intervención que brinden soluciones ante la actual problemática ambiental del distrito de Castilla.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL.**

En la actualidad no se ha construido un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de castilla provincia de Piura, Perú.

Ante este problema se formula la siguiente interrogante:

*¿El construir un reactor anaerobio de flujo ascendente permitirá facilitar el tratamiento de aguas residuales domésticas para la conservación del*

*ambiente y el manejo sostenible de los recursos hídrico del distrito de Castilla?*

### **1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.**

**PE1:** Actualmente no se ha realizado un diseño de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el Asentamiento Humano San Valentín - distrito de castilla.

Ante este problema se formula la siguiente interrogante:

*¿El contar con el diseño de una Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente permitirá conocer las dimensiones y volumen del agua residual tratada?*

**PE2:** El distrito de castilla no cuenta con una construcción y puesta en marcha de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Ante este problema se formula la siguiente interrogante:

*¿Contar con la ejecución y puesta en marcha de un reactor RAFA orientará la gestión ambiental, cuidado y manejo del recurso hídrico en el distrito del distrito de castilla?*

**PE3:** El distrito de castilla no cuenta con ningún Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas puesto en marcha para realizar los monitoreos de calidad de agua tratada.

Ante este problema se formula la siguiente interrogante:

*¿El contar con un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente permitirá establecer monitoreos de calidad de agua que den solución a la problemática ambiental identificada en el distrito de Castilla?*

### **1.3. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN.**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL.**

❖ Construir un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el Asentamiento Humano San Valentín - Distrito de Castilla - provincia de Piura.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

❖ Diseñar el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el Asentamiento Humano San Valentín - Distrito de castilla - Piura.

❖ Ejecutar y puesta en marcha la construcción del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el distrito de Castilla - Piura.

❖ Monitorear la calidad del agua emitido por el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el distrito de Castilla - Piura.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.**

El presente proyecto de tesis, construcción de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el Asentamiento Humano San Valentín - Distrito de castilla – Piura, ha sido elaborado porque considero necesario conocer acerca el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Este trabajo de investigación va a permitir obtener información acreditada y científica que permita dar alternativas de solución objetivas esto debe conllevar al desarrollo económico, social y ambiental.

Formando de esta manera un equilibrio y bienestar de la naturaleza y satisfaciendo las necesidades del ser humano, sin que el recurso hídrico en el futuro de la población piurana sea afectado.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.**

Esta investigación que realizo se basa en la metodología que se aplicará a través del método científico, el tipo de investigación que se llevará a cabo será de una investigación aplicada; con un nivel de investigación, descriptiva, explicativa y exploratoria (experimental).

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.**

Este presente proyecto de tesis se realizará en el Departamento de Piura Distrito de Castilla en el AA.HH. San Valentín, en la cual se ejecutará el diseño del reactor anaerobio, y posteriormente a la ejecución y construcción de este reactor.

Como instrumentos que he considerado aplicar es la observación de campo, libreta de notas, también he considerado conveniente para esta investigación experimental hacer un monitoreo de la calidad de agua residual mediante un análisis microbiológico.

#### **1.5. IMPORTANCIA.**

La problemática generada por la contaminación de aguas residuales domésticas es cada día mayor en el Asentamiento Humano San Valentín - Distrito de Castilla y la contaminación que esta genera al suelo, aire, así como el impacto que genera al medio ambiente a raíz de este problema; es que nos vemos en la obligación de realizar este proyecto de tesis para disminuir la contaminación generada por las aguas residuales domésticas.

La falta de un manejo adecuado para el tratamiento de aguas residuales son los que vienen generando contaminación. Así mismo formando el deterioro del ecosistema, y una serie de problemas relacionados con la contaminación del hacia el medio ambiente.

## **1.6. LIMITACIONES.**

Las limitaciones de la investigación, que interfieren en el progreso y desarrollo de construir un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el Asentamiento Humano San Valentín - Distrito de Castilla -Piura, son la siguientes:

- ❖ Limitaciones por falta de información sobre la construcción y diseño del reactor (R.A.F.A)
- ❖ Desconocimiento de los de avances tecnológicos por las personas en campo del diseño e construcción de un reactor (R.A.F.A)

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. MARCO REFERENCIAL.**

#### **2.1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

Un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente, consiste en una estación compacta de tratamiento anaeróbico, para efluentes orgánicos líquidos, aplicado en países de clima tropical.

No ha sido utilizado en otros climas principalmente por limitaciones de temperatura, la cual afecta la hidrólisis del material particulado y reduce la eficiencia del tratamiento. Este es particularmente apto para las aguas residuales industriales con alta carga orgánica.

Es una alternativa de tratamiento de aguas residuales que se fundamenta principalmente en un proceso biológico anaerobio a partir de las investigaciones efectuadas por Gatzeltinga en Holanda cerca de 1980, y se conoce como un sedimentador primario convencional.

Es un Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El

desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

Otra de las características de un reactor RAFA es el flujo ascendente, y con este la formación de un manto de lodo granular con capacidad de sedimentación, en donde se realiza la actividad biológica, y tiene un 70 a un 90% de eficiencia entre 6 y 24 horas.

Los reactores anaerobios pueden ser utilizados para tratar efluentes domésticos o industriales con altas cargas orgánicas. Pueden utilizarse solos o con unidades de pos-tratamiento para producir un efluente final adecuado para su disposición final.

## **2.2. MARCO LEGAL.**

Es preciso hacer un reconocimiento de las bases legales, lo que nos permitiría encaminar el sistema.

### ***Constitución Política de 1993.***

La cual establece que “todas las personas tienen el derecho de disfrutar de un medio ambiente seguro y adecuado para el sustento de sus vidas”.

### ***La Ley General de Educación del Perú (Ley No. 28044 de julio de 2003).***

Establece como uno de los Principios de la Educación “La conciencia Ambiental, que motiva el respeto, cuidado y conservación del entorno natural como garantía para el desenvolvimiento de la vida” (Artículo 8, numeral g.), y como un fin de la educación el contribuir a la formación de una sociedad que supere la pobreza e impulse el desarrollo sostenible del país (Artículo 9, numeral b). Orientación que ha sido concretada en la R. M. N° 0048-ED-2005, R.M. N° 0710-ED-2005 y en la en la R.M. N° 0712-ED-2006 que aprueba las “Orientaciones y Normas Nacionales para la Gestión en las Instituciones de Educación Básica y Educación Técnico -



Productiva, para los años 2005, 2006 y 2007, en las que se establece a la Educación Ambiental como Aspecto Pedagógico Transversal.

***Ley N° 28611. Ley General del Ambiente. Del 13 de octubre de 2005.***

En el Artículo N° 3 de la presente Ley se dispone que el Estado a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseñe y aplica entre otras las normas que sean necesarias para garantizar el ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha Ley.

***En el Artículo N° 127. Política Nacional de Educación Ambiental.***

Busca generar los conocimientos, las actitudes, los valores y las prácticas para desarrollar sus actividades ambientalmente adecuadas con la finalidad de contribuir al desarrollo sostenible del país.

### **2.3. MARCO CONCEPTUAL.**

**Absorción:** Concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.

**Acetogénesis:** Etapa básica del proceso anaerobio en la cual los productos de la acidogénesis son convertidos en ácido acético, hidrógeno y gas Carbónico.

**Acidogénesis:** Etapa básica del proceso anaerobio en la cual las moléculas pequeñas, producto del hidrólisis, se transforman en hidrógeno, gas carbónico y ácidos orgánicos (butírico, propiónico y acético).

**Afluente:** Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.

**Aguas crudas:** Aguas residuales que no han sido tratadas.

**Absorción:** Transferencia de una masa gaseosa, líquida o de material disuelto a la superficie de un sólido.

**Aguas residuales:** Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.

**Agua residual doméstica:** Utilizada en las actividades de alimentación e higiene personal, proveniente de casas habitación o residencias, edificios comerciales e institucionales.

**Aguas servidas:** Aguas de desecho proveniente de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

**Aireación:** Proceso de transferencia de masa, generalmente referido a la transferencia de oxígeno al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

**Ambiente aerobio:** Proceso que requiere o no es destruido por la presencia de oxígeno.

**Ambiente anaerobio:** Proceso desarrollado en ausencia de oxígeno molecular.

**Análisis:** Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

**Alcalinidad:** Es la capacidad amortiguadora de PH en un sistema, para evitar cambios ácidos repentinos, propiciando una buena biotransformación en el proceso anaerobio.

**Bacteria:** Grupo de organismos microscópicos unicelulares, rígidos carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento que incluyen oxidación biológica, fermentaciones, digestión, nitrificación y desnitrificación.

**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.

**Cámara:** Compartimento con paredes, empleado para un propósito específico.

**Carga Orgánica:** Producto de la concentración media de DBO por el caudal medio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg/d).

**Cloración:** Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

**Coliformes:** Bacterias Gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37 ° C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44, 5° C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

**Concentración:** Denominase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

**DBO5:** Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana Heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20 °C y en presencia de nutrientes.

**Descomposición Anaerobia:** Degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos. Usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.

**Digestión Aerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.

**Digestión Anaerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.

**Filtro Anaerobio:** Consiste en una columna llenada con varios tipos de medios sólidos usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales.

**Hidrólisis:** Proceso químico en el cual la materia orgánica se desdobra en partículas más pequeñas por la acción del agua.

**Lodo Biológico:** Lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales.

**Planta de Tratamiento (Agua Residual):** Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

**Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB):** Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.

**PH:** Es el parámetro de control de mayor influencia sobre el sistema microbiológico, ya que los grupos bacterianos dependiendo de su tipo, tienen diferentes PHS óptimos para su reproducción y desarrollo.

**Sedimentación:** Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.

**Sólidos no sedimentables:** Materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

**Sólidos sedimentables:** Materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

**Tiempo de retención hidráulica:** Tiempo medio teórico que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.

**Tratamiento anaerobio:** Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

**Sólidos:** La materia suspendida o disuelta que se encuentra en un agua residual recibe el nombre de sólidos. Se divide en tres categorías: sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos.

**Sólidos totales:** Sedimentables, suspendidos y disueltos.

**Sólidos Suspendidos:** Porción retenida por el papel filtro de 1,3  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro.

**Sólidos Disueltos:** Porción que pasa por el papel filtro de 1,3  $\mu\text{m}$  de tamaño de poro.

## **2.4. MARCO TEÓRICO.**

### **2.4.1. DEFINICIÓN.**

La digestión anaerobia es un proceso de fermentación bacteriana en el que la materia orgánica se descompone, en ausencia de oxígeno disuelto, produciendo, por un lado, una mezcla de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y distintos gases en menor proporción, denominándose a este producto biogás; y, por otro, un efluente estabilizado rico en nutrientes que generalmente recibe el nombre de biol.

Los residuos que pueden ser digeridos son muy variados: deyecciones animales, residuos vegetales y plantas, aguas residuales agroindustriales, etc. o combinaciones de estos.

La producción de  $\text{CH}_4$  es la parte fundamental del proceso por su alto valor comercial en grandes instalaciones, aunque puede ser empleado como combustible en cocinas, calefacción o iluminación en plantas menores. La producción del biol como producto valorizable cobra cada vez mayor importancia debido a su aprovechamiento como fertilizante con gran cantidad de nutrientes.

Al ser una energía renovable procedente de la biomasa hace que esta tecnología provea de forma autosuficiente y autónoma de independencia energética a las comunidades que la implementan. Asimismo, se minimiza un posible foco de olores y elementos patógenos al ser los residuos tratados de forma diaria.

#### **2.4.1.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA.**

El proceso de digestión anaerobia consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos en ausencia de oxígeno molecular. En ella se obtiene como subproducto el denominado biogás que se compone de un 70% de metano y un 30% de una mezcla de dióxido de carbono y otros compuestos como nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, los cuales son responsables de los malos olores generados durante la digestión.<sup>1</sup>

Dicho proceso se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosas especies de microorganismos, que son los intermediarios necesarios para transformar la materia orgánica en sustratos simples fermentables por las bacterias metanogénicas.

En general, las bacterias son incapaces de alimentarse de material complejo por lo que las macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos) son hidrolizados previamente por enzimas extracelulares a compuestos más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos). Esta hidrólisis ayuda a que el material particulado y los polímeros orgánicos que componen las aguas residuales puedan ser asimilados por las bacterias e incorporados a sus procesos metabólicos, así:

- ✓ Proteínas a aminoácidos.
- ✓ Carbohidratos a azúcares.
- ✓ Lípidos a ácidos grasos y alcoholes.

El proceso de fraccionamiento de la materia orgánica absorbe agua, por ello se denomina hidrólisis. El proceso ocurre en el exterior de las bacterias debido a la acción de catalizadores biológicos llamados exoenzimas, producidas por las bacterias acidogénicas o fermentativas.

---

<sup>1</sup> Lluncor Granados. Proyecto de investigación II. “Digestión Anaerobia-Procesos de la digestión anaerobia”, 28 de mayo 2017.

Dependiendo de la presencia de sustratos solubles o complejos en el agua residual, la hidrólisis puede ser rápida o muy lenta.

Después de obtenidas las moléculas simples en la hidrólisis, éstas pueden ser absorbidas a través de la pared celular de las bacterias y son descompuestas internamente mediante los procesos metabólicos. El proceso es llevado a cabo por las bacterias acidogénicas o fermentativas. Como producto final del proceso de acidogénesis o fermentación está el ácido acético, o en su defecto otros ácidos grasos volátiles (AGV) como el propiónico, el butírico y el valérico. Dependiendo de la concentración de hidrógeno: si la presión parcial de hidrógeno es menor que  $10^{-4}$  el producto final será ácido acético, de lo contrario, se obtienen los otros ácidos grasos. Además de los ácidos, la acidogénesis produce hidrógeno como un subproducto y su concentración se convierte en un elemento regulador del metabolismo del proceso, debido a que el ácido acético y el hidrógeno constituyen las vías de formación del metano.

El paso siguiente es la acetogénesis acidoclástica y consiste en la generación de ácido acético a partir de los AGV formados en la acetogénesis. En esta fase, un grupo de bacterias conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno” (OHPA), convierten los productos de la fermentación en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. Estos organismos utilizan los ácidos grasos o alcoholes como fuente energética.

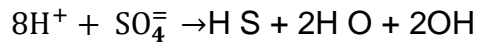
En reactores anaerobios, especialmente con la presencia de sulfatos, puede presentarse un grupo de bacterias capaces de reducir los sulfatos a sulfuros.

Estas bacterias son conocidas como “sulfato – reductoras” (BSR), las cuales utilizan el sulfato como aceptor final de electrones.

Los sulfuros son muy solubles en agua, pero el ácido sulfhídrico se volatiliza. Sin embargo, a PH neutro puede ocurrir algo de volatilización



del sulfhídrico, ya que el equilibrio se desplazará hacia este último. En el tratamiento de aguas que contienen  $\text{SO}_4^-$  y  $\text{SO}_3^-$  ocurre la siguiente reacción bioquímica:

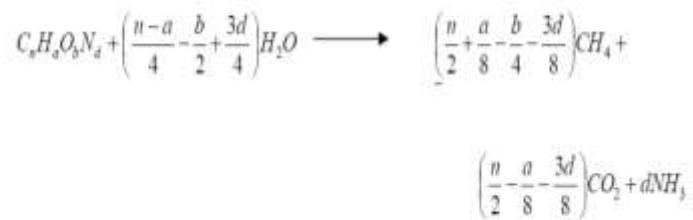


Esta reducción de sulfato es realizada por organismos estrictamente anaerobios. Estos organismos son solamente capaces de utilizar un número limitado de electrones donados, particularmente por el hidrógeno. El proceso de sulfato, reducción es importante en por lo menos tres (3) aspectos:

- La producción de metano por cantidad de DQO removido disminuye.
- La reducción de sulfatos dará como resultado la formación de ácido sulfhídrico, compuesto bastante tóxico para la metanogénesis.
- La formación de sulfuros puede causar considerables molestias en el ambiente.

La última etapa de la digestión anaerobia se lleva a cabo por la actividad de un grupo de bacterias conocido como metanogénicas. Este proceso se conoce como metanogénesis hidrogenolítica y se basa en la reducción de dióxido de carbono a metano, en el que el hidrógeno es fundamental, aunque el formiato, el CO y aún el hierro elemental pueden ser donadores de electrones en la metanogénesis.

Si la composición para el sustrato es conocida y si se convierte completamente a metano y dióxido de carbono (y amoníaco en caso de sustratos con contenidos de nitrógeno), el metano teóricamente producido puede ser calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:



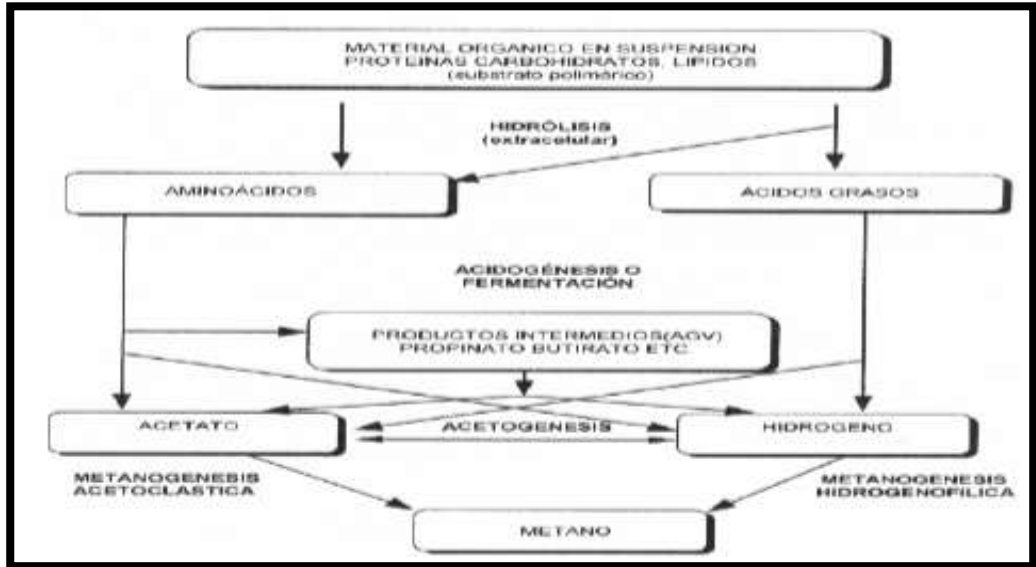
Esta ecuación es válida para sustratos orgánicos biodegradables. Generalmente, el biogás producido en una digestión anaerobia contiene muy poco dióxido de carbono, y se puede calcular en base a la ecuación anterior. La razón radica en la significativa solubilidad del CO<sub>2</sub> en agua.

**LAS CONDICIONES ÓPTIMAS PARA UN PROCESO ANAEROBIO SON:**

- ❖ Nutrientes suficientes:
- ❖ PH entre 6.5 y 7.6, se deben prevenir los PH menores a 6.2, valor en que no trabajan las bacterias metanogénicas.
- ❖ Temperatura en el intervalo mesofílico 30 - 38°C o en el intervalo termofílico 50 - 60°C.
- ❖ Ausencia de Oxígeno.
- ❖ Ausencia de sustancias tóxicas, tales como metales pesados, sulfuros.

Un esquema, el cual resume lo mencionado anteriormente se muestra a continuación:

**FIGURA N° 01:  
FLUJO DE SUSTRATO COMO MATERIA ORGÁNICA A TRAVÉS DE  
UNA COMUNIDAD BIOLÓGICA ANAEROBIA.**



*Fuente: google*

Una condición que disminuye la eficiencia de remoción de DBO en un proceso anaerobio es la presencia de reacciones que compiten con la reacción metanogénica, tal como la reducción de sulfatos a sulfuros por las bacterias reductoras de sulfato, en ésta la DBO no es removida puesto que solamente se hace un cambio de materia orgánica a sulfuros.

#### **2.4.1.2. TRATAMIENTO ANAEROBIO.**

El proceso anaerobio, es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios. El proceso anaerobio es menos eficiente en producción de energía que el aerobio, puesto que la mayoría de energía liberada en el catabolismo anaerobio proveniente de la sustancia descompuesta aún permanece en los productos finales reducidos como el metano, generándose una cantidad de biomasa mucho menor que la producida en el proceso aerobio. El uso de los sulfatos y del  $\text{CO}_2$ , como aceptores de electrones requiere condiciones estrictamente anaerobias, es decir, ausencia de oxígeno y nitratos. Los carbohidratos contienen oxígeno que pueden emplearse como aceptores de electrones; una porción del carbohidrato es oxidado en  $\text{CO}_2$  y ácidos orgánicos, mientras que otra porción es reducida en aldehídos, cetonas y alcoholes. Prácticamente, la descomposición anaerobia es posible con todos los compuestos orgánicos que contienen oxígeno en sus moléculas. En el tratamiento anaerobio se puede considerar, por tanto, que ocurren los procesos básicos de la descomposición anaerobia, es decir, desnitrificación de nitratos, respiración de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica.

El proceso microbial es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones paralelas y en serie, interdependientes entre sí. En su forma más elemental, se puede considerar el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica integrado por dos etapas:

fermentación de ácidos y fermentación de metano, que ocurren simultáneamente. En la fermentación ácida, los compuestos orgánicos de estructura compleja (proteínas, grasas, carbohidratos), son primero hidrolizados en unidades moleculares más pequeñas y sometidos a biooxidación para convertirlos en ácidos grasos de cadena corta, principalmente ácido acético, propionico y butírico, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Durante esta etapa fermentativa no existe realmente estabilización, sino una transformación de material orgánico complejo en compuestos más simples. La población bacteriana formadora de ácidos puede ser facultativa anaerobia, viable en presencia de oxígeno, o anaerobia obligada, para lo cual el oxígeno es tóxico, o incluso una combinación de los dos procesos.

En la fermentación metanogénica, los microorganismos metanogénicos, en condiciones estrictamente anaerobias, convierten los productos de la fermentación ácida en CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> principalmente. La estabilización o remoción biológica anaerobia de DBO ocurre en la etapa de formación de metano, porque este es poco soluble en el agua y se evapora con el gas que sale del reactor. El CO<sub>2</sub> producido, también escapa como gas o es convertido en alcalinidad bicarbonatada.

La bacteria del metano es estrictamente anaerobia y se cree que solo puede usar ácido acético, fórmico, metanol o hidrógeno como fuente de energía. La producción de crecimiento biológico es mínima puesto que el oxígeno de los compuestos orgánicos o sustrato, es removido y reemplazado por hidrógeno; el residuo es reducido y la mayoría de la energía liberada en el catabolismo anaerobio permanece en el metano y no se utiliza en síntesis celular.

### **2.4.1.3. Reactores Anaeróbicos.**

La abreviación U. A. S. B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanket o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

El primer trabajo publicado de un reactor de lecho suspendido data del año 1910 y se le denominó “tanque biológico”, con tiempos hidráulicos de retención de 8,5 horas. Posteriormente, un nuevo invento se llevó a cabo en 1957 que consistió en un lecho suspendido con separador interno sólido - líquido, seguido de un filtro anaerobio. El reactor UASB, fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores en los años 70. El diseño de un reactor UASB consiste en una zona de reacción en la parte inferior, en la que se acumula la biomasa, la de mejor sedimentabilidad en el fondo y encima los lodos más ligeros.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo o barro biológicamente activo en el reactor.

Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional. Una de las ventajas del tratamiento anaeróbico sobre el tratamiento aeróbico es la producción de gas metano como fuente energética y la baja producción de lodo biológico.

El tratamiento de aguas residuales con reactores tipo U. A. S. B. es el más difundido en América Latina desde 1988. Estos reactores reemplazaron de cierta forma en las plantas de tratamiento aerobio a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores para el tratamiento

de lodos y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO en función de la concentración inicial del agua residual. Los U. A. S. B. funcionan como tratamiento primario, tratamiento secundario, pero no llegan a eficiencias de remoción superiores al 82%. Para lograrlo, deben ser complementados por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas.

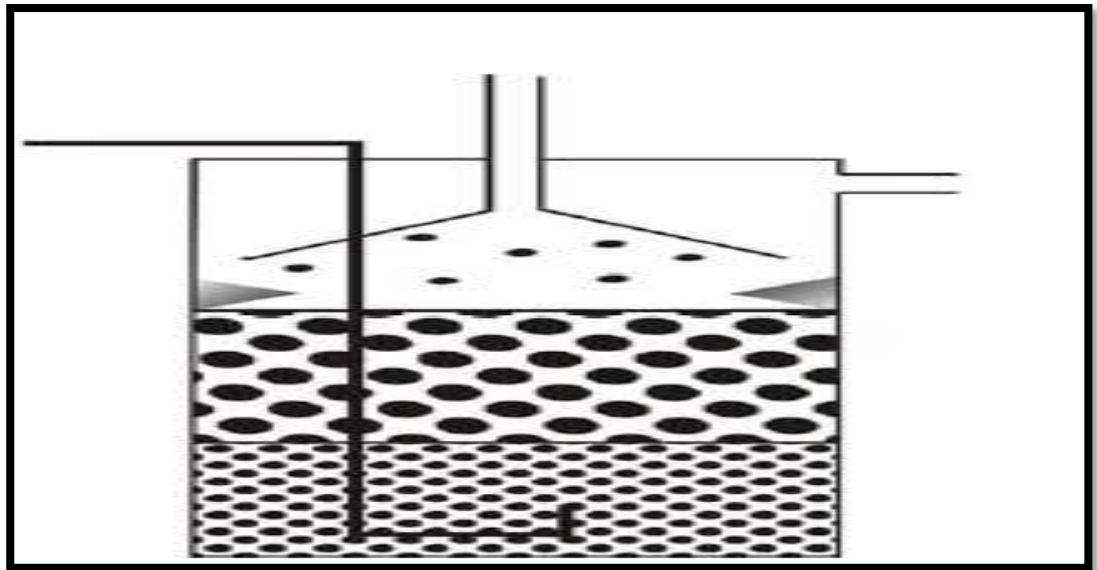
El reactor UASB está siendo experimentado con éxito en el tratamiento de aguas residuales muy diversas de procesos de la industria de alimentos, industriales, urbanas y lixiviados, aunque inicialmente se desarrolló para aguas residuales de tipos principalmente solubles y de concentración media. El tratamiento anaerobio se recomienda para el lixiviado con una relación de DBO/DQO entre 0,7 y 0,3 (residuos parcialmente estabilizados).

El afluente es alimentado por el fondo del reactor, donde se pone en contacto con el lodo; la degradación anaerobia de los sustratos orgánicos ocurre en el lecho del lodo, y allí se produce el biogás, o sea, tanto la acidificación como la metanogénesis ocurren en el mismo reactor.

El flujo combinado ascendente de las aguas residuales, puede hacer que algunos de los sólidos del lodo lleguen a la parte superior del reactor, donde un separador gas-sólido-líquido, impide la salida de los sólidos del reactor separándolos del gas producido y del efluente líquido. El biogás es captado bajo una campana y conducido hacia la superficie del reactor. Algunos sólidos son arrastrados con el agua hacia el sedimentador, situado encima de la campana de gas, donde los sólidos sedimentan y retornan al manto de lodos, el efluente cae a un canal situado en la parte superior del reactor, donde es descargado. Las grandes concentraciones de biomasa con elevada actividad que se consiguen, permiten el funcionamiento a alta carga orgánica con buenas eficacias de eliminación.

La biomasa activa puede estar en forma de gránulos compactos o en forma de lodos floculentos con buena sedimentabilidad lo cual convierte en su característica principal la retención de la biomasa.

**FIGURA N° 02:  
ESQUEMA GENERAL DE UN REACTOR UASB.**



*Fuente: google*

#### **2.4.2. HISTORIA Y EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN TECNOLÓGICA.**

##### **❖ EUROPA.**

Los primeros estudios que se conocen datan de 1776 de mano de Alessandro Volta. Dicho autor capta y recoge los gases generados en el lago como para examinarlos, poniendo de manifiesto que la formación del gas depende de un proceso fermentativo en el que pueden producirse mezclas explosivas con el aire atmosférico.

El físico inglés Faraday asimismo realiza diversos experimentos con los gases producidos en pantanos y marismas. En el año 1821 Avogadro plantea la estructura atómica de la molécula de metano.



No es hasta la mitad del siglo XIX cuando comienzan a realizarse estudios sistemáticos del proceso de digestión anaerobia, principalmente encaminados a eliminar el olor producido en las lagunas con aguas residuales. Durante dichos ensayos se descubren diversos microorganismos que intervienen en el proceso, siendo Bechamp en 1868 el que identifica que es necesaria una mezcla concreta de estos microorganismos para transformar el etanol en metano.

Louis Pasteur trata de obtener biogás a partir de los excrementos producidos en las carreteras parisinas en el año 1884 logrando, junto con su alumno Gavon, 100 L de metano producidos a partir de 1 m<sup>3</sup> de estiércol fermentado a 35°C.

#### ❖ **PRIMER PERIODO.**

Paralelamente a los ensayos de Pasteur las lámparas de la localidad de Exeter se iluminan en 1897 con gas procedente de residuos.

En 1904 Travis intenta desarrollar un proceso en dos etapas que combine la purificación de las aguas residuales con la obtención de metano.

En 1906 Sohngen logra acumular acetato en un proceso en dos etapas. Descubre que el metano se produce a partir de tres compuestos básicos: formiatos, junto con hidrógeno y dióxido de carbono. Ese mismo año Imhoff comienza la construcción de la primera planta de tratamiento de aguas residuales en el Ruhr, Alemania.

El primer biogás vendido al público se realiza en Alemania en el año 1923, desarrollándose enormemente una gran variedad de tecnologías en la obtención de dicho producto.

Alrededor de 1930 comienzan a implantarse sistemas que buscan eliminar el agua, el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico del proceso. En ese mismo periodo se realizan los primeros estudios del uso de residuos agrícolas para la obtención de biogás.

La primera planta de biogás se instala en Darmstadt, Alemania, en el año 1950, produciéndose la construcción de otras cincuenta en años sucesivos.

En 1950 Barker detecta las bacterias encargadas de la formación de metano: methanosarcina y formicicum methanobacterium.

En 1955 la demanda de biogás decrece debido al abaratamiento del coste de los derivados del petróleo, cerrando prácticamente la totalidad de las plantas productoras.

## ❖ **SEGUNDO PERIODO.**

Debido a la crisis del petróleo de la década de 1970 la demanda de biogás vuelve a aumentar.

En la década de 1990 el mercado de las plantas de biogás se estimula principalmente por dos motivos: la probada eficiencia del gas en la obtención de energía eléctrica y la necesidad de tratar los residuos generados.

El número total de plantas de biogás en este periodo se recoge a continuación:

**CUADRO N°01:  
NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS EN EUROPA EN EL AÑO 1997.**

PAÍS	NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS	Tm DE MATERIAL DIGERIDO ANUALMENTE
Austria	10	90000
Bélgica	2	47000
Dinamarca	22	1396000
Finlandia	1	15000
Francia	1	85000
Alemania	39	1081700
Italia	6	772000
Holanda	4	122000
Polonia	1	50000
España	1	113500
Suecia	9	341000
Suiza	10	76500
Inglaterra	1	40000
Ucrania	1	12000
<b>Total</b>	<b>108</b>	<b>4241700</b>

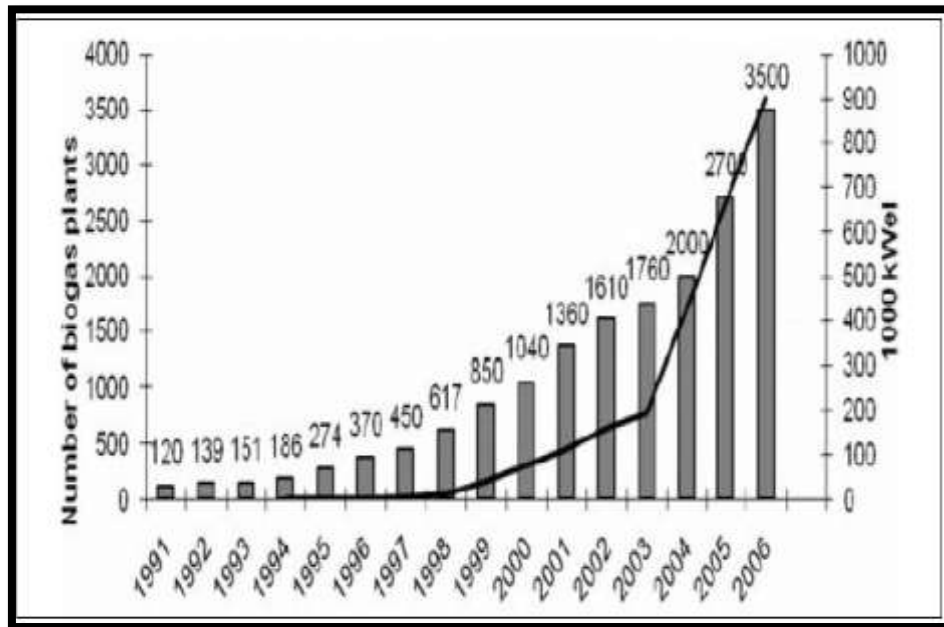
*Fuente: (Dieter D. Et al., 2008).*

#### ❖ TERCER PERIODO.

El número de plantas de biogás continúa en aumento debido a las leyes de energías renovables y medioambientales, las cuales dotan de financiación para la construcción de nuevas instalaciones.

Se muestra como ejemplo una gráfica de la expansión de la producción de biogás en Alemania desde 1991 hasta el año 2006:

**GRÁFICO N°01:  
PRODUCCIÓN Y NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS EN ALEMANIA  
DESDE 1991 HASTA EL AÑO 2006.**



*Fuente: google*

❖ **RESTO DEL MUNDO.**

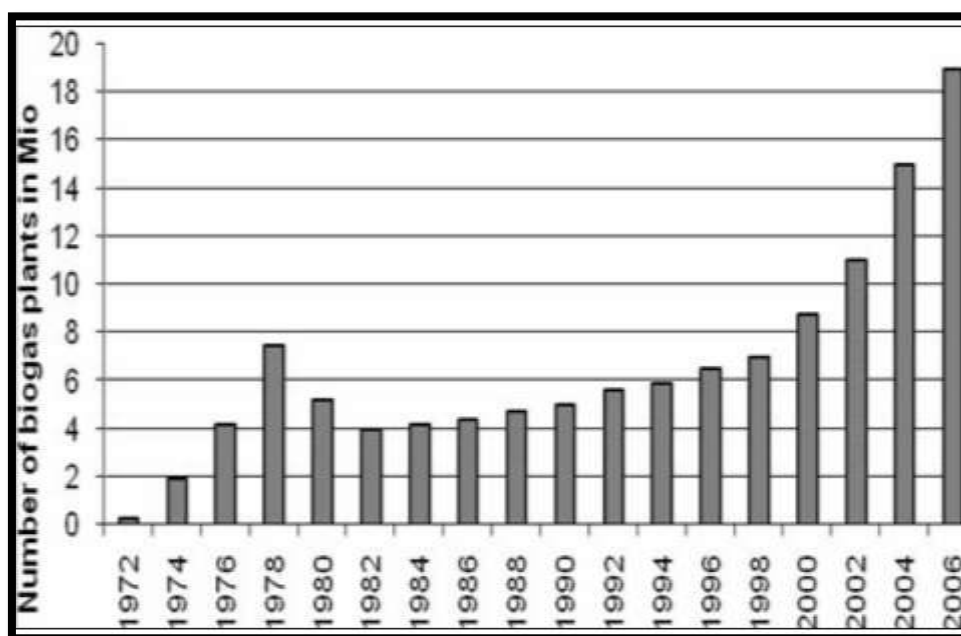
En los países industrializados la producción de energía a partir de biomasa no supera el 5% del total de la energía primaria producida. En los países en vías de desarrollo este porcentaje suele estar en el entorno del 38% y, en algunos casos como los de Nepal o Vietnam, llegar al 90%.

❖ **CHINA.**

El uso de biogás como energía primaria es muy importante, desarrollándose su uso principalmente en las áreas rurales, donde se concentra un 70% de la población, incrementándose continuamente la producción.

A continuación, en la figura se representa el número de instalaciones de biogás (en millones) frente al año:

**GRÁFICO N° 02:**  
**NÚMERO DE PLANTAS DE BIOGÁS (EN MILLONES) INSTALADAS**  
**EN CHINA FRENTE AL AÑO.**



*Fuente: (Dieter D. Et al., 2008).*

En el año 1970 comienza la construcción de digestores de tamaño familiar integrados en estructuras cooperativas (de unas 90 familias) en las áreas rurales, los cuales amortizaban el coste de su construcción en apenas dos años, sirviendo de fuente de energía y evitando el problema sanitario asociado a la generación de los residuos.

A partir de 1992 la construcción de nuevas plantas se incrementa debido a tres campañas gubernamentales:

- Campaña “Un pozo con tres reconstrucciones”, basada en la construcción de fosas sépticas, reconstruyendo pocilgas, sanitarios y cocina para su correcta canalización.
- Campaña “4 en 1”, que buscaba la adecuación de los digestores al clima tan cambiante entre verano e invierno en el norte del país, construyendo biorreactores de 8 m<sup>3</sup> de volumen, invernaderos de unos 450 m<sup>2</sup> de superficie, pocilgas de unos 20 m<sup>2</sup> de superficie y retretes. Así, se lograba obtener energía suficiente para una familia de cuatro

miembros, empleando el biol como fertilizante en el invernadero y el biogás para cocinar y para la calefacción e iluminación del invernadero, recuperándose la inversión en uno o dos años.

- Campana “Cerdos – biogás – frutas”, similar a la anterior, pero adecuándose a las temperaturas del sur de China.

A partir de 1999 y hasta la actualidad el número de plantas sigue aumentando debido a la promoción y financiación que realiza el país, de acuerdo a las nuevas leyes en materia energética y medioambiental.

#### ❖ **INDIA.**

El consumo energético en India es de 6500 Twh-1 pero se espera que esta cantidad se doble en un futuro cercano. En la actualidad existen unos dos millones y medio de plantas de biogás con un volumen medio de producción de gas que oscila entre los 3 y 10 m<sup>3</sup> día – 1 de biogás. El gobierno estima que dicha cantidad se amplíe hasta llegar a unos 20 millones de pequeñas plantas con digestores de 2 m<sup>3</sup> de volumen, capaces de proveer de energía a familias con cuatro vacas.

#### ❖ **LATINOAMÉRICA.**

En países como Brasil, Perú, Argentina, Chile o México la digestión anaerobia es todavía una tecnología incipiente, con reactores de 2 a 10 m<sup>3</sup> de volumen similares a los empleados en China.

#### **2.4.3.1. PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR.**

Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejillas gruesas y finas, desarenadores, y en casos especiales se emplean tamices. Estas unidades, en ocasiones obviadas en el diseño de plantas de tratamiento, son necesarias para evitar problemas por el paso de arena, basura, plásticos, etc., hacia los procesos de tratamiento propiamente dichos.

### **2.4.3. NIVELES DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.<sup>2</sup>**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reuso.

La complejidad del sistema de tratamiento está en función de los objetivos que se establezca para el efluente resultante de dicho tratamiento. Teniendo en cuenta el gran número de operaciones y procesos disponibles para la depuración de las aguas residuales es común hablar de niveles de tratamiento, los cuales para fines prácticos han sido clasificados como: preliminar o pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario o avanzado.

#### **2.4.3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO.**

Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) orgánica sedimentable presente en el agua residual. Es común en zonas rurales el empleo del tanque séptico como unidad de tratamiento primario con disposición final por infiltración. El tanque Imhoff ha sido empleado en localidades de mediano tamaño como un buen sistema de tratamiento primario. Por ejemplo, en la ciudad de Ayacucho se han instalado 6 unidades de tanque Imhoff como parte del sistema de tratamiento. También se emplea tanques de sedimentación primaria, tanques de flotación y lagunas primarias en sistemas de lagunas de estabilización. Una reciente investigación en Brasil ha encontrado al

---

<sup>2</sup> Edgar Americano Cabrera Alarcón. Biotecnología “Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales”, lima 23 de julio de 2017.

Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA o también conocido como UASB por sus siglas en inglés) como un sistema que puede ser promovido como unidad primaria de tratamiento. Aunque esto desvirtúa el concepto tradicional del tratamiento UASB, que ha sido considerado de nivel secundario, su inclusión en los procesos de tratamiento como unidad primaria ha tenido resultados positivos, coincidiendo con el enfoque de ecoeficiencia sobre la mejora en la eficiencia de los procesos, por lo que resulta una opción innovadora que será descrita más adelante.

#### **2.4.3.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO.**

El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO. Los sistemas más empleados son:

- Biofiltros o filtración biológica, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos.
- Lodos activados, entre los que se encuentran los convencionales y los de aireación extendida.
- Lagunas de estabilización de los tipos facultativas y aireadas.

#### **2.4.3.4. TRATAMIENTO TERCIARIO.**

La necesidad de implementar un tratamiento terciario depende de la disposición final que se pretenda dar a las aguas residuales tratadas.

El tratamiento del nivel terciario tiene como objetivo lograr fundamentalmente la remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo. Usualmente, la finalidad del tratamiento de nivel terciario es evitar que la descarga del agua residual, tratada previamente, ocasione la eutrofización o crecimiento generalizado de algas en lagos, lagunas o cuerpos de agua de baja circulación, ya que ello desencadena el consumo de oxígeno disuelto con los consecuentes impactos sobre la vida acuática del cuerpo de agua receptor. El uso del efluente de plantas de tratamiento de nivel



terciario puede aplicarse al riego de áreas agrícolas, la crianza de peces y otras actividades productivas.

El efluente del tratamiento terciario también puede tener algunos usos especiales, como la recarga de acuíferos, agua para uso industrial, etc. Los procesos más usados son la precipitación química de nutrientes, procesos de filtración, destilación, flotación, ósmosis inversa, entre otros.

#### **2.4.4. OTROS PROCESOS RELACIONADOS CON LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

##### **2.4.4.1. DESINFECCIÓN.**

Se emplea para reducir el contenido de bacterias y virus presentes en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final. La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades. Los tres principales métodos de desinfección en aguas residuales son la cloración, la ozonización y la radiación ultravioleta (UV).

El uso de cloro para desinfectar aguas residuales es un método utilizado por muchos municipios. Aunque es una práctica muy común, se debe indicar que la materia orgánica remanente, presente en el agua residual tratada, oxida el cloro reduciendo su acción desinfectante y permite la formación de compuestos químicos organoclorados que pueden causar problemas a la salud pública, con efectos cancerígenos, poniendo en peligro la vida acuática y puede quedarse en el medio ambiente durante períodos prolongados.

Por otro lado, cuando una planta de tratamiento no dispone de unidades de desinfección, difícilmente puede lograr efluentes con menos de 1,000 coliformes fecales/100 ml, parámetro de calidad requerido para el reuso en riego de áreas agrícolas o áreas verdes de contacto primario que pueden ser utilizadas por el público. En vista del interés de balancear los

impactos ambientales de la cloración con la necesidad continua de una desinfección efectiva, muchas empresas de servicio han optado por seguir otros métodos para la desinfección.

La ozonización y la radiación UV son dos opciones adicionales de desinfección, que no generan sustancias químicas residuales en el agua tratada. Los sistemas de tratamiento por ozonización han sido utilizados en las operaciones de tratamiento de agua desde principios del Siglo XX. En la década del 70, ingenieros de Estados Unidos comenzaron a utilizar el ozono como una alternativa de desinfección de aguas residuales. Los sistemas de desinfección por ozono se producen mediante la creación de una descarga eléctrica en corona, similar a los relámpagos y rayos durante las tormentas eléctricas. El ozono se mezcla con agua o aguas residuales para lograr la desinfección deseada. La desinfección UV funciona en forma diferente a la cloración y la ozonización, en el sentido de que durante el proceso UV, los patógenos no son destruidos y más bien pierden su capacidad de reproducción. En un sistema de desinfección UV, de aguas residuales, la acción natural de este proceso es acelerada mediante la concentración intensa de rayos ultravioleta, por lo que su efectividad va asociada a la menor turbiedad presente en el agua.

#### **2.4.2.2. TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS RETENIDOS Y LODOS PRODUCIDOS.**

El tratamiento de las aguas residuales genera una serie de residuos, resultantes de las operaciones y procesos. Los residuos sólidos son esencialmente los materiales retenidos en las cámaras de rejillas y desarenadores. Por su parte, en los sedimentadores, tanto primarios como secundarios, se produce lodos con alto contenido de material orgánico e inorgánico que se acumulan en las tolvas de sedimentadores y deben ser retirados periódicamente. La fracción de residuos sólidos

retenidos en el pretratamiento puede ser dispuesto en forma apropiada en un relleno sanitario, oficialmente autorizado. Por su parte los lodos generados en los procesos de tratamiento, antes de su disposición final, deben ser acondicionados y tratados. Debido a su alto contenido de materia orgánica putrescible, los lodos suelen ser tratados por deshidratación y de ser posible se hace un tratamiento especial, empleando procesos biológicos de digestión: anaerobia, digestión aerobia, oxidación procesos de compostaje e incineración.

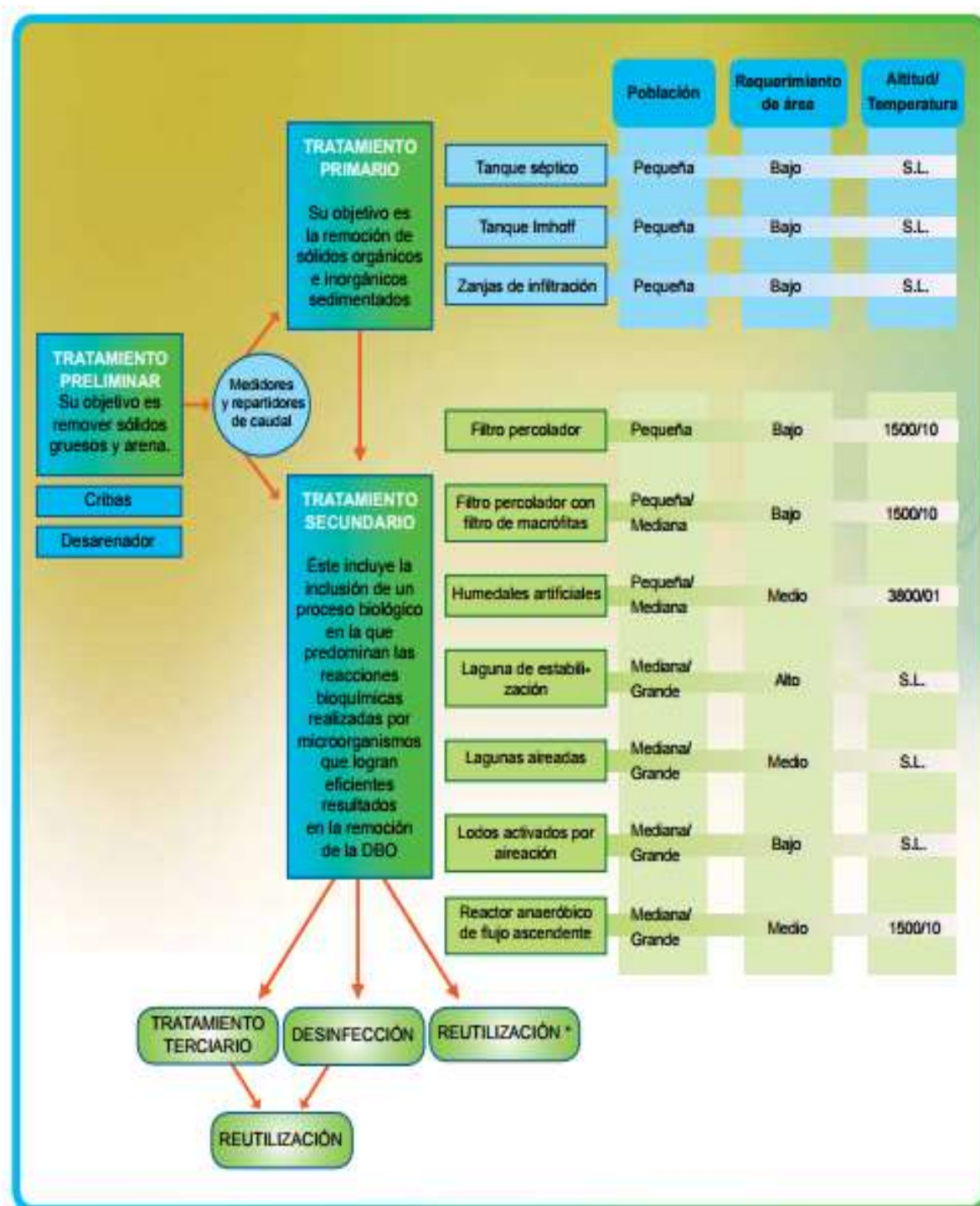
El tratamiento de lodos mediante su deshidratación en lechos de secado y su inclusión progresiva en la producción de humus con lombrices, empleadas para dicho fin, permiten obtener productos de gran utilidad en el campo de la agricultura. Se han producido mediante sistemas controlados del manejo de lodos tratados, complementados con otros insumos naturales, materiales que son utilizados como mejoradores de suelos. Otro proceso muy apropiado para reducir el volumen de lodo y que favorece su manejo en cantidades menores, sobre todo en plantas de tipo aerobio, corresponde a la digestión de lodos mediante el reactor de tratamiento anaerobio. La alta concentración de materia orgánica, presente en el lodo, da condiciones apropiadas para su tratamiento mediante bacterias anaerobias, reduciendo el volumen del lodo y con producción de gas metano como resultado de dicho proceso.

#### **2.4.5. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

La escasez de recursos hídricos y la contaminación ambiental, que viene alterando las condiciones del planeta, obliga al desarrollo y adecuación tecnológica en las diferentes actividades humanas y por ende también en el campo del tratamiento de aguas residuales. Para la implementación de un sistema de tecnologías descritas a continuación, se requiere necesariamente la asistencia de personal técnico y profesionalmente calificado. Asimismo, se debe contar con personal capacitado en labores de operación, mantenimiento y seguridad de sistemas de tratamiento. Es

importante revisar y adoptar la legislación y las normativas vigentes que regulan los alcances y obligaciones sanitarias y ambientales de un sistema de tratamiento de aguas residuales para los fines establecidos en su diseño. Las tecnologías mostradas en el diagrama siguiente y descritas a continuación, sobre el tratamiento de aguas residuales, resume las condiciones técnicas de cada una, especificando sus alcances y limitaciones, así como sus ventajas y desventajas.

**CUADRO N° 02:  
FLUJOGRAMA DE TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.<sup>3</sup>**



Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)

<sup>3</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

#### **2.4.5.1. UNIDADES DE PRETRATAMIENTO O TRATAMIENTO PRELIMINAR.**

Son aquellas instalaciones que permiten el acondicionamiento del agua, previo al tratamiento, cuyo fin es retener sólidos gruesos, plásticos, material flotante, grasas y material rápidamente sedimentable como gravas y arenas presentes en el agua residual municipal. No se consideran como unidades de tratamiento propiamente dicho porque las operaciones que se realizan en dichas unidades reducen escasamente la materia orgánica soluble, retirando básicamente el material fácilmente removible. El retiro de estos sólidos y materiales permite prever posibles obstrucciones y perjuicios de los procesos de tratamiento que se consideren en la Planta de Aguas Residuales.

Es importante que la Planta de Tratamiento incluya como parte del pretratamiento una unidad de medición de caudal. Dicho componente puede ser una canaleta tipo parshall o también pueden usarse vertederos graduados para registros de nivel y cálculo de caudales.

Toda Planta de Tratamiento debe tener como mínimo una cámara de rejas, un desarenador y un sistema de medición de caudal, ya sea de canaleta parshall o vertedero de control.

**FIGURA N° 03:  
CÁMARAS DE REJAS (PERMITEN LA RETENCIÓN DE RESIDUOS  
SÓLIDOS Y MATERIAL GRUESO PREVIO AL INGRESO A LAS  
UNIDADES DE TRATAMIENTO PRIMARIO)<sup>4</sup>**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

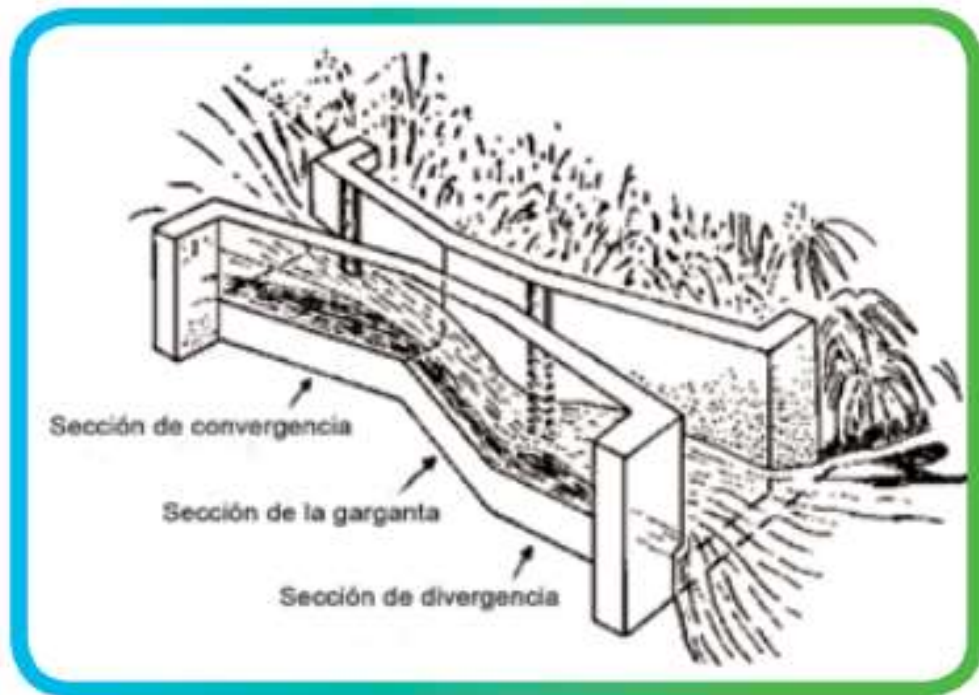
#### **2.4.5.2. UNIDADES DE TRATAMIENTO PRIMARIO.**

El tratamiento primario corresponde a aquella unidad previamente empleada antes de un sistema de tratamiento biológico (prioritariamente de tipo aerobio) o secundario, con la finalidad de reducir la carga. Por ello, las operaciones unitarias que se han desarrollado en las unidades de tratamiento primario remueven los sólidos suspendidos, rápidamente sedimentables, sin alcanzar a remover sustancialmente el material coloidal ni las sustancias disueltas existentes en el agua residual. La principal unidad empleada para el tratamiento primario en las Plantas de Tratamiento de Desagües, es el Tanque de Sedimentación Primaria o Sedimentador Primario.

---

<sup>4</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**FIGURA N° 04:**  
**CANALETA PARSHALL (UNA FORMA DE MEDIR EL CAUDAL DE**  
**INGRESO A LA PLANTA)**



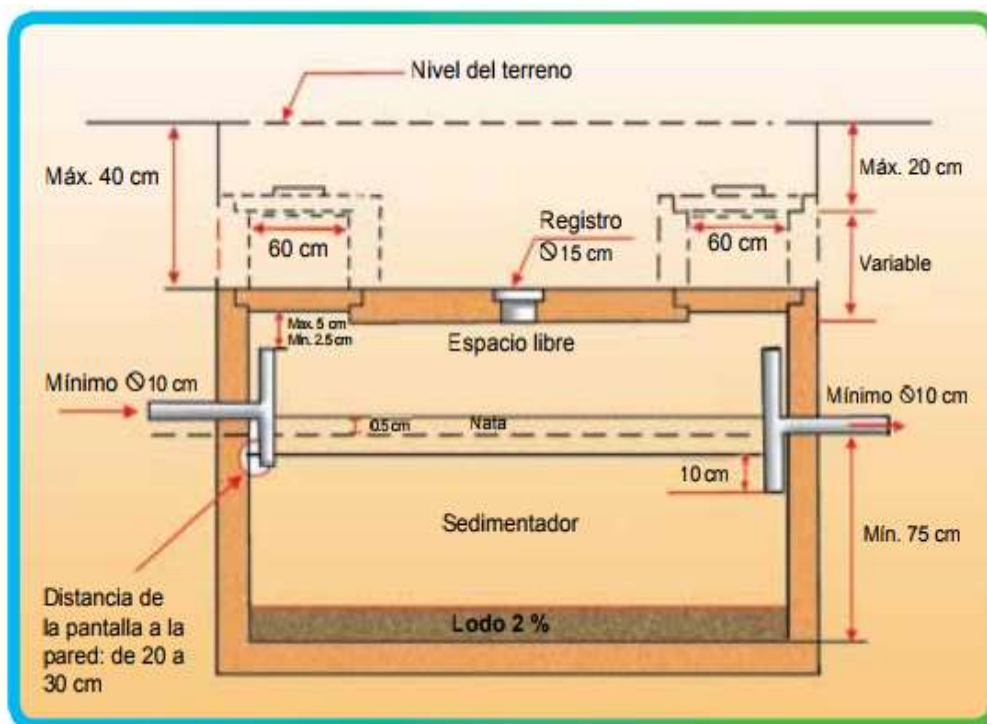
*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

#### **2.4.5.2.1. TANQUES SÉPTICOS CON ZANJAS DE INFILTRACIÓN.**

En localidades pequeñas de tipo rural o zonas con generación de desagües inferior a los 20m<sup>3</sup> /día (0.23 lps) suele emplearse el tanque séptico como unidad de tratamiento primario y es usualmente seguido de un sistema de infiltración. El volumen total del tanque dependerá del volumen diario de retención de líquidos, lodos y natas. Esta cámara séptica tiene, generalmente, forma rectangular y puede estar dividida en dos o más compartimientos para permitir la retención de espumas y objetos flotantes, la sedimentación de sólidos y la digestión progresiva de la materia orgánica sedimentada. Con dichas operaciones unitarias no se logra la remoción significativa de la materia orgánica como DBO. Por tanto, es necesario realizar un tratamiento adicional para remover los contaminantes disueltos presentes en el efluente.



**FIGURA N° 05:  
DIMENSIONES USUALES PARA EL DISEÑO DE UN TANQUE SÉPTICO.**



Fuente: OPS/CEPIS/05.164 UNATSABAR.

**CUADRO N° 03:  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS TANQUES SÉPTICOS.**

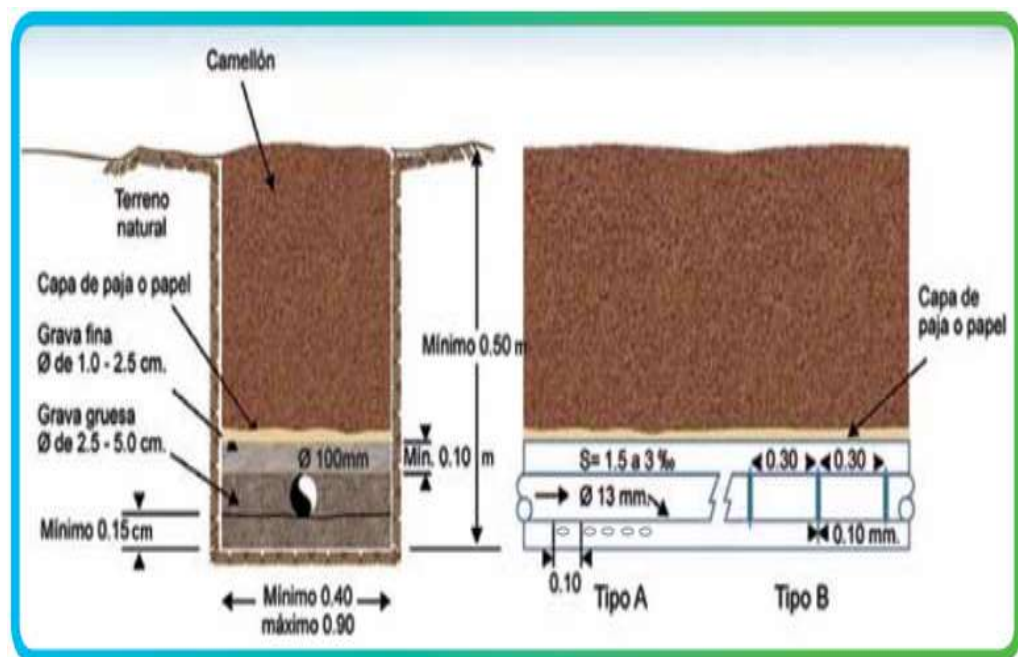
TANQUES SÉPTICOS	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Apropiado para localidades rurales, edificaciones con servicio de agua propio, condominios, hospitales y entidades sin redes de alcantarillado municipal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>De uso limitado para un máximo de 350 habitantes o valor máximo de 20 m<sup>3</sup>/día de caudal a tratar.</li> <li>Uso limitado para zonas con suelos impermeables, zonas inundables o donde exista napa freática a menos de 3 metros de la superficie del terreno, casos en los que conviene optar por otro método.</li> </ul>
Son apropiados cuando el suelo es permeable y no se encuentra en una zona propensa a inundaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>"Requiere de tratamiento adicional para disminuir los efectos contaminantes del efluente, debido a su baja eficiencia en la remoción de microorganismos patógenos y materia orgánica".</li> <li>Requiere facilidades para el mantenimiento y retiro de lodo acumulado, lo que demanda la disponibilidad de bombas o unidades tipo hidrojet para el retiro de los lodos acumulados.</li> </ul>
Una vez construidos pueden ser integrados a una red de alcantarillado.	
Bajo costo de construcción por su simplicidad. Poca dificultad en su operación y mantenimiento cuando se cuenta con infraestructura para remoción de lodos.	

Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)

a) **ZANJAS DE INFILTRACIÓN.**<sup>5</sup>

Las aguas grises y los efluentes provenientes del tratamiento primario en tanques sépticos u otros, requieren necesariamente de un tratamiento final, antes de su disposición al ambiente, ya que su carga orgánica y patógena aún no ha sido totalmente removida. Este proceso puede ser realizado en zanjas de infiltración, las cuales deben ser construidas considerando los detalles mostrados en la figura 2.10 para asegurar su eficiencia.

**FIGURA N° 06:  
DETALLE DE ZANJA DE INFILTRACIÓN.**



*Fuente: OPS/CEPIS/05.148 UNATSABAR.*

Para tener una mejor idea de la alternativa planteada, se muestra la figura 7, en la que se aprecia la distribución de las zanjas de infiltración en espacios grandes de terreno.

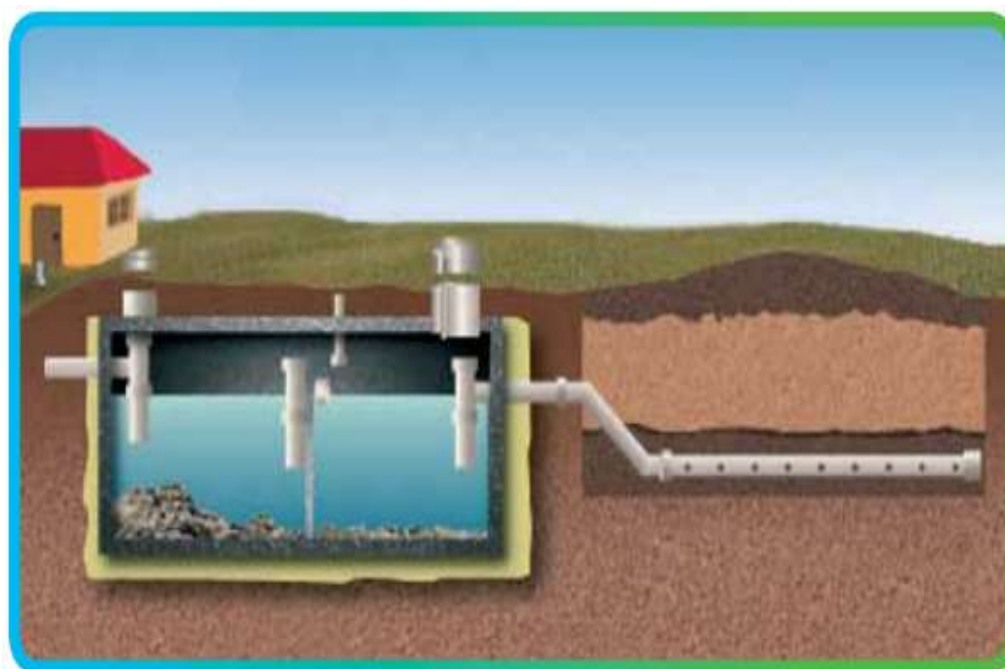
<sup>5</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**FIGURA N° 07:**  
**DISTRIBUCIÓN DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN A 5M. DE**  
**DISTANCIA DE LA VIVIENDA.**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

**FIGURA N° 08:**  
**USO DE TANQUE SÉPTICO Y ZANJA DE INFILTRACIÓN, PARA UNA**  
**CORRECTA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS EFLUENTES.**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

**CUADRO N° 04:  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN.**

<b>ZANJAS DE INFILTRACIÓN</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
El área donde se ubican puede ser aprovechada con cobertura vegetal, considerando siempre las especificaciones técnicas.	No son recomendables para zonas inundables o con la napa freática muy superficial.
Son apropiadas cuando el suelo es permeable y no se encuentran en una zona sujeta a inundaciones.	No son aplicables en suelos con tasas de infiltración menores de 10 L/m <sup>2</sup> -día.
Son adecuadas para disposición sanitaria domiciliar unifamiliar o comunal, en zonas rurales y periurbanas.	La humedad puede destruir las estructuras, si se ubica muy cerca de las edificaciones.

*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

#### **2.4.5.2.2 TANQUES IMHOFF.**

Es una unidad de tratamiento primario que logra una mejor eficiencia que el tanque séptico en la remoción de materia orgánica. Es utilizado para poblaciones mayores a las admitidas por el tanque séptico. Consiste en un tanque que presenta dos compartimentos interconectados de modo tal que se facilita la sedimentación, se favorece la separación de la espuma y en el lecho inferior se da un proceso de digestión anaerobia de los sólidos. Los sólidos se sedimentan a través de ranuras existentes en el fondo del compartimiento superior y pasan al compartimiento inferior para su digestión a temperatura ambiente. La espuma es acumulada en el compartimiento de sedimentación y va saliendo progresivamente mediante el desplazamiento hacia la superficie sin dejar que los lodos que sedimentan sean re-suspendidos. Existen gases altamente tóxicos en el

depósito debido al proceso anaerobio que en él se desarrolla. Estos gases pueden ser evacuados a la superficie libre para su dispersión en la atmosfera, aunque ésta es una debilidad de la tecnología ya que dicha evacuación a la atmosfera genera impactos negativos de efecto invernadero.

**FIGURA N° 09:  
LECHO DE SECADO PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS  
PROCEDENTE DE UN TANQUE IMHOFF.<sup>6</sup>**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

<sup>6</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**FIGURA N° 10:  
TANQUE IMHOFF VISTA SUPERIOR.**



*Fuente: Google.*

### **2.4.5.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO.**

#### **2.4.5.3.1. FILTRO PERCOLADOR.**

Los filtros percoladores son unidades de tratamiento secundario del tipo biológico con medio adherido o asistido. Esto quiere decir, que el agua residual pasa a través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias y otros microorganismos, se desarrollan progresivamente adhiriéndose al empaque o medio filtrante formando una película biológica que precisamente permite la degradación biológica de la materia orgánica. El empaque filtrante puede consistir en un lecho de roca volcánica, piedra chancada o material plástico con configuraciones especiales. Todos los empaques utilizados como medio filtrante, buscan maximizar la superficie de contacto sobre la cual se desarrolla la masa biológica útil para el tratamiento.

En el filtro se dan procesos de consumo de la materia orgánica; es decir, los microorganismos se nutren de las sustancias orgánicas contenidas en el líquido entrante y las asimilan, por lo que el efluente sale con menor carga contaminante. Es importante recalcar que, al igual que en las otras alternativas de tratamiento secundario, el agua que ingresa al filtro percolador, debe haber recibido un tratamiento previo. Un ejemplo de filtro percolador tradicional, con medio de soporte de roca volcánica se aprecia en la figura 11.

**FIGURA N° 11:**  
**VISTA PANORÁMICA DE UNA BATERÍA DE FILTROS PERCOLADORES. ESTAS UNIDADES DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO, POR BACTERIAS ADHERIDAS AL MEDIO FILTRANTE, PERMITEN REMOVER MATERIA ORGÁNICA SIN REQUERIR ENERGÍA ELÉCTRICA PARA SU FUNCIONAMIENTO.<sup>7</sup>**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

---

<sup>7</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

- **ASPECTOS TÉCNICOS**

Existen filtros percoladores de alta y baja tasa atendiendo al caudal de agua residual que pueden tratar por m<sup>2</sup> de superficie.

- **FORMA DE OPERACIÓN**

- El agua residual previamente tratada en la unidad de tratamiento primario, ingresa al filtro percolador por la parte superior.

- Un brazo rotatorio gira, distribuyendo el agua a manera de ducha sobre la superficie del filtro. Esta distribución se hace en forma constante, y con un giro moderado del brazo rotario de modo tal que la distribución del agua bañe toda el área superficial disponible.

- Dado que el brazo rotatorio está a 30 cm de la superficie del medio filtrante por donde pasara el agua, al caer permite la oxigenación de las partículas de agua, permitiendo una aireación artificial que ayuda al proceso de tratamiento biológico.

- El lecho filtrante es rico en bacterias que degradan la materia orgánica presente en el agua.

- El agua se recolecta en el fondo, con un canal de drenaje y se conduce a una unidad de sedimentación secundaria.



**CUADRO N° 05:  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL FILTRO PERCOLADOR.**

<b>FILTRO PERCOLADOR</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Requiere área o espacio físico moderado, mucho menor al del sistema de lagunas, por lo que puede implementarse en áreas intraurbanas.	Esta alternativa puede tener una aplicación limitada en aguas residuales con altas cargas orgánicas contenidas en los efluentes.
Su operación es sencilla, y en zonas con pendientes accidentadas puede ser implementado.	
No requiere de energía eléctrica y el costo de inversión es el más bajo de los sistemas aireados.	El nivel de remoción patógena es bajo, por ello en nuestro país se usa sólo para el riego de áreas verdes sin acceso al público, como en la cobertura vegetal del acantilado de la Costa Verde, en la ciudad de Lima.
La generación de olores es muy baja.	Son instalaciones particularmente diseñadas para pequeñas y medianas poblaciones.
Si se incluyendo una unidad de tratamiento primario de buena eficiencia, puede reducir su volumen.	Alta sensibilidad a sustancias tóxicas que podría tener el agua residual a tratar. (reemplaza al texto que dice Sensibilidad ante agentes tóxicos que podría tener el agua que proviene del tratamiento previo). La baja temperatura, puede (borrar la N) disminuir la actividad biológica e incluso en zonas de inviernos severos podría ocasionar la formación de escarchas de hielo mermando la eficiencia del proceso.
<b>Recomendaciones</b>	
Se debe garantizar una adecuada retención de sólidos gruesos y sedimentables en el pretratamiento (cámara de rejillas) y tratamiento primario, para evitar problemas de olores desagradables y la presencia de vectores.	

*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

**FIGURA N° 12:  
FILTRO PERCOLADOR MODIFICADO UBICADO EN EL PARQUE  
MARÍA REICHE DEL DISTRITO DE MIRAFLORES, LIMA.**



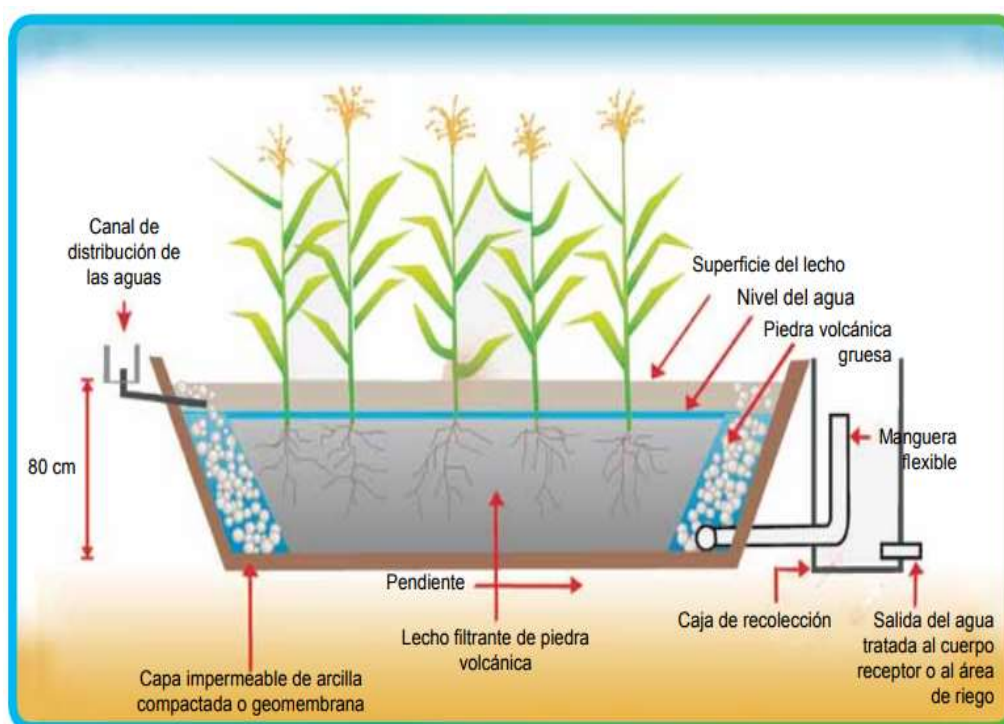
*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

### 2.4.5.3.2. HUMEDALES ARTIFICIALES.

Los humedales artificiales son filtros biológicos (biofiltros) de grava o piedra volcánica, sembrados con plantas de pantano, a través de los cuales circulan las aguas residuales pretratadas, mediante un flujo horizontal o vertical, tal como se aprecia en el diagrama de la figura 13.

Las bacterias responsables de la degradación de la materia orgánica utilizan la superficie del lecho filtrante para fijarse y formar una película bacteriana que les permite actuar mejor en el proceso de degradación.

**FIGURA N° 13:  
ESTRUCTURA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL HORIZONTAL.**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

El uso de humedales artificiales requiere procesos previos de tratamiento que garanticen una efectiva remoción de los sólidos suspendidos, con el fin de evitar la obstrucción del lecho filtrante. Estos procesos preliminares pueden consistir en la implementación de una rejilla, seguida de un

desarenador y unidades de sedimentación, como un tanque Imhoff, un tanque séptico, u otras alternativas, como la mostrada en la figura 14. El tratamiento biológico dentro del lecho filtrante horizontal es del tipo facultativo, lo que significa que en el cuerpo del filtro existen zonas con y sin oxígeno. Las raíces de las plantas permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, con lo cual se agrega oxígeno al agua y se establece una población de bacterias aeróbicas capaces de descomponer la materia orgánica. Las aguas provenientes del tanque Imhoff, cámara séptica u otro, se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie del lecho filtrante y se infiltran hacia la zona de recolección del agua. Cabe señalar que el paso del agua al filtro debe interrumpirse cada vez que sea necesario, de modo que los intervalos de alimentación permitan que toda el agua se haya infiltrado y los espacios vacíos del lecho hayan sido ocupados por aire. Se debe considerar la construcción de dos humedales artificiales en paralelo, para permitir el mantenimiento del sistema.

**FIGURA N° 14:  
CÁMARAS DE TRATAMIENTO PRELIMINAR DEL HUMEDAL  
ARTIFICIAL VERTICAL, DONDE UNA DE LAS CÁMARAS DE  
REPOSO ESTÁ SIENDO APROVECHADA PARA HACER COMPOST  
CON LA MATERIA ORGÁNICA.**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

**CUADRO N° 06:  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.**

8

<b>HUMEDALES ARTIFICIALES</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
El sistema es muy estable en la operación y eficiente para la remoción de materia orgánica y nutrientes, condiciones que permiten disponer el efluente en ambientes naturales.	Requieren de un proceso adicional de desinfección para eliminar totalmente los organismos patógenos, sobre todo cuando se trata sólo aguas residuales.
Pueden operar sin ningún consumo energético, al carecer de equipos electromecánicos.	Puede colmatarse en poco tiempo, cuando no cuentan con sistemas de pretratamiento adecuados.
La operación es sencilla y con bajo costo.	En zonas de altitud elevada puede ocurrir que las plantas empleadas no se adapten. Por ello, habría que realizar estudios <i>in situ</i> con especies locales.
Perfecta integración a el medio rural y urbano, como parques y jardines.	Un débil compromiso, así como la desorganización de los usuarios, hacen que estos proyectos no tengan éxito.
Generalmente no producen olores desagradables.	
<b>Recomendaciones</b>	
Este sistema de tratamiento no es estándar. Se debe diseñar de acuerdo a cada realidad urbana.	
Es viable para efluentes de poblaciones pequeñas y medianas.	
Si se desea implementar esta tecnología en la sierra del país, se deberá considerar especies vegetales locales y analizar la calidad del efluente para determinar su aprovechamiento.	

*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

<sup>8</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

#### **2.4.5.3.3. LODOS ACTIVADOS DE AIREACIÓN EXTENDIDA.**

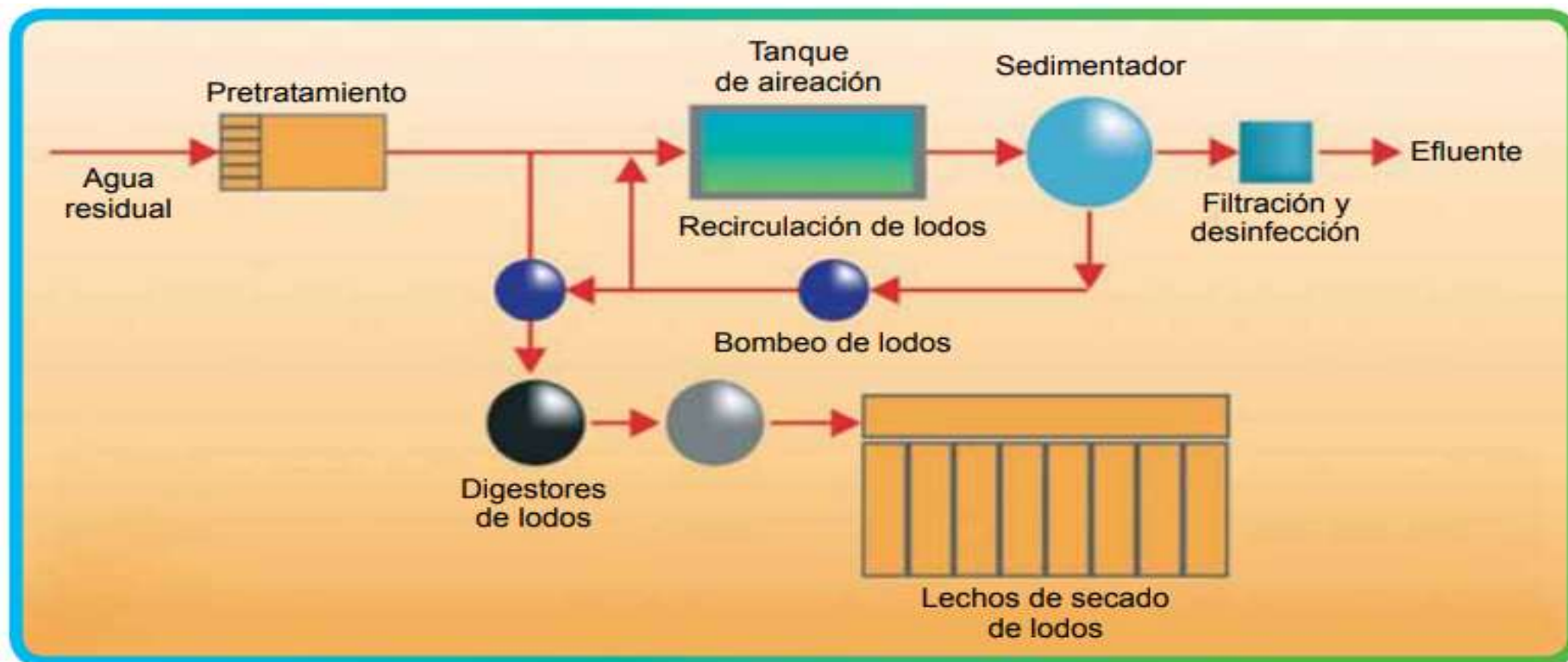
Los lodos activados son una tecnología de amplia aplicación a nivel mundial. Los lodos activados de aireación extendida son una variación del proceso convencional de lodos activados, que básicamente convierte, gran porcentaje de la materia orgánica del efluente, en partículas sólidas, aglutinadas. Como muestra la figura 15, el agua residual ingresa a un proceso de pretratamiento, conformado por rejillas o tamices y desarenadores, para la separación física de los sólidos gruesos y finos, y opcionalmente aceites y grasas, en una trampa de grasas.

Posteriormente, el agua pasa a un estanque de aireación, donde grandes volúmenes de aire son inyectados mediante sopladores e impulsados desde el fondo hacia la superficie, a través de difusores, para mezclar y suspender la materia orgánica y transferir oxígeno a las bacterias que la degradan. Estas bacterias aeróbicas, presentes en este medio rico en nutrientes, se desarrollan rápidamente y forman una masa activa llamada "lodos activados", depurando las aguas residuales y reduciendo la carga orgánica presente en forma eficiente.

El líquido tratado pasa a un estanque de sedimentación secundaria, donde permanece en reposo para favorecer la sedimentación del lodo activado en el fondo del estanque. Una fracción de este lodo sedimentado es recirculada al estanque de aireación, para mantener una concentración, mientras que el resto pasa a un estanque de digestión de lodos, para su estabilización y posterior deshidratación.

Finalmente, para renovar microorganismos patógenos, el agua que sale del estanque de sedimentación debe ser adicionalmente tratado por una etapa de filtración y de desinfección (cloración, luz ultravioleta u ozono, entre los más utilizados), resultando finalmente un efluente clarificado con muy baja concentración de patógenos, por lo que puede ser utilizado en riego.

**FIGURA N° 15:**  
**FLUJOGRAMA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO CON PROCESO DE LODOS ACTIVADOS DE AIREACIÓN EXTENDIDA.<sup>9</sup>**



Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).

<sup>9</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**CUADRO Nº 7:  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LODOS ACTIVADOS.<sup>10</sup>**

<b>LODOS ACTIVADOS</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Este sistema puede implementarse en áreas pequeñas, como bermas centrales de avenidas amplias, óvalos de intersección o parques, con el fin de regar las áreas verdes urbanas, siempre que su mantenimiento y operación sean los adecuados. Como tratamiento secundario la unidad de lodos activados ha demostrado eficiencia en la remoción de la DBO hasta en un 95%.	Requiere de una importante inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento.  Demanda de energía eléctrica para accionar los equipos, lo que eleva notablemente el costo de operación y mantenimiento.
La aireación extendida tiene una mayor eficiencia en el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por lo que el efluente tiene pocos sólidos y se puede utilizar en el riego tecnificado.	El control operacional es especializado y de mayor costo que otras alternativas tecnológicas.
Es un proceso de tratamiento continuo y para un caudal fijo.	
Es un modelo convencional ampliamente probado y difundido.	Es sensible a los cambios de caudal, carga orgánica y temperatura. Requiere siempre un proceso adicional de desinfección, para remover los organismos patógenos.
Generalmente no produce olores desagradables, por ser un proceso aerobio. Es muy apropiado para zonas intraurbanas.	El manejo de lodos debe realizarse en forma permanente.
<b>Recomendaciones</b>	
El programa de operación y mantenimiento deberá ser monitoreado permanentemente para evitar olores desagradables.	
El manejo de lodos debe ser realizado con mucha sincronización para evitar su acumulación, la atracción de vectores y la generación de olores desagradables.	
Se debe tener equipos de reemplazo para evitar la paralización de alguna parte del proceso, lo que inmediatamente determinaría la paralización de toda la planta.	

*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

<sup>10</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

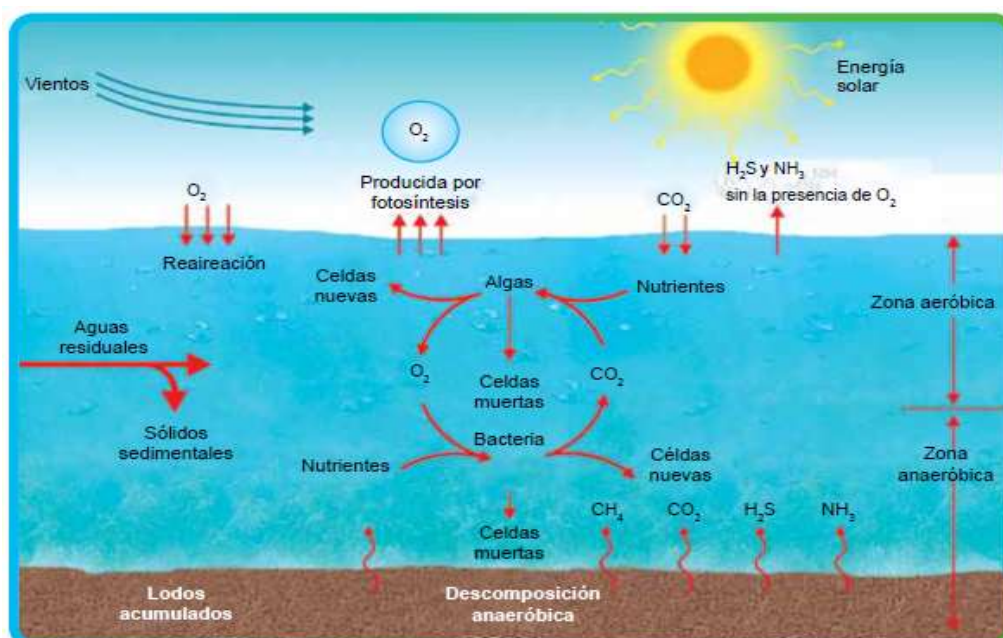
#### 2.4.5.3.4. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de las aguas residuales, mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas y bacterias aeróbicas) y la materia orgánica contenida en esa agua (ver figura 16). El uso de este tipo de tratamiento se recomienda especialmente cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos, sin emplear los métodos de cloración, oxidación, o radiación UV.

Según la norma técnica SO.090, las lagunas de estabilización se clasifican en:

- Lagunas anaerobias
- Lagunas facultativas

**FIGURA N° 16:  
INTERACCIÓN DE BACTERIAS Y ALGAS EN LAS ZONAS  
AERÓBICAS Y ANAERÓBICAS, EN UNA LAGUNA FACULTATIVA  
DE ESTABILIZACIÓN.<sup>11</sup>**



Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)

<sup>11</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.



- **Lagunas facultativas.**

Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas puede ser como laguna única (caso de climas fríos) o seguida de una laguna secundaria o terciaria. También se utiliza como una unidad secundaria, después de lagunas anaerobias o aireadas, para procesar y lograr un mayor grado de remoción de organismos patógenos. El límite de carga orgánica para las lagunas facultativas aumenta con la temperatura.

- **Lagunas anaerobias.**

Generalmente se usan como una primera etapa del tratamiento, cuando la disponibilidad de terreno es limitada, o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales. No es recomendable el uso de este tipo de lagunas en zonas donde la temperatura sea menor a 15°C y haya presencia de alto contenido de sulfatos (mayor a 250 mg/L). Se deberá diseñar un número mínimo de dos unidades en paralelo, para permitir la operación en una de las unidades, mientras se remueve el lodo de la otra. En ningún caso se deberá permitir que el volumen de lodo acumulado supere el 50% del tirante de la laguna.

Los tratamientos de las aguas residuales en las lagunas de estabilización deben ser precedidas por un proceso de pretratamiento, tal como se observa en la figura 17. Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias. Las lagunas que reciben el efluente de las primarias se llaman secundarias, y así sucesivamente. Las lagunas de estabilización se pueden llamar terciarias, cuaternarias, etc.

Normalmente se utilizan dos o tres lagunas en serie. Para el diseño de las lagunas facultativas se tendrá en cuenta la temperatura del agua del mes más frío del año, lo que permitirá calcular la carga superficial de materia orgánica, en kg. de DBO/ha/ día (Demanda bioquímica de oxígeno por

hectárea al día). La remoción de bacterias representadas por los coliformes fecales se estimará utilizando los coeficientes de mortalidad bacteriana establecidos para cada unidad en el modelo hidráulico de flujo disperso. No es aceptable utilizar información deducida del modelo de mezcla completa. Para una adecuada remoción de parásitos, representados por nemátodos intestinales, se requiere un periodo de retención nominal mínimo de 10 días en una de las lagunas. Los parásitos protozoos se retienen impidiendo la salida del agua por rebose.

**FIGURA N° 17:**  
**INFRAESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE PRETRATAMIENTO DE**  
**AGUAS RESIDUALES, DONDE SE OBSERVA UNA REJILLA Y UN**  
**DESARENADOR, DISEÑADOS PARA UNA LAGUNA**  
**FACULTATIVA.<sup>12</sup>**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

<sup>12</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**FIGURA N° 18:**  
**VISTA PANORÁMICA DEL SISTEMA DE LAGUNAS EMPLEADO EN**  
**EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL COLEGIO LA**  
**INMACULADA, CUYO EFLUENTE ES UTILIZADO PARA RIEGO DE**  
**ÁREAS VERDES.<sup>13</sup>**



*Fuente: Colegio la Inmaculada (lima-perú).*

#### **2.4.5.3.5. LAGUNAS AIREADAS.**

Las lagunas aireadas son unidades de tratamiento cuya aplicación debe priorizarse en la fase de tratamiento secundario. Cuando la disponibilidad de terreno es escasa, es importante emplear sistemas de tratamiento primario de mejor eficiencia, previo al empleo de lagunas aireadas. Esto tiene como finalidad reducir el área requerida por estas unidades, además de reducir el consumo de energía eléctrica por disminución de la carga orgánica y por ende menor oxígeno requerido en el proceso de tratamiento.

---

<sup>13</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**FIGURA N° 19:  
SISTEMA DE LAGUNAS AIREADAS QUE EMPLEAN AIREADORES  
MECÁNICOS.**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

Las lagunas aireadas suelen ser diseñadas con profundidades de 1 a 4m. La aireación del agua residual tratada se realiza empleando aireadores mecánicos o dispositivos de aireación por medio de difusores (ver fig. 19).

El empleo de lagunas aireadas, con un enfoque en la ecoeficiencia, busca reducir al máximo el uso de energía eléctrica, por tanto, previo al empleo de este tipo de unidades es importante utilizar los componentes de pretratamiento con rejillas, y desarenador para el retiro de sólidos y material grueso (ver fig. 19 Y 20), al menos un componente de tratamiento primario, entre las opciones disponibles el reactor anaerobio brinda mejores condiciones de eficiencia, también puede emplearse un tanque Imhoff o una laguna anaerobia que permita conformar el sistema integral de tratamiento.

**FIGURA N° 20:**  
**SISTEMA DE LAGUNAS AIREADAS QUE EMPLEA SISTEMA DE**  
**DIFUSORES DE AIRE COMPRIMIDO.**



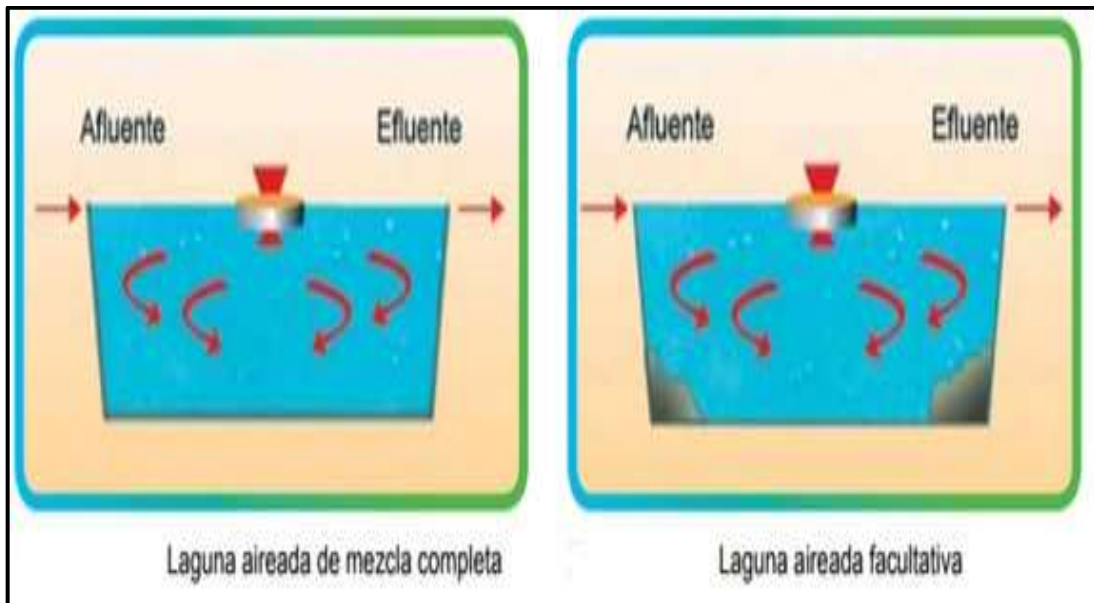
*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

<sup>14</sup>Las lagunas aireadas pueden clasificarse en lagunas de mezcla completa y lagunas aireadas facultativas. En el primer caso, el nivel de turbulencia es suficiente para mantener los lodos en suspensión y oxígeno disuelto en toda la laguna, mientras que en el segundo caso la turbulencia en la laguna es insuficiente, es decir que parte de los lodos sedimentan, produciéndose una descomposición anaeróbica en el fondo, tal como se puede apreciar en las figuras 21.

---

<sup>14</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reusó de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**FIGURA N° 21:  
LAGUNA AIREADA DE MEZCLA COMPLETA Y LAGUNA AIREADA FACULTATIVA.**



Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).

**CUADRO N° 08:  
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS AIREADAS.**

<b>LAGUNAS AIREADAS</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Al igual que el tratamiento de lodos activados con aireación extendida, la eficiencia en el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es alta, por lo que el efluente tiene pocos sólidos y se puede utilizar en el riego tecnificado.	Requieren más área que los sistemas de lodos activados.
	Requieren de una importante inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento.
Es un proceso de tratamiento continuo y para un caudal fijo.	Demanda de energía eléctrica para accionar los equipos, lo que eleva notablemente el costo de operación y mantenimiento.
	El control operacional es especializado y de mayor costo que otras alternativas tecnológicas.
	Es sensible a los cambios de caudal, carga orgánica y temperatura.
	Requiere siempre un proceso adicional de desinfección para remover los organismos patógenos.
	El manejo de lodos debe realizarse en forma permanente.
<b>Recomendaciones</b>	
El programa de operación y mantenimiento deberá ser monitoreado permanentemente para evitar olores desagradables.	
El manejo de lodos debe ser realizado con mucha sincronización para evitar su acumulación, la atracción de vectores y la generación de olores desagradables.	

Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)

### 2.4.5.3.6. REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE <sup>15</sup>(RAFA).

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente, o también conocido como RAFA, es una unidad de tratamiento biológico del tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar, haciendo ingresar el afluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo de la unidad. El agua residual que ingresa asciende, atravesando por un manto de lodos conformado por microorganismos de tipo anaerobio. En la parte superior existe una campana que facilita la separación de la fase líquida y gaseosa, de modo que el efluente clarificado sale hacia el postratamiento. Los tiempos de permanencia son relativamente cortos.

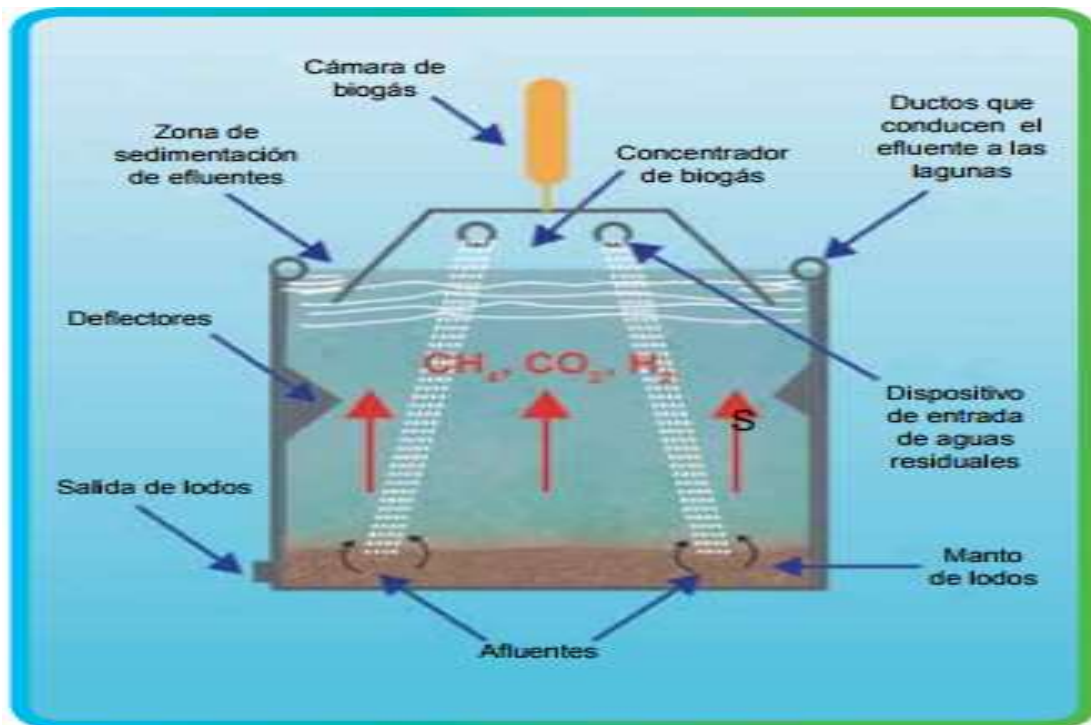
**Cuadro N° 09:  
 VENTAJAS Y DESVENTAJAS REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO  
 ASCENDENTE (RAFA).**

REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
El RAFA es un proceso de tratamiento continuo, con cortos periodos de retención que puede sustituir a la unidad de sedimentación primaria por lo que su afluente es el agua que sale de las operaciones de pretratamiento mediante rejillas y desarenador.	Existe mayor dificultad en el arranque del reactor, siendo necesario inoculación de bacterias anaerobias y control operacional especializado.
Permite el tratamiento de aguas con alta concentración de materia orgánica, reduciendo así el tamaño de cualquier unidad que conforme el sistema posterior de tratamiento, tales como lagunas, biofiltros, sistemas aireados y postratamiento que se adicionen para realizar la remoción de organismos patógenos.	Es un proceso anaerobio muy sensible a cambios bruscos de carga orgánica y temperatura. Por tanto, no se recomienda en lugares con climas fríos extremos.
Bajo condiciones topográficas favorables, no requiere energía para su operación, pues el flujo de agua puede darse por gravedad.	La remoción de organismos patógenos es muy limitada, a menos que se complemente con lagunas de pulimento.
Produce gas metano, que puede ser utilizado como fuente de energía para el alumbrado de la planta e incluso para calentar el propio reactor y favorecer la eficiencia del proceso de digestión anaerobia.	Requiere siempre de un tratamiento posterior, ya que el proceso transforma el nitrógeno orgánico en amoniaco, que es tóxico y su eficiencia apenas remueve la DBO en un 55%.
La extracción de lodos es por presión de los mismos lodos y gases, facilitando su manejo.	No se recomienda para aguas con baja concentración de materia orgánica o aguas diluidas por lluvias. No se recomienda en zonas intraurbanas, debido a que puede causar molestias en la población por olores desagradables.

*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

<sup>15</sup> Manual para Municipios Ecoeficientes. Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales. MINAM/SINIA. Doc. Antonio Brack Egg (Ministro del Ambiente). Lima, Diciembre 2009.

**FIGURA N° 22:**  
**PRINCIPIO DEL SISTEMA RAFA.**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

#### **2.4.5.3.7. EXPERIENCIAS DEL RAFA + POSTRATAMIENTO**

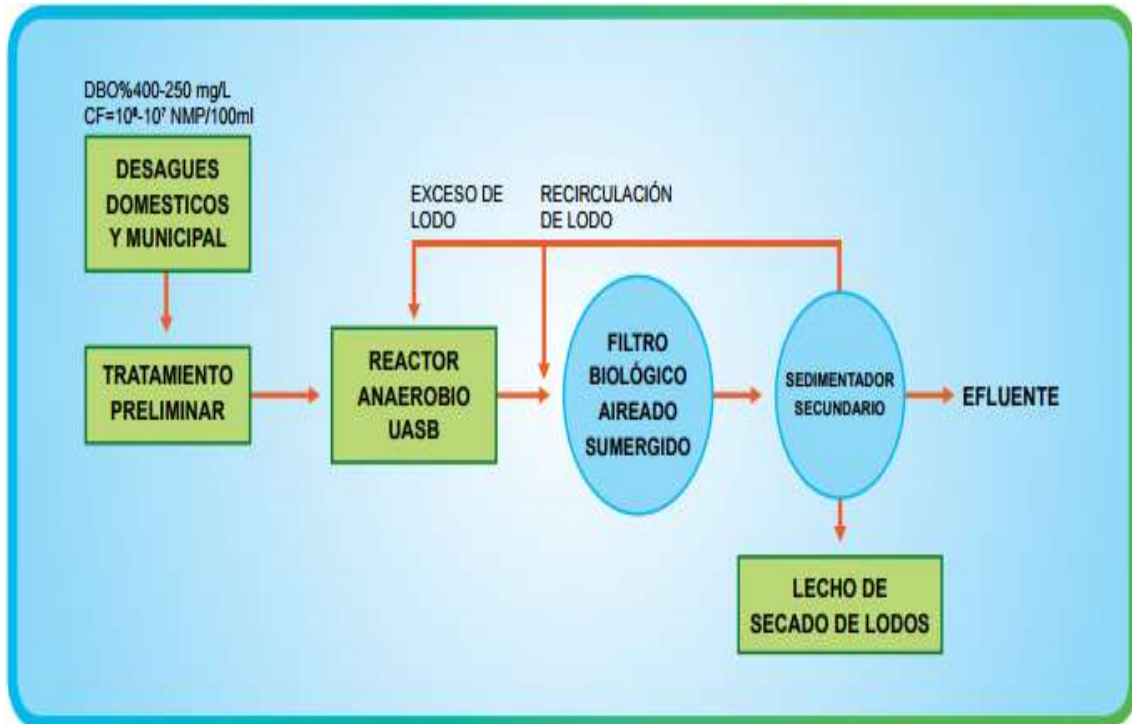
La inclusión del reactor anaerobio UASB en una planta de tratamiento, seguido de unidades de tratamiento biológico, preferentemente aerobio de nivel secundario como lagunas, lodos activados, filtros percoladores u otras alternativas, ha demostrado un mejoramiento importante en la eficiencia del tratamiento en su conjunto. Esta sección describe las experiencias desarrolladas para el tratamiento de aguas residuales, haciendo uso de paquetes tecnológicos que incluyen al RAFA como unidad de tratamiento primario.

**a. RAFA + Biofiltros** Los filtros biológicos, instalados para el pos tratamiento del efluente del RAFA (UASB), han demostrado mejor eficiencia que aquellos que tratan el efluente de sedimentadores primarios simples. El siguiente esquema muestra los niveles de eficiencia logrados con un sistema de RAFA y un filtro biológico de flujo aireado sumergido.



La figura define el circuito de operaciones y procesos de los que consta el sistema de tratamiento utilizado y el cuadro inferior define los alcances de remoción en cada etapa.

**FIGURA N° 23:**  
**FLUJOGRAMA DE TRATAMIENTO CON RAFA Y FILTRO BIOLÓGICO AIREADO**

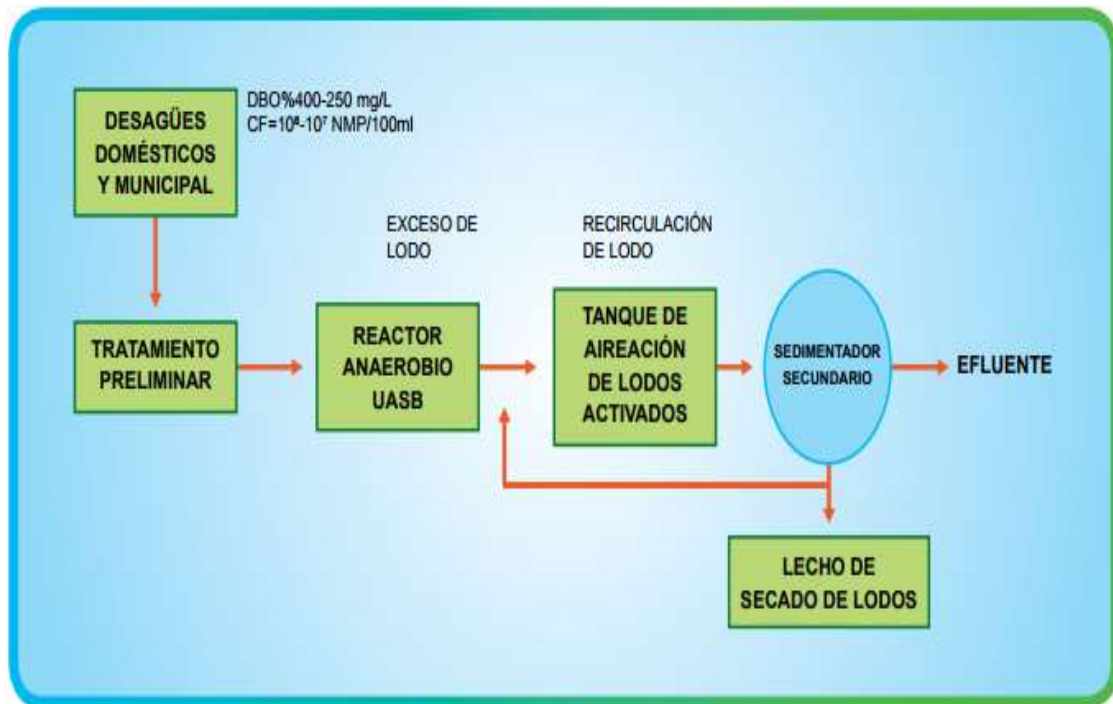


*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

**b. RAFA + Sistema de Tratamiento con Lodos Activados**

Precedido de un reactor anaerobio de manto de lodos como el RAFA, el tratamiento por lodos activados puede reducir el tamaño del tanque de aireación y por ende su requerimiento de energía eléctrica por consumo de oxígeno. Experimentos desarrollados en un programa de investigación del Brasil utilizando sistema de lodo activado como postratamiento demostró lo siguiente:

**FIGURA N° 24:  
FLUJOGRAMA DE TRATAMIENTO EMPLEANDO RAFA Y LODOS  
ACTIVADOS**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental).*

**c. RAFA + Sistema de Tratamiento con Lagunas**

La inclusión del RAFA como parte del sistema de tratamiento de una batería de lagunas, permitirá reducir la extensión de terreno requerido por éstas, ya que la carga orgánica será reducida con mayor eficiencia en la primera etapa del proceso (tratamiento anaerobio), siendo el efluente menos concentrado, aplicado con baja carga al conjunto de procesos posteriores. La figura y cuadros dados a continuación muestran los resultados para el agua residual de las características antes dadas.

**FIGURA N° 25:**  
**FLUJOGRAMA DE TRATAMIENTO EMPLEANDO RAFA Y LAGUNAS FACULTATIVAS SECUNDARIAS Y TERCARIAS**



*Fuente: SINIA (sistema nacional de información ambiental)*

#### **2.4.6. DIGESTIÓN ANAEROBIA FRENTE A DIGESTIÓN AEROBIA.**

Cuando se quiere gestionar un residuo orgánico podemos optar por dos vías para lograr dicho objetivo: buscar tratamientos anaerobios, en ausencia de oxígeno disuelto; o hacerlo mediante tratamientos aerobios, con presencia de oxígeno atmosférico o disuelto en el agua.

Las características básicas de cada uno de estos tratamientos se resumen a continuación:

**CUADRO N°10:  
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS TRATAMIENTOS  
ANAEROBIOS Y AEROBIOS:**

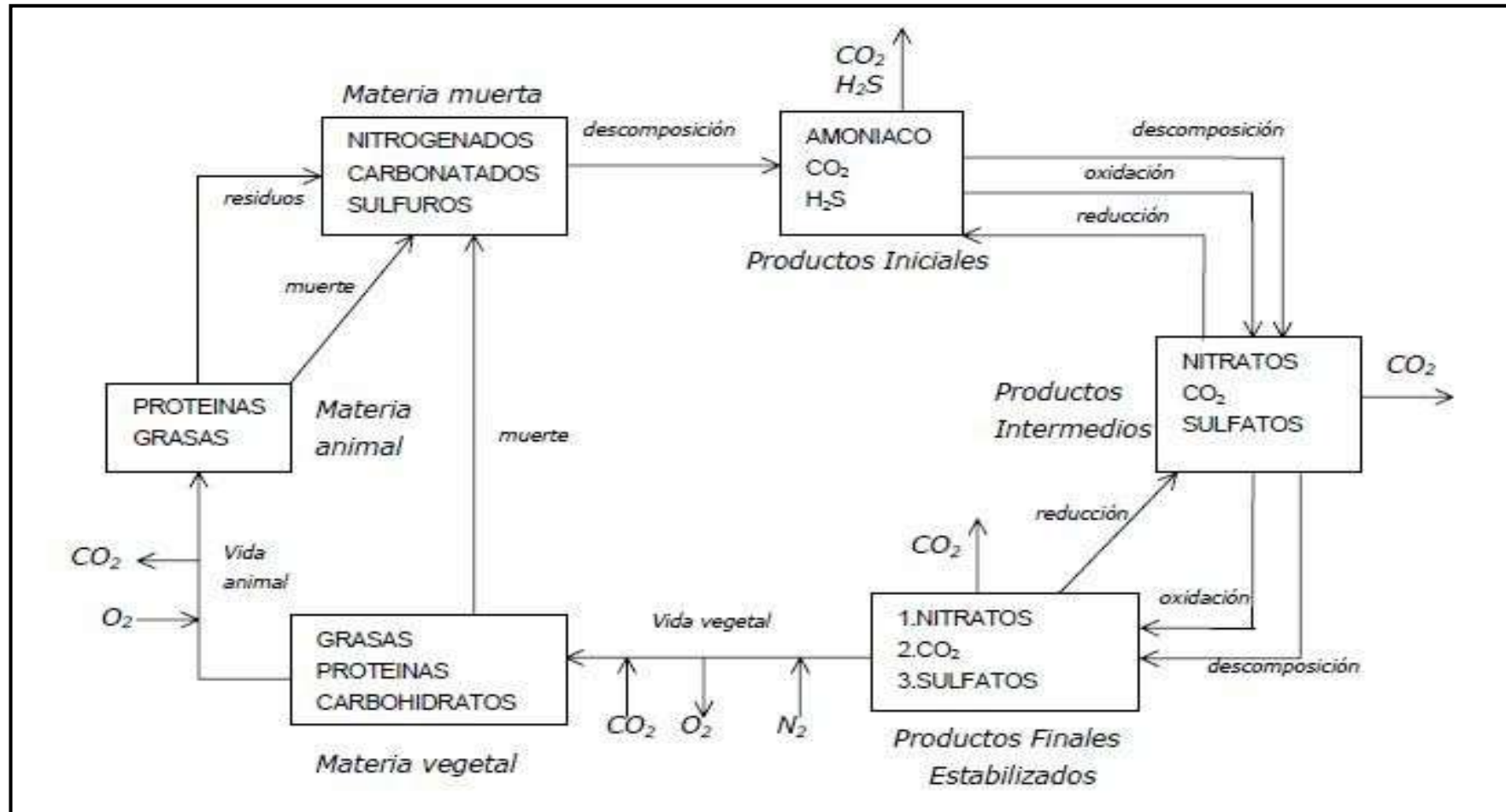
FACTOR	TRATAMIENTO AEROBIO	TRATAMIENTO ANAEROBIO
Proceso de fermentación	Degradación de la materia orgánica a CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, nitratos, sulfatos, fosfatos y biomasa. En presencia de oxígeno molecular.	Degradación paso a paso de la materia orgánica a CO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> , CH <sub>4</sub> , biomasa y, eventualmente, H <sub>2</sub> S. Sin la presencia de oxígeno molecular.
Calidad del sólido digerido	Menor estabilización por un proceso menor de digestión.	Mayor estabilización debido a una mayor digestión de la Materia orgánica.
Crecimiento de microorganismos	Crecimiento muy rápido, poco tiempo de generación, gran producción de biomasa (fango).	Crecimiento lento (metanogénicas), elevado tiempo de generación, poca producción de biomasa (fango).
Necesidad de nutrientes	Mayor	Menor
Condiciones ambientales de los microorganismos	Mucha diversidad de especies, con un amplio espectro de degradación, bajo nivel de especialización, baja Sensibilidad.	Mayor número de grupos de organismos, con condiciones ambientales contrarias, más sensibles a cambios ambientales.
Operatividad	Mayor estabilidad biológica que proceso anaerobio, lo que conlleva un menor control del Proceso.	Biología más conflictiva que Proceso aerobio. Necesidad de control del proceso por Tratarse de un sistema estanco.
Demanda energética	O <sub>2</sub> necesario como receptor de hidrógeno, mayor demanda energética para aireación.	No precisa O <sub>2</sub> como aceptador de hidrógeno, menor demanda energética al no haber aireación.
	Diferencia sensible de nivel	Diferencia energética entre sustrato inicial y producto final

Ganancias energéticas	energético entre sustrato inicial y producto final, capacidad de auto-calefacción por reacción exotérmica, productos finales sin aplicación energética.	baja. Nada o muy poca capacidad de auto –calefacción, productos finales con recuperación energética (metano).
Productos obtenidos	Fertilizante orgánico solido o Compost.	Fertilizante orgánico y biogás Como combustible.
Necesidad de calefacción	Al tratarse de una reacción exotérmica, no precisa de calefacción y puede llevarse a cabo en rangos amplios de Temperatura.	Precisa de calefacción en climas con mínimas anuales Inferiores a los 15°C .
Problemas de olores	Los compuestos no generan problemas de malos olores.	Problemas de malos olores debidos a la producción de H <sub>2</sub> S y mercaptanos.

Fuente: (Jarauta, 2006).

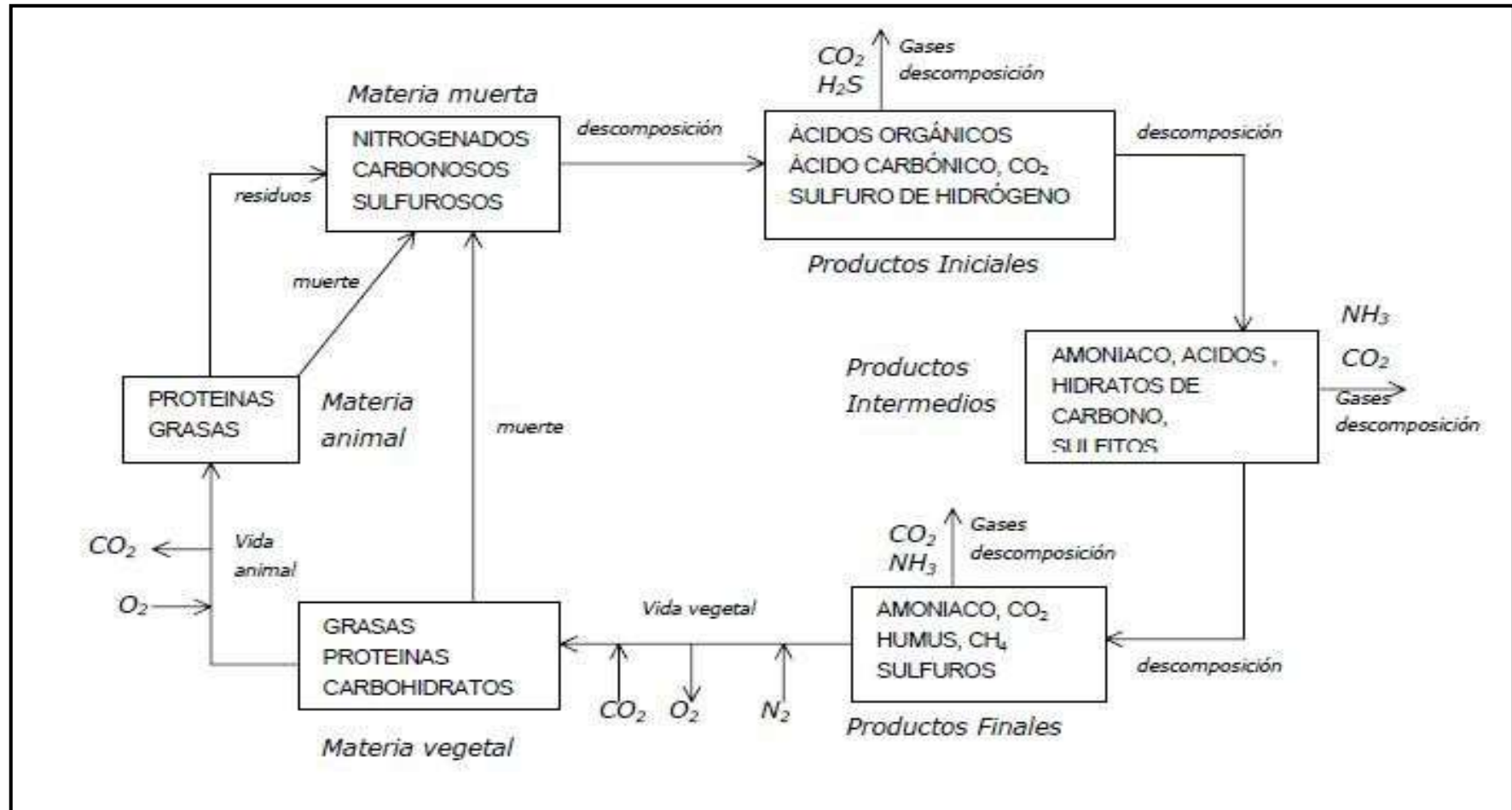
Como se ha comentado, el ciclo aerobio precisa de la presencia de oxígeno, bien sea en el ambiente o disuelto en agua, para que los microorganismos actúen. La materia orgánica se fermenta entonces por un aporte de energía, resultando la reacción exotérmica. Como subproductos finales se obtienen CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, estando dichas sustancias más oxidadas y, por tanto, a un nivel energético menor que en el caso anaerobio. El proceso anaerobio se produce en ausencia de oxígeno molecular, precisando menor cantidad de energía que el caso aerobio, pero siendo su cinética mucho más lenta. Como productos finales obtenemos CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. A continuación, se muestran dos diagramas con los ciclos aerobio y anaerobio. Dicha denominación se aplica únicamente a la parte derecha de dichos diagramas, siendo la izquierda común a ambos procesos y representativa de la materia orgánica necesaria para la vida animal o vegetal:

**FIGURA N° 26:  
CICLO AEROBIO.**



Fuente: (metcalf et. Al., 1973).

**FIGURA N° 27:  
CICLO ANAEROBIO**



Fuente: (metcalf et. Al., 1973).

#### **2.4.6.1. FILTRO ANAEROBIO.**

El filtro anaerobio de flujo ascendente es un proceso de crecimiento adherido, para el tratamiento de residuos solubles. De los sistemas de tratamiento, el filtro anaerobio es el más sencillo de mantener, porque la biomasa permanece como una película microbial adherida y porque como el flujo es ascensional, el riesgo de taponamiento es mínimo. El filtro anaerobio está constituido por un tanque o columna, relleno con un medio sólido para soporte del crecimiento biológico anaerobio. El filtro anaerobio usa como medio de soporte de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, colocados al azar. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes en el medio. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración alta de biomasa y un efluente clarificado. El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento, que el del proceso de crecimiento suspendido y puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y temperatura baja. En el tratamiento de aguas residuales, la filtración es una operación utilizada para remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO y metales pesados.

#### **2.4.7. PRODUCTOS FINALES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.<sup>16</sup>**

##### **2.4.7.1. BIOGÁS.**

El biogás es una mezcla de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y gases en menor proporción como el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La composición del biogás obtenido depende de la materia orgánica digerida y las condiciones del proceso. En la tabla se muestran valores medios de la composición en función de algún sustrato empleados normalmente:

---

<sup>16</sup> Br. Diego Avendaño Allen-Perkins. Tesis para optar al título ingeniero industrial "Diseño y Construcción de un Digestor Anaerobio de Flujo Pistón que trate los residuos generados de una explotación Ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleando tecnologías Apropiadas" Universidad Politécnica de Madrid. Septiembre, 2010.



**CUADRO N° 11:  
COMPOSICIÓN MEDIA DEL BIOGÁS EN FUNCIÓN DEL SUSTRATO  
EMPLEADO.<sup>17</sup>**

<b>Componente</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Unidad</b>	<b>Aguas residuales</b>	<b>Residuos Agrícolas</b>	<b>Gas de vertedero</b>
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	% volumen	65 – 75	45 – 75	45 – 55
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	% volumen	25 – 35	25 – 55	25 – 30
<b>Monóxido de carbono</b>	CO	% volumen	< 0,2	< 0,2	< 0,2
<b>Hidrógeno</b>	H <sub>2</sub>	% volumen	Trazas	0,5	0
<b>Ácido sulfhídrico</b>	H <sub>2</sub> S	mg/Nm <sup>3</sup>	< 8000	10 – 30	< 8000
<b>Amoniaco</b>	NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	Trazas	0,01 – 2,50	Trazas
<b>Nitrógeno</b>		% volumen	3,4	0,01 – 5,00	10 – 25
<b>Oxígeno</b>	O <sub>2</sub>	% volumen	0,5	0,01 – 2,00	1 – 5
<b>Compuestos orgánicos</b>	-	mg/Nm <sup>3</sup>	< 0,1 – 5,0	Trazas	< 0,1 – 5,0

*Fuente: (Dieter D. Et al., 2008).*

Las características principales del biogás, para la composición indicada, se presentan a continuación:

<sup>17</sup> Br. Diego Avendaño Allen-Perkins. Tesis para optar al título ingeniero industrial "Diseño y Construcción de un Digestor Anaerobio de Flujo Pistón que trate los residuos generados de una explotación Ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleando tecnologías Apropiadas" Universidad Politécnica de Madrid. Septiembre, 2010.

**CUADRO N° 12:**  
**CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL BIOGÁS PARA UNA**  
**COMPOSICIÓN PROMEDIO**

<b>Composición</b>	<b>55-70% CH<sub>4</sub></b> <b>30-45% CO<sub>2</sub></b> <b>Trazas de otros gases</b>
<b>Fuel Equivalente</b>	0,60 – 0,65 L fuel/m <sup>3</sup>
<b>Poder calorífico inferior</b>	4200 Kcal/Nm <sup>3</sup>
<b>Limites de explosividad</b>	6 – 12% biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650 – 750 °C
<b>Presión crítica</b>	75 – 89 bar
<b>Densidad normal</b>	1,2 kg/m <sup>3</sup>
<b>Olor</b>	Huevos podridos (por el contenido en ácido sulfhídrico)
<b>Masa molar</b>	16,043 kg/kmol

*Fuente: (Dieter D. Et al., 2008).*

El metano es un gas combustible, incoloro e inodoro cuya combustión produce dióxido de carbono, hidrogeno y agua, con una llama azul característica. Es el componente fundamental del gas natural, ya que puede constituir hasta el 97% del mismo.<sup>18</sup>

Algunas características del metano se resumen a continuación:

<sup>18</sup> Br. Diego Avendaño Allen-Perkins. Tesis para optar al título ingeniero industrial "Diseño y Construcción de un Digestor Anaerobio de Flujo Pistón que trate los residuos generados de una explotación Ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleando tecnologías Apropiadas" Universidad Politécnica de Madrid. Septiembre, 2010.

**CUADRO N° 13:  
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL METANO.**

	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Densidad (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
<b>Punto crítico</b>	-82,59	45,98	0,162
<b>Punto de ebullición a 1,013 bar</b>	-161,52	-	0,4226
<b>Punto triple</b>	-182,47	0,12	-
<b>Poder calorífico inferior</b>	8900 Kcal/Nm <sup>3</sup>		

*Fuente: (Dieter D. Et al., 2008).*

#### **2.4.7.2. BIOL.**

El Biol es el otro efluente del sistema, formado por una mezcla de influente estabilizado y biomasa microbiana producida durante el proceso de digestión anaerobia. Su composición depende del tipo de sistema utilizado y de la materia orgánica alimentada. Resulta un lodo que puede emplearse como mejorador de suelos debido a su alto valor fertilizante.

El Biol producido tiene un contenido en nitrógeno de 2 a 3%, de fosforo de 1 a 2%, de potasio en torno al 1%, y un 85% de materia orgánica, con un pH de 7,5.

## 2.4.8. PROCESOS MICROBIOLÓGICOS Y QUÍMICOS.

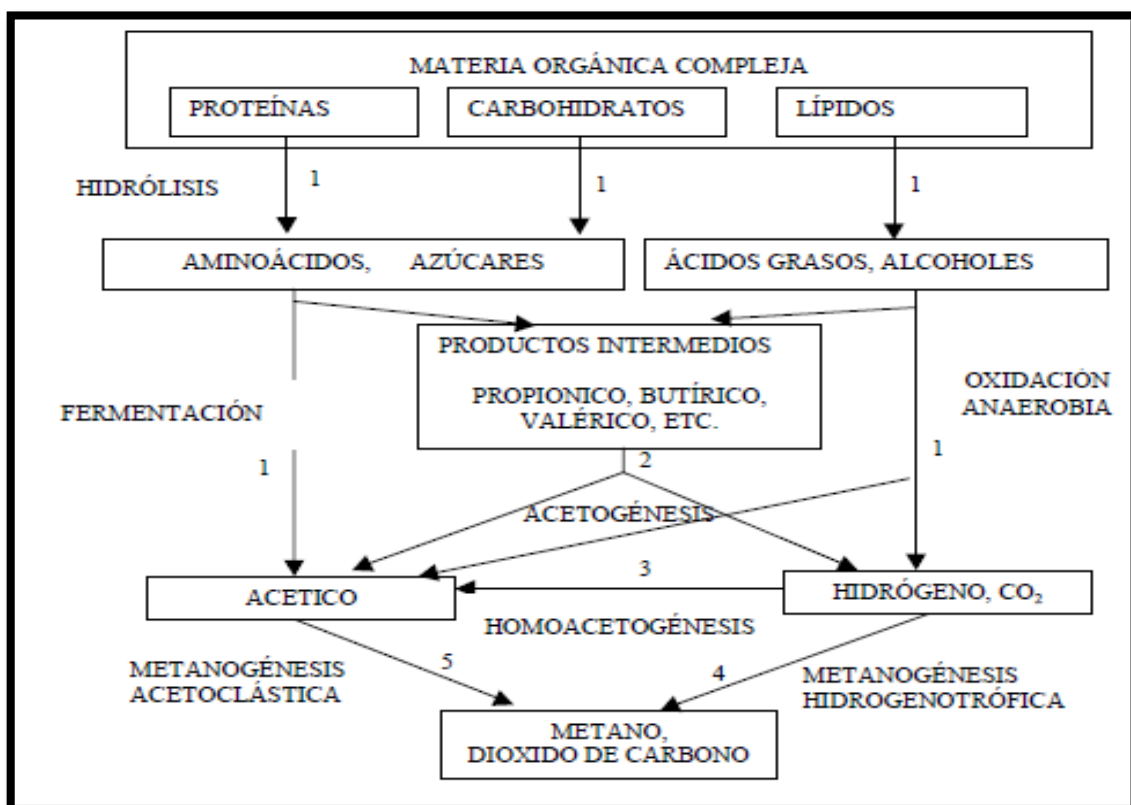
La formación de metano es un proceso complejo que puede dividirse en cuatro etapas:

- ❖ Hidrólisis.
- ❖ Acidogénesis.
- ❖ Acetogénesis.
- ❖ Metanogénesis

En cada una de estas fases intervienen diferentes tipos de microorganismos, relacionados entre sí, pero que necesitan de distintas condiciones en el entorno.

En la siguiente figura se observan las distintas fases de degradación de la materia orgánica durante la digestión anaerobia:

**FIGURA N°28:**  
**DEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA**



Fuente: (Pavlostathis, S.G. Et al., 1991)

#### **2.4.8.1. HIDRÓLISIS.**

En esta primera fase los compuestos orgánicos complejos se disocian en monómeros más sencillos, tales como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos volátiles de bajo peso y alcoholes, debido a la acción de exoenzimas como la hidrolasa. Así, se permite que las bacterias puedan asimilar la materia orgánica como fuente de nutrientes.

El grado de hidrólisis y la cinética del proceso dependen de varios factores, entre los que destacan el pH, la temperatura, la concentración de biomasa hidrolizable, el tipo de materia orgánica y el tamaño de partícula.

Las proteínas son hidrolizadas por proteasas en proteasas, peptonas, péptidos y aminoácidos.

La degradación de lípidos consiste en una ruptura inicial de las grasas por un grupo de enzimas hidrológicas (lipasas) en los correspondientes ácidos grasos de cadena larga y moléculas de glicerol o galactosa.

La hidrólisis de carbohidratos tiene lugar en unas pocas horas; la de proteínas y lípidos tarda varios días.

La tasa de hidrolisis suele aumentar con la temperatura independientemente del compuesto tratado.

Los principales inhibidores del proceso son aquellos que afectan a la población bacteriana. Se pueden destacar la concentración total de ácidos grasos volátiles, y la concentración de oxígeno y nitrato.

#### 2.4.8.2. ACIDOGÉNESIS.<sup>19</sup>

Los monómeros obtenidos en la fase anterior son degradados durante la fase acidogénica a ácidos de cadena corta (de uno a cinco átomos de carbono en su estructura), alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono.

El producto final de esta degradación depende de la concentración de H<sub>2</sub>, estando esta etapa relacionada con la termodinámica del proceso: a mayor presión parcial de hidrógeno, menor será la cantidad de compuestos orgánicos reducidos que se formen.

Las principales rutas metabólicas del proceso son:

**Fermentación de Carbohidratos Solubles:** degradación de glucosa en ácidos grasos volátiles (AGV), H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

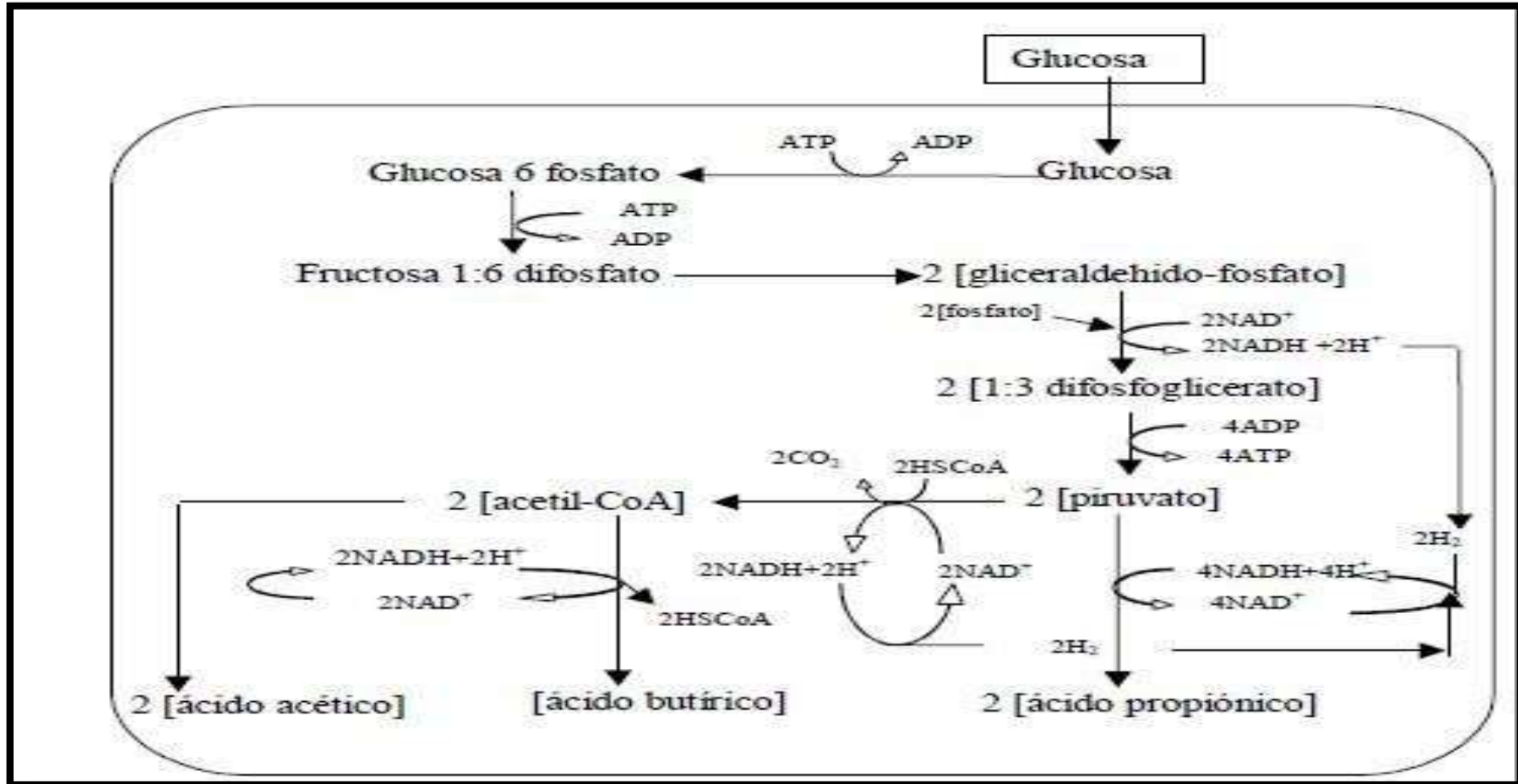
**Fermentación de aminoácidos:** los principales productos de la fermentación de aminoácidos y demás compuestos nitrogenados son ácidos grasos de cadena corta e H<sub>2</sub>.

Los principales inhibidores son el hidrógeno y, en menor medida, el ácido acético, junto con el pH.

---

<sup>19</sup> Br. Diego Avendaño Allen-Perkins. Tesis para optar al título ingeniero industrial "Diseño y Construcción de un Digestor Anaerobio de Flujo Pistón que trate los residuos generados de una explotación Ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleando tecnologías Apropiadas" Universidad Politécnica de Madrid. Septiembre, 2010.

**FIGURA N° 29:  
SIMPLIFICACIÓN DE LAS RUTAS METABÓLICAS DE DEGRADACIÓN DE LA GLUCOSA POR LA ACCIÓN DE  
BACTERIAS ACIDOGÉNICAS**

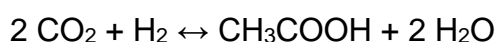


Fuente: (Campos, 2001).

### **2.4.8.3. ACETOGÉNESIS.**

Los productos obtenidos en la fase anterior sirven como sustrato para las bacterias que intervienen durante la citogénesis. Algunos productos resultantes de la fermentación anterior pueden ser metabolizados directamente por organismos metanogénicos; otros, como el Valeriano, butirato, propionato y algunos aminoácidos, deben ser transformados en productos más sencillos, acetato e hidrógeno, a través de las bacterias acetilénicas.

Existe un tipo especial de microorganismos, los llamados homoacetogénicos, que consumen el H<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> y producen ácido acético, según:



Alrededor del 30% de la producción de metano puede ser atribuida a la reducción del CO<sub>2</sub> por el H<sub>2</sub>; solo alrededor del 5% de dicha producción puede atribuirse al H<sub>2</sub> disuelto.

Esta etapa limita el grado de descomposición que es esperable en la siguiente fase.

#### **2.4.8.3.1. ACETOGÉNESIS ACIDOCLÁSTICA.**

Como se ha comentado, en la fase anterior la concentración de hidrógeno puede conducir a ácidos diferentes al ácido acético, los cuales deben ser transformados como paso previo a su conversión en metano, proceso que ocurre en esta etapa.

#### **2.4.8.3.2. ACETOGÉNESIS HIDROGENOCLÁSTICA.**

Se produce la conversión a ácido acético del hidrógeno producido durante la citogénesis ácido clástica, buscando que los niveles de H<sub>2</sub> sean adecuados para que el proceso no se vea afectado.



Las principales reacciones acetilénicas se recogen a continuación:

**CUADRO N°14:  
PRINCIPALES REACCIONES DURANTE LA ACETOGÉNESIS.**

<b>REACCIONES ACETOGÉNICAS</b>	<b><math>\Delta G_o</math> (kJ)</b>
<b>ETANOL Y LÁCTICO</b>	
$CH_3CH_2OH + H_2O \rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 2 H_2$	- 4,2
$Lactato^- + 2 H_2O \rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 2 H_2 + HCO_3^-$	+ 9,6
<b>ACIDOS GRASOS</b>	
$CH_3COO^- + 4 H_2O \rightarrow H^+ + 4 H_2 + 2 HCO_3^-$	+ 104,6
$Popionato^- + 3 H_2O \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 3 H_2$	+ 76,1
$Butirato^- + 2 H_2O \rightarrow 2 CH_3COO^- + H^+ + 2 H_2$	+ 48,1
$Valerato^- + 2 H_2O \rightarrow 2 CH_3COO^- + H^+ + 2 H_2$	+ 96,2
$Valerato^- + 3 H_2O \rightarrow 3 CH_3COO^- + 2 H^+ + 4 H_2$	
<b>AMINOACIDOS</b>	
$Alanina + 3 H_2O \rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2 H_2$	+ 7,5
$Aspartato^- + 4 H_2O \rightarrow CH_3COO^- + 2 HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2 H_2$	- 14,0
$Leucina + 3 H_2O \rightarrow Isovalerato^- + HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2 H_2$	+ 4,2
$Glutamato^- + 3 H_2O \rightarrow Isovalerato^- + HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2 H_2$	- 5,8
$Glutamato^- + 4 H_2O \rightarrow Popionato^- + 2 HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2 H_2$	+ 10,3
$Glutamato^- + 7 H_2O \rightarrow 3 CH_3COO^- + HCO_3^- + 3 NH_4^+ + H^+ + 5 H_2$	

Fuente: (Stams, 1994).

#### 2.4.8.4. METANOGÉNESIS.

Durante la metanogénesis se completa la transformación comenzada en la etapa anterior, produciéndose alrededor del 70% del CH<sub>6</sub> total.

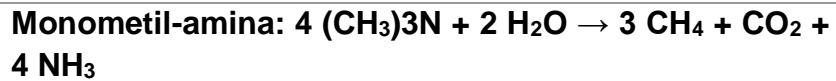
Se distinguen dos grandes grupos bacterianos en función del sustrato principal:

- ❖ **Hidrogenotróficos:** Consumen hidrógeno y ácido fórmico.
- ❖ **Acetoclásticos:** Consumen grupos metilo del acetato, metanol y algunas aminas.

Las principales reacciones durante la metanogénesis se recogen a continuación.

**CUADRO N° 15:  
PRINCIPALES REACCIONES DURANTE LA METANOGÉNESIS**

REACCIONES HIDROGENOTRÓFICAS	ΔGO (KJ)
4 H <sub>2</sub> + H <sup>+</sup> + 2HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> → Acetato + 4 H <sub>2</sub> O	- 104,6
4 H <sub>2</sub> + S → 4 HS <sup>-</sup> + 4H <sup>+</sup>	- 112
4 H <sub>2</sub> + 2 HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sup>+</sup> → CH <sub>4</sub> + 3 H <sub>2</sub> O	- 135,6
4 H <sub>2</sub> + H <sup>+</sup> + 4 SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> → HS <sup>-</sup> + 4 H <sub>2</sub> O	- 151,9
4 H <sub>2</sub> + 4 Fumarato → 4 Succinato	- 344,6
4 H <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 2 H <sup>+</sup> → NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + 3 H <sub>2</sub> O	- 599,6
<b>INTERCONVERSIÓN FORMATO – HIDRÓGENO</b>	
H <sub>2</sub> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> → Formato + H <sub>2</sub> O	- 1,3
<b>METANOGÉNESIS ACETOCLÁSTICA</b>	
Acetato + H <sub>2</sub> O → HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	- 31,0
<b>METANOGÉNESIS A PARTIR DE OTROS SUSTRATOS</b>	
Formico: 4 HCOOH → CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	
Metanol: 4 CH <sub>3</sub> OH → 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	
Trimetil-amina: 4 (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N + 6 H <sub>2</sub> O → 9 CH <sub>4</sub> + 3 CO <sub>2</sub> + 4 NH <sub>3</sub>	
Dimetil-amina: 2 (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH + 2 H <sub>2</sub> O → 3 CH <sub>4</sub> + CO <sub>2</sub> + 2 NH <sub>3</sub>	



*Fuente: (Stams, 1994).*

#### **2.4.9. MATERIA PRIMA EMPLEADA.**

La materia prima empleada en los procesos de digestión anaerobia es enormemente variada, dependiendo en gran medida de las características del medio donde nos encontremos. Así, las tecnologías a emplear, aunque cuenten con características similares, serán diferentes según el tipo de materia prima considerada.

En general, se puede decir que todos los compuestos orgánicos tienen la capacidad de ser degradados mediante procesos anaerobios, debido a que se componen principalmente de carbohidratos, proteínas, grasas y celulosas. Aun así, se deberán tener en cuenta algunas consideraciones generales:

- ❖ El contenido de nutrientes debe ser apropiado para el proceso de fermentación seleccionado.
- ❖ El sustrato debe estar libre de patógenos y demás organismos perjudiciales que pudieran actuar como inhibidores del proceso fermentativo.
- ❖ La composición del biogás obtenido deberá ser adecuada para sus usos futuros.

La composición del Biol resultante deberá tener una composición que haga adecuado su uso como fertilizante.

La Lignina, polímero que es uno de los principales constituyentes de las paredes celulares del reino de las plantas, junto con otros polímeros orgánicos sintéticos, se degrada de forma muy lenta.

#### **2.4.9.1. ESTIÉRCOL LÍQUIDO Y CO – SUSTRATO.**

La mayoría de plantas de biogás emplean estiércol líquido como materia prima, a menudo combinado con otros sustratos para incrementar la producción de biogás.

Este sustrato puede contener forraje y paja de los lechos de los animales, elementos que pueden ser procesados en el digestor; pero también otros, tales como arena, aserrín, trozos de piel y restos de pelo, junto con cordones, plásticos, piedras, etc. que deben ser tratados durante el proceso.

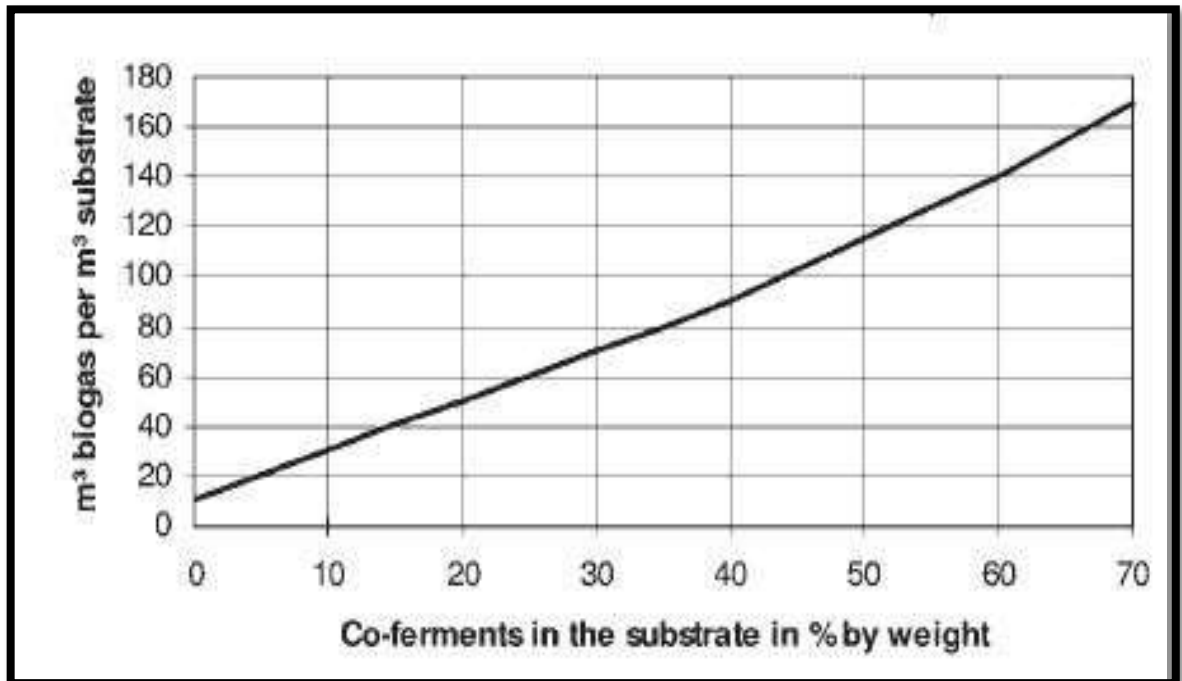
La presencia de estos últimos elementos provoca que aumente la complejidad y costo de la operación, pudiéndose formar espumas como consecuencia de su entrada en el sistema.

En general, la presencia de ácidos orgánicos, antibióticos y desinfectantes encontrados en el estiércol líquido puede interrumpir el proceso fermentativo, junto con la presencia de Cobre y Zinc, derivados de los aditivos añadidos a la alimentación de los animales, que pueden resultar en una limitación en la producción de biogás.

El grado de descomposición de las sustancias depende del origen de estas. Cuanto mayor sea esta descomposición mayor será el contenido de Amoníaco en comparación con el sustrato sin tratar.

Con la adición de co-sustratos al estiércol líquido se logra aumentar la producción de biogás, siempre que los sustratos añadidos no contengan elementos patógenos y no presenten riesgos para el proceso o la salud, ni para el futuro uso del Biol como fertilizante en el abono de tierras, vigilando que el contenido de Nitrógeno final no sobrepase los límites legales.

**FIGURA N° 30:**  
**INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR LA ADICIÓN**  
**DE CO-SUSTRATOS AL ESTIÉRCOL LÍQUIDO.**



*Fuente: (Dieter D. Et al., 2008).*

#### **2.4.9.2. AGUAS RESIDUALES Y CO-SUSTRATOS.**

La degradación anaerobia de aguas residuales suele llamarse estabilización o digestión en la literatura especializada, encontrándose una gran cantidad de información gracias a la extensa bibliografía existente sobre el tema.

#### **2.4.9.3. RESIDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS ASIMILABLES URBANOS.**

Alrededor del 40 al 50 % de la basura generada en ambientes domésticos corresponde a residuos biodegradables. De estos, aproximadamente la mitad pueden ser fermentados en los digestores.

Estos residuos dependen fundamentalmente de la localización donde se recojan, la estacionalidad y nivel de vida de la población.

#### **2.4.9.4. RESIDUOS AGRÍCOLAS.**

A menudo estos materiales son quemados sin obtener ninguna valorización energética, junto con la emisión de los gases contaminantes que provoca su combustión.

Su empleo en plantas de biogás es muy recomendable con la particularidad de que al contener materiales lignocelulosas, sustancias difícilmente fermentables, es necesario emplear un pre tratamiento para su uso como materia prima.

#### **2.4.9.5. RESIDUOS DE VERTEDERO.**

Hasta el comienzo de la década de 1990, la mayoría de residuos que se generaban en las ciudades terminaban depositados en vertederos. La degradación de dichos residuos en estas condiciones es extremadamente lenta, pudiéndose necesitar de 20 a 40 años en el caso de materiales biodegradables.

El biogás resultante de esta fermentación se recogía en pequeños depósitos, conteniendo este un gran nivel de elementos tóxicos y corrosivos en su composición, lo que aumentaba el riesgo de explosión.

Se precisa un tratamiento adecuado que capte, almacene y trate el biogás generado junto con los lixiviados producidos por los residuos depositados en el vertedero.

#### 2.4.9.6. OTROS.

##### 2.4.9.6.1. GRASAS Y ACEITES.

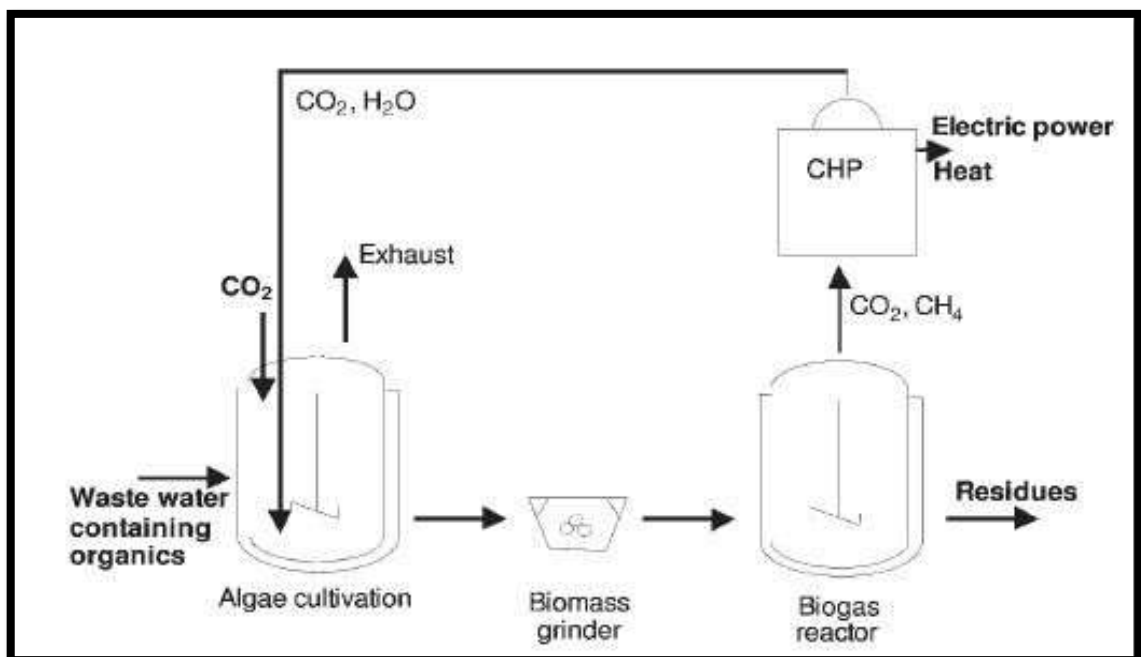
Debido a la gran cantidad de grasas y aceites generados en los procesos industriales, estos pueden ser aprovechados en los procesos anaerobios siempre que no se empleen como sustratos y su fermentación se realice en plantas separadas para evitar los altos costos de limpieza y mantenimiento.

##### 2.4.9.6.2. CULTIVOS DE ALGAS.

Las microalgas obtienen sus necesidades de carbón para la fotosíntesis del  $\text{CO}_2$  existente en el aire atmosférico, junto con sus necesidades energéticas a través de la radiación solar.

Este sustrato puede depositarse en grandes superficies tales como: Tejados, paredes o también la superficie marina.

**FIGURA N° 31:**  
**PLANTA DE BIOGÁS A PARTIR DEL CULTIVO DE ALGAS**



Fuente: (Dieter D. Et al., 2008).

Se alimenta la planta con agua y gran cantidad de residuos orgánicos, los cuales se ponen en contacto con el cultivo de algas; la población de algas crece entonces muy rápidamente. Una parte de esta población es continuamente retirada del tanque y bombeada al reactor para producir CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> durante la metanización, enviándose a un moto generador (CHP en la figura) que genera calor y electricidad por cogeneración, recirculándose los gases no consumidos al volumen que contiene el cultivo de algas.

#### **2.4.9.6.3. PLANCTON.**

La obtención de biogás a partir del plancton, es un proceso viable económicamente. En el Mar Árabe se forman cantidades apreciables de biogás en profundidades de hasta 200 m a través de las bacterias anaerobias, sin presencia de plancton junto con las bacterias intestinales que se encuentran en el plancton ingerido por los animales.

#### **2.4.9.6.4. CO-DIGESTIÓN.**

La co-digestión es el tratamiento conjunto de dos o más sustratos de diferente origen, buscando una complementariedad en las composiciones que permitan perfiles de proceso más eficaces, junto con una amortiguación de las variaciones temporales de composición y producción de cada residuo por separado y una reducción de costos de explotación e inversión. La ventaja principal radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando la carencia de cada uno de los sustratos por separado, resultando una metodología exitosa en su aplicación.

Se han conseguido buenos resultados en mezclas de residuos ganaderos con residuos de la industria cárnica, tales como: grasas; en la co-digestión de lodos de depuradora con la fracción orgánica de los residuos urbanos; y en la co-digestión de fangos depuradora con residuos de frutas y verduras.



## **CAPITULO III**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.1. TIPO, NIVEL.**

##### **3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

El tipo de investigación que se realizó en este proyecto de tesis es de carácter, Aplicada y experimental.

##### **3.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.**

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio explicativo, por cuanto el propósito de la investigación es determinar la eficiencia del reactor RAFA.

#### **3.2. MÉTODO.**

El enfoque de la presente investigación es de carácter cuantitativo que aborda el análisis de la problemática utilizando datos ya existentes, también observación Directa, porque se recolectó información de fuentes propias y secundarias.

### **3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

La presente investigación se considera descriptiva, explicativa y experimental, en el cual se someterlo a pruebas y se realizará observación en su estado natural de las actuales condiciones ambientales del RAFA buscando describirlas.

### **3.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **3.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.**

Si se construye un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el Asentamiento Humano San Valentín, Castilla, Piura; se podrá darle tratamiento a las aguas residuales domésticas, contribuyendo con la mejora y cuidado del medio ambiente

#### **3.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.**

**HE1:** Si se diseña un reactor anaerobio de flujo a ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el Asentamiento Humano San Valentín, Castilla, Piura, se podrá tener una guía base.

**HE2:** Si se realiza la construcción del proyecto del reactor, se podrá comprobar la viabilidad y eficacia del reactor que servirá como antecedentes para futuras investigaciones.

**HE3:** Si se ejecuta un monitoreo de la calidad del agua, Se podrá determinar su proceso de evolución emitida por el reactor anaerobio de flujo a ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

### **3.5. VARIABLES.**

#### **3.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTE.**

- Construir un reactor anaerobio de flujo a ascendente.

#### **3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE.**

- realizar el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

### **3.6. COBERTURA DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN.**

#### **3.6.1. UNIVERSO.**

El universo de estudio del presente trabajo corresponde al Asentamiento Humano San Valentín Castilla- Piura en el propio domicilio.

#### **3.6.2. POBLACIÓN.**

En el presente trabajo de investigación de investigación se considera a la población de estudio para el trabajo de investigación viene dada por los equipos que utilizan para el tratamiento del agua residual doméstica. (reactor RAFA).

#### **3.6.3. MUESTRA.**

Para el presente estudio se tomó de muestra de los registros del y análisis del laboratorio fisicoquímicos y microbiológicos, también el inventario de los equipos que se utilizaron.

### **3.7. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

#### **3.7.1. TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN.**

La recopilación de información será realizó de la siguiente manera.

- ✓ Obtención de muestras de aguas residuales domésticas.
- ✓ Observación de dichas muestras.

- ✓ Experimental.
- ✓ Interpretación de datos obtenidos.
- ✓ Análisis y comparación de datos.
- ✓ Monitoreo de la calidad del agua.

### **3.7.2. INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

Como parte de los instrumentos a utilizar son:

- ✓ Observación de campo
- ✓ Libreta de campo
- ✓ Cámara fotográfica digital.
- ✓ Resultado del monitoreo de aguas residuales domésticas.
- ✓ Computadora portátil Core i3.
- ✓ LMP para aguas residuales domésticas.
- ✓ ECAs para aguas residuales domésticas.

### **3.7.3. FUENTES DE RECOLECCIÓN DE DATOS.**

- ✓ Libreta de campo.
- ✓ Resultado del monitoreo de aguas residuales domésticas
- ✓ LMP para aguas residuales domésticas.
- ✓ ECAs para aguas residuales domésticas.
- ✓ Observación de dichas muestras.
- ✓ Experimental.
- ✓ Interpretación de datos obtenidos.
- ✓ Análisis y comparación de datos.

## **3.8. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN.**

### **3.8.1. ESTADÍSTICOS.**

Las medidas estadísticas que se va a emplear para este proyecto de investigación, son útiles para encontrar indicadores representativos de un conjunto de datos, tales como la media, la mediana y la moda. Dentro de estos métodos he creído conveniente tomar solo la media aritmética,

también como medida estadística, ya que se realizará monitoreos de la calidad del agua residual durante las etapas del proceso.

**Media Aritmética:** Medida de tendencia central que se define como el promedio o media de un conjunto de observaciones o puntuaciones. En aquellas situaciones en que la población de estudio es pequeña suele utilizarse la media poblacional mediante la expresión:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N Xi}{N}$$

- $\mu$  = media poblacional
- $\Sigma Xi$  = Sumatoria de las puntuaciones
- $N$  = Número de casos

### 3.8.2. REPRESENTACIÓN.

La información obtenida en los análisis de laboratorio del monitoreo de aguas residuales domésticas, se representó mediante gráficos de manera general y cuadros; además comparando los estándares de calidad (Ecas) y los límites máximos permisibles (LMP).

## **CAPITULO IV**

# **ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS**

### **4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.**

#### **4.1.1. RESULTADOS PARCIALES.**

##### **4.1.1.1. INFORME DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

###### **4.1.1.1.1. GENERALIDADES.**

La República del Perú, es un país situado en la parte central de la costa del Pacífico de Sudamérica. Limita con Ecuador y Colombia al norte, con Brasil al este (estados de Amazonas y Acre), con Bolivia al sureste, Chile al sur y con el océano Pacífico al oeste. La capital de Perú es Lima, su superficie 1.285.215,6 km<sup>2</sup>, las fronteras tienen una longitud de 5.536 km y sus costas 3.080 km. La moneda es el nuevo sol y el uso horario UTC-5. Es un país grande y variado que acoge en su suelo desde la selva amazónica, hasta los desiertos de la costa, desde las llanuras a las alturas andinas.

**FIGURA Nº 32:  
MAPA DEL PERÚ**



Fuente: google

La región costera abarca 136.232,85 km<sup>2</sup> (10,6%), la región andina 404.842,91 km<sup>2</sup> (31,5%) y región amazónica 754.139,84 km<sup>2</sup> (57,9%). En el extremo septentrional del territorio peruano se encuentra el río Putumayo a 0° 02' 00" latitud sur, el extremo meridional se encuentra a orillas del mar en Tacna, a 18° 21' 00" latitud sur; el extremo oriental está en el río Heath en Madre de Dios a 68° 39' 00" longitud oeste y el extremo occidental se encuentra en Punta Balcones en Piura a 81° 19' 35".

Los límites totales según su mayor o menor longitud, son:

- ❖ Límite Perú-Brasil: 2.822,496 km desde la boca del río Yavarí hasta la boca del río Yaverija en el bvacre.
- ❖ Límite Perú-Ecuador: 1.528,546 km desde la boca del río Capones hasta la boca del río Güepí en el río Putumayo.
- ❖ Límite Perú-Colombia: 1.506,06 km desde la boca del río Güepí hasta la confluencia del río Yavarí con el río Amazonas.
- ❖ Límite Perú-Bolivia: 1.047,160 km desde la boca del río Yaverija en el Acre hasta la meseta de Ancomarca, en 17° 29' 57" de latitud sur y 69° 28' 28" de longitud oeste.

❖ Límite Perú-Chile: 169 km, desde la meseta de Ancomarca, en 17° 29' 57" de latitud sur y 69° 28' 28" de longitud oeste hasta el punto denominado Concordia en la orilla de playa / Hito No 1 en el océano Pacífico en 18° 21' 03" latitud sur y 70° 22' 56" de longitud oeste.

Las islas peruanas se encuentran muy cerca de la costa: Lobos de Tierra, Lobos de Afuera, Macabi, Guañape, Chao, Santa, Ferrol, La Viuda, Chiquitin, Mazorca, San Gallán e Independencia. La línea de la costa es notablemente rectilínea por lo que sólo se distinguen unos pocos cabos, como: Pariñas, Hereda, Negra, Guañape, Salinas, Carreta, península de Paracas y Sanjuan; y algunas bahías como: Patia, Sechura, Paracas, Caballos, San Nicolás y San Juan.

Perú ha tenido una historia convulsa, con enormes problemas sociales y de casi guerra civil durante gran parte de la segunda mitad del siglo XX, lo que ha condicionado su geografía. En la actualidad está en un proceso de estabilización muy prometedor.

La República del Perú es un Estado unitario presidencialista y descentralizado, organizado según la constitución de 1993. En ella se establece la separación de poderes en tres sectores diferenciados e independientes. Además, se establecen otros organismos de funciones específicas independientes de los tres poderes del Estado como el Ministerio Público o el Sistema Electoral.

El Poder Ejecutivo es ejercido en tres niveles: Nacional, regional y local. El gobierno de la nación, es ejercido por el presidente de la República, elegido por un período de cinco años; el jefe de Estado que se ocupa exclusivamente de la defensa nacional; y el consejo de ministros, nombrados por el Presidente.

El Poder Legislativo reside en el Congreso de la República, una cámara única de 120 miembros elegidos por voto democrático por un período de cinco años.



El Poder Judicial está constituido por una organización jerárquica de instituciones:

- ❖ La Corte Suprema (con sede en Lima).
- ❖ Las Salas Superiores en la sede de cada distrito judicial.
- ❖ Los Juzgados de primera instancia en cada provincia.
- ❖ Los Juzgados de Paz en cada distrito.

Otras instituciones autónomas controlan y supervisan la acción de Estado son:

- ❖ El Tribunal Constitucional
- ❖ El Consejo Nacional de la Magistratura
- ❖ El Ministerio Público
- ❖ La Contraloría General de la República
- ❖ La Defensoría del Pueblo.

El territorio peruano está subdividido en departamentos y provincias, estos últimos compuestos por distritos. El Perú se encuentra en un proceso de regionalización, por el cual se planea la creación de regiones mediante la fusión de departamentos.

#### **4.1.1.1.1. SECTOR AGROPECUARIO EN EL PERÚ**

El Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) estimó hoy un crecimiento de 2% en el PBI agropecuario de este año, un resultado mayor al 1,4% de aumento logrado en el 2013, pero que aun así se ubica muy por debajo de su tendencia de largo plazo (4,2%).

Para los años 2015 y 2016 se prevén tasas de 3,5% y 3,8%, respectivamente.

"Las proyecciones del PBI agropecuario nos señalarían que recuperaremos la tendencia de largo plazo que es alrededor de

4,2%", manifestó el titular del Minagri, Juan Manuel Benites, ante la Comisión Agraria del Congreso.

"El crecimiento de 6% del PBI de la economía total generará un aumento en la capacidad adquisitiva local, impulsando la demanda interna por alimentos. En el panorama internacional se prevé mayores precios agrícolas y un crecimiento de la demanda mundial".

Asimismo, proyectó que para este año las exportaciones agropecuarias llegarán a US\$ 5.135 millones, subiendo a US\$ 6.008 millones en el 2015 y US\$ 7.030 millones en el 2016.

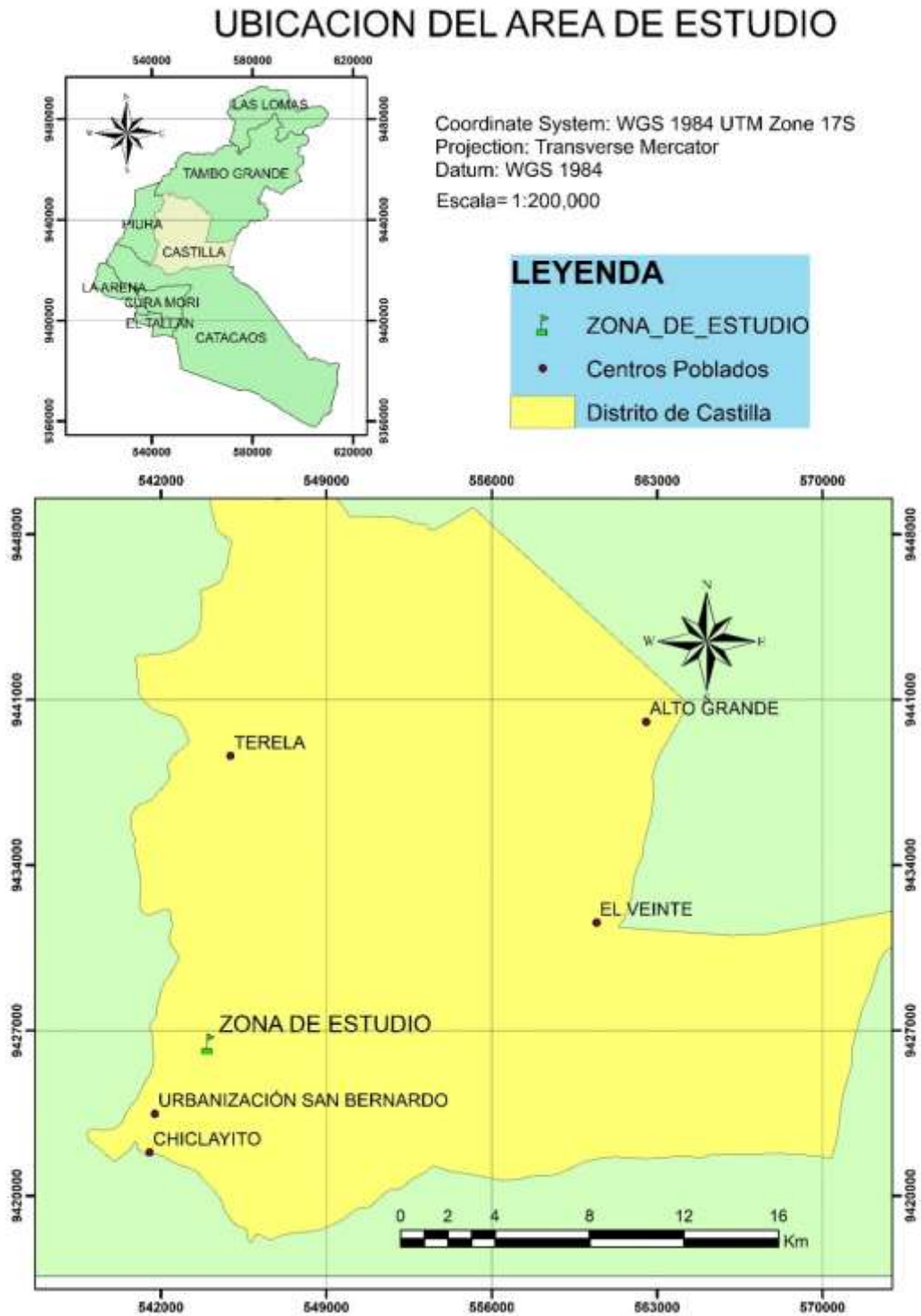
#### **4.1.1.1.2. PROVINCIA DE PIURA.**

Piura es un departamento del Perú, situado al extremo noroeste del país. Esta circunscripción colinda al oeste con el Océano Pacífico y limita con el departamento de Lambayeque al sur, con Cajamarca al este y Tumbes por el norte, así como con el territorio ecuatoriano por el noreste. Comprende una dilatada planicie en su mayor extensión costa y una región montañosa menos extensa en la zona oriental de la sierra. Desde la zona montañosa discurren los ríos Piura y Chira, que irrigan las excepcionales zonas cultivadas de la planicie costera, donde se extiende el desierto Peruano y el bosque seco Ecuatorial.

### 4.1.1.1.3. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

FIGURA Nº 33:

### UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO



Fuente: elaboración propia

#### **4.1.1.1.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICO GEOGRÁFICO**

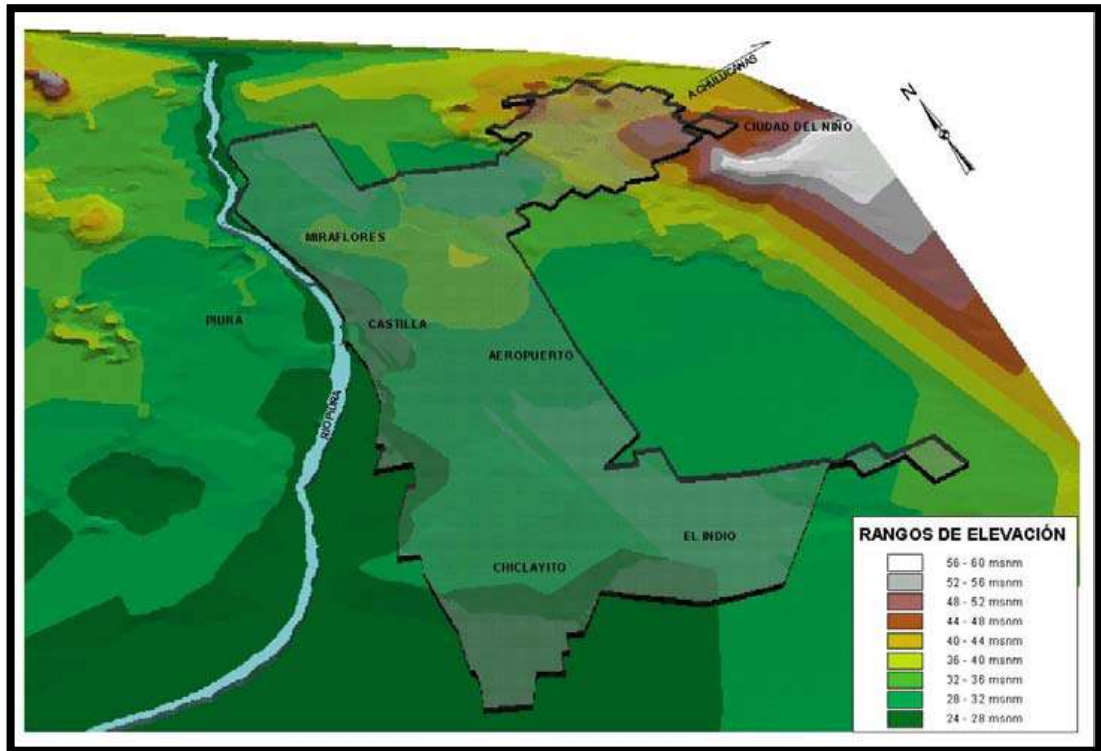
##### **➤ Geología**

El área de estudio comprende la margen derecha del Colegio Militar Pedro Ruíz Gallo (aproximadamente entre el sector del Asentamiento Humano la Primavera y el Colegio Militar Pedro Ruíz gallo), donde se encuentra asentado el A.H San Valentín de la Ciudad de Castilla, Su suelo está conformado por arenas de color gris, de grano fino, en algunos sectores ferruginosos, poco densos y poco compactos; en otros sectores se observan pequeños lentes de suelos limo-arenosos a limo arcillosos más compactos.

##### **➤ TOPOGRAFÍA.**

La ciudad de Castilla, revela una topografía suave con ligeras elevaciones y depresiones. Sus cotas fluctúan entre los 26 y 50 m.s.n.m. Las zonas con depresiones topográficas que son fácilmente inundables en épocas de lluvia, presentan cotas menores a los 29 m.s.n.m. ubicándose los AA.HH. Primavera, 15 de Setiembre, Las Montero, Chiclayito, Las Brisas, El Indio y parte del área central de Castilla. (Ver gráfico N° 15)

**FIGURA N° 34:  
TOPOGRAFÍA DE CASTILLA**



*Fuente: indeci*

La cota mínima de 25 m.s.n.m. se presenta en el lecho del río y la máxima altura de 50 m.s.n.m. se encuentra al Este de la ciudad sobre la zona del A.H. Ciudad del Niño; en la ribera del río las cotas oscilan entre 26 y 30 m.s.n.m. con una pendiente promedio de 0.39%, con dirección Noreste – Suroeste entre el A.H. Chiclayito y el A.H. Ciudad del Niño.

En las zonas que presentan pequeñas pendientes y no se encuentran pavimentadas, se origina la formación de “cangrejeras” debido al volumen de agua que discurre y al tipo de suelos predominante, principalmente en épocas de lluvias.

➤ **Aspecto Hidrológico.**

En la ciudad de Castilla, el río Piura es el elemento hidrográfico principal. Otros elementos hidrográficos los constituyen las aguas pluviales que discurren en forma natural sobre la superficie del terreno, activando las líneas de Talweg, que de acuerdo al tipo de suelo y la geomorfología, definen el cauce de mayor drenaje y que por su magnitud se le conoce como quebradas o escorrentías.

➤ **Cuenca del Río Piura.**

“La cuenca hidrográfica del río Piura se ubica en la parte norte de la vertiente del Pacífico Occidental, constituye una de las tres más grandes de la costa Peruana, tiene su nacimiento en la sierra de Huarmaca en el cerro Sorogón a 2680 m.s.n.m. Presenta un área de drenaje de alrededor de los 12,155.2 Km<sup>2</sup>, en sus nacientes discurre con el nombre de río Huarmaca, luego toma el nombre de río Chanchaque que confluye con el río Bigote denominándose luego río Piura hasta su desembocadura en la bahía de Sechura”.

El río Piura tiene una longitud aproximada de 326 Kms. desde sus nacientes hasta su desembocadura. En los primeros 20 Kms. de su recorrido presenta una gradiente que varía entre 5% y 10%, mientras que en la parte baja presenta una gradiente más suave del orden del 0.2%, recorriendo una extensa llanura.

El perfil transversal del río es amplio con gran cantidad de ondulaciones meándricas a lo largo del valle del Bajo Piura. Esta característica morfológica hace que el río Piura no mantenga un cauce principal permanente a través de los años. Actualmente los cambios significativos en el cauce del río Piura, (debido a la variación de los meandros) están produciendo fenómenos de socavación lateral que afectan a las defensas de la margen izquierda del río, a la altura de los Puentes Cáceres,

Independencia, San Miguel de Piura, al sur del puente Bolognesi, al final de la Av. Jorge Chávez y a la altura del A.H. Las Montero.

**FIGURA Nº 35:**  
**HIDROGRAFÍA DEL RÍO PIURA**



*Fuente: google*

En años normales las aguas del río Piura desaguan en la Laguna Ramón y sólo en épocas de crecientes extraordinarias, asociadas a la presencia del Fenómeno de El Niño desbordan las Lagunas Ramón y Ñapique (formando la laguna La Niña), tomando su cauce antiguo hasta desembocar en las cercanías de la bahía de Sechura (San Pedro). Según reportes históricos el curso del río Piura ha presentado los siguientes cambios:

- ✓ Año 1871, se abrió un cauce por el centro del valle (río Viejo).
- ✓ Año 1891, se trasladó el cauce al límite del tablazo de Paita (río Letira).
- ✓ Año 1983, parte de los cauces antiguos fueron ocupados por el río desembocando en las cercanías de Sechura (San Pedro).

Una de las características del río Piura es su régimen variable, presentando cambios en los volúmenes de sus descargas tanto anuales como mensuales, esta variación está relacionada con el régimen pluviométrico y a la presencia del Fenómeno de El Niño. El periodo de avenidas es el que presenta mayores descargas, se inicia en el mes de enero y termina en el mes de abril, durante el periodo de estiaje se presentan los volúmenes más bajos y corresponde a los meses restantes. Se puede establecer que el 70% de su volumen total de descarga se da durante el periodo de avenidas y el 30% restante en el periodo de estiaje. El mayor caudal promedio mensual registrado por el río Piura en la estación hidrológica Puente Sánchez Cerro durante el año 1998 fue durante el mes de marzo, registrándose 1607.30 m<sup>3</sup>/seg. El valor máximo diario se presentó el 12 de marzo con 3256.0 m<sup>3</sup>/seg.

En las últimas lluvias del mes abril del 2002, se registraron valores mayores a los 3,000 m<sup>3</sup>/seg., presentándose el valor máximo el 9 de abril con 3,547 m<sup>3</sup>/seg.

- **Quebradas y/o Escorrentías.**

Las quebradas drenan las aguas pluviales a las áreas topográficamente deprimidas causando erosión en el terreno. En épocas de intensas lluvias tienen un gran caudal y el resto del año permanece seco.

- **Quebrada el Gallo.**

La Quebrada El Gallo nace al Nor-Este de la ciudad de Castilla. Evacúa sus aguas hacia las áreas que presentan un nivel topográfico menor, provocando inundaciones de considerables magnitudes al este de la ciudad.



- **Aeropuerto.**

Su recorrido es de Noreste a Suroeste, presenta modificaciones en la morfología de la quebrada, debido a las edificaciones que se han instalado en el desarrollo de esta. Cruza el A.H. TÁCALA y Cossío del Pomar. Su caudal es de régimen temporal y solo transporta grandes volúmenes de agua en época de lluvias muy intensas, convirtiéndose en colectora de las aguas de escorrentía de los Asentamientos Humanos colindantes.

**FIGURA: Nº 36:  
VISTA PANORÁMICA DE LA QUEBRADA EL GALLO.**



*fuelle : indeci. En su trayectoria afecta a parte de los AA.HH. Tacala, Cossio del Pomar, Los Almendros, Corazón de Jesús, Miguel Grau y Nuevo Castilla II etapa.*

## **4.1.1.2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR.**

### **4.1.1.2.1. DISEÑO DEL REACTOR**

El reactor adoptado para la realización del proyecto será un reactor de flujo ascendente horizontal.

El reactor de flujo ascendente, es la más sencilla de todas las tecnologías anaerobias. Su coste de construcción, y mantenimiento es notoriamente bajo, resultando un excelente candidato para las comunidades rurales.

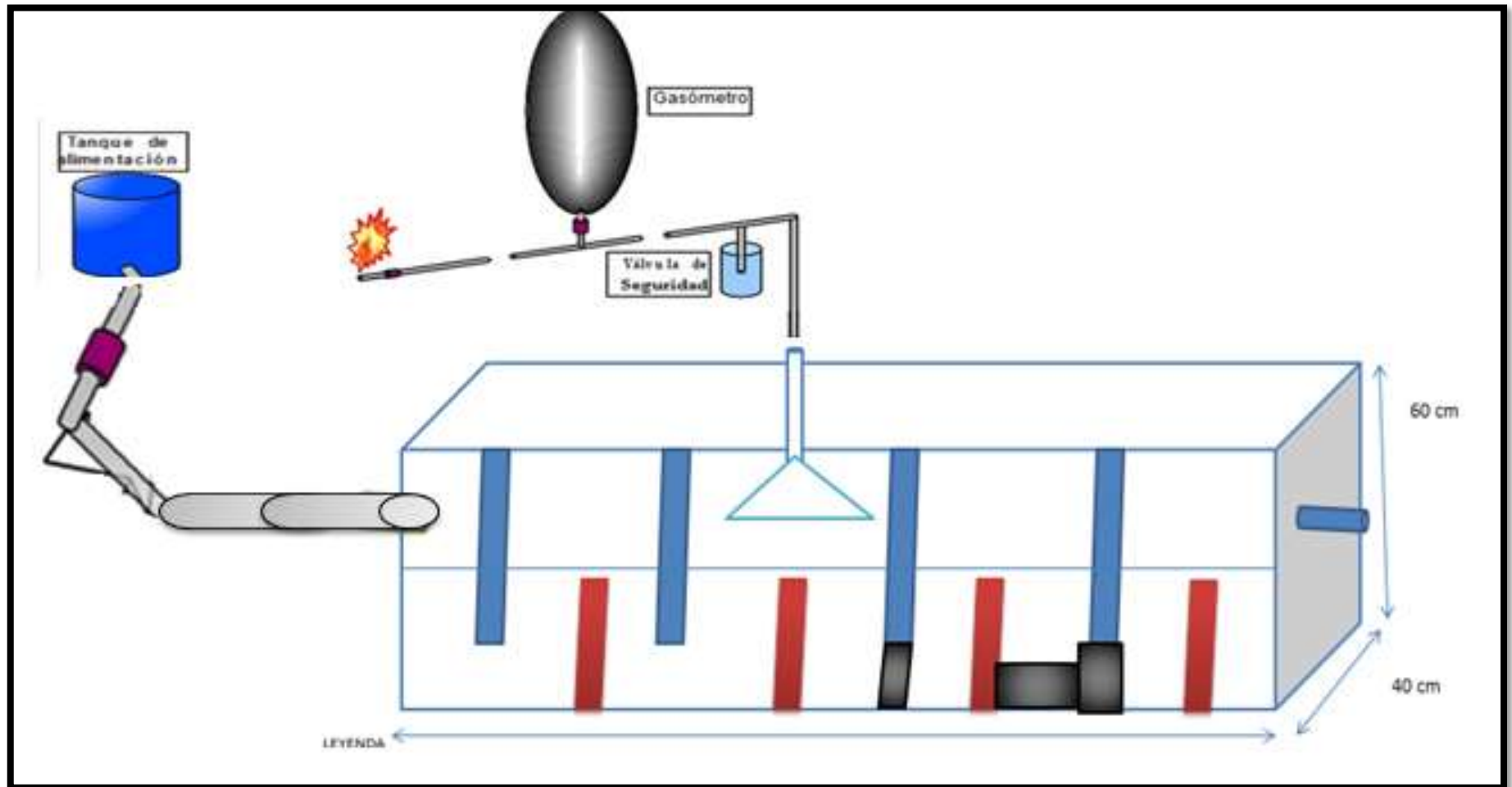
Para el diseño y construcción del reactor de flujo ascendente se tuvieron en cuenta varios factores y recomendaciones, tanto de la literatura como de personas que han demostrado un amplio conocimiento y experiencia en esta área.

El reactor propuesto está formado por un vidrio de color transparente de 6mm de espesor y 40cm de ancho con una altura de 60cm y de largo 1m, el adecuado dimensionamiento garantizará que la parte líquida del reactor, es decir, el influente de estiércol diluido, aguas de uso doméstico, ocupan las tres cuartas partes del volumen total del reactor.

El reactor será cargado de forma diaria. El biogás, una vez comience a generarse, hará que el gasómetro se hinche, sirviendo esta como almacenamiento para el gas. La salida del gas se producirá por diferencia de presión. El biogás estabilizado lo hará a medida que el reactor sea alimentado, saliendo por una tubería dispuesta en la parte final del reactor. Se empleará también una válvula de seguridad que garantice el sello hidráulico. Asimismo, un gasómetro situado antes del uso final del gas hará que este se pueda almacenar en cantidades suficientes en caso de que aumente la demanda.

La dilución del estiércol se realizará en un tanque de alimentación conectado a la entrada del reactor.

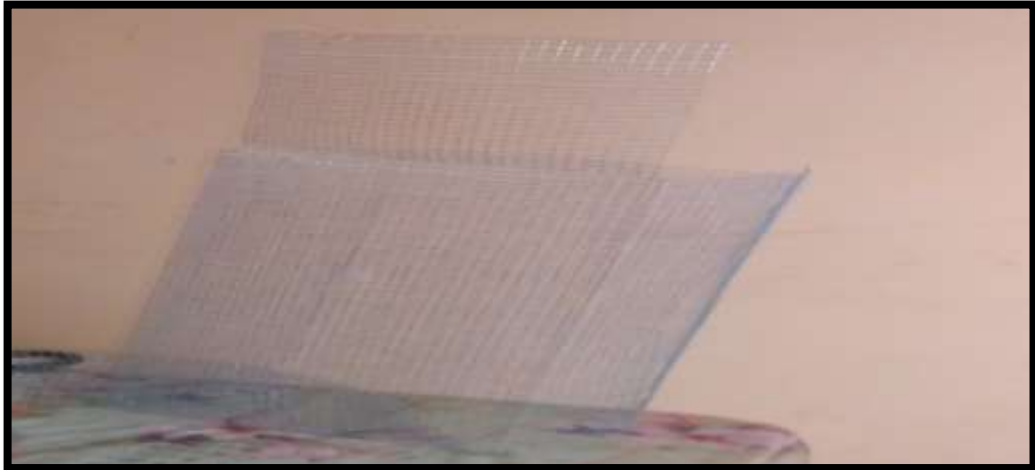
FIGURA N° 37:  
REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA DEL REACTOR ANAEROBIO



Fuente: propia

#### 4.1.1.2.2. DISEÑO DE FILTROS ANAEROBIOS

**FIGURA N° 38:  
CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO ANAEROBIO PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICA.**



*Fuente : elaboración propia.*

Dimensionamiento: a continuación, se describen las principales características del filtro anaerobio.

- Ancho: 10cm
- Largo: 15 cm
- Altura :40 cm
- Lecho filtrante: piedra

**FIGURA N° 39:  
FILTRO ANAEROBIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICA.**



*Fuente : elaboración propia.*

#### **4.1.1.2.3. EQUIPOS Y MATERIALES EMPLEADOS.**

Todos estos materiales están disponibles en cualquier ferretería o centro de suministros agrícolas, siendo su coste moderado.

Reactor: se construirá con vidrio transparente de 6mm de espesor, el cual se vende de forma comercial de distintas longitudes y diversos anchos. En el caso del reactor se emplearán las siguientes dimensiones de vidrio para la construcción del reactor.

##### **❖ Extremos del reactor**

- ❖ 60cm×40cm
- ❖ 60cm×40cm

##### **❖ Parte lateral del reactor**

- ❖ 60cm×100cm
- ❖ 60cm×100cm

##### **❖ Parte superior e inferior del reactor**

- ❖ 40cm×100cm
- ❖ 40cm×100cm

##### **❖ Separadores parte interna (superior) del reactor**

- ❖ 45cm×40cm
- ❖ 45cm×40cm
- ❖ 45cm×40cm
- ❖ 45cm×40cm

##### **❖ Separadores parte interna (inferior) del reactor**

- ❖ 35cm×40cm
- ❖ 35cm×40cm
- ❖ 35cm×40cm
- ❖ 35cm×40cm

**FIGURA N° 40:  
REPRESENTACIÓN DEL VIDRIO RECORTADO.**



*Fuente: propio*

**Tuberías:** las conexiones de entrada y salida del reactor se realizarán empleando tuberías de PVC, al soportar también las condiciones oxidantes del biogás y al no presentarse temperaturas excesivamente altas en el rango de trabajo que pudieran combar dichas conexiones.

**Bombas:** no son necesarias bombas para el trasiego de materiales ya que la alimentación se realiza introduciendo materia prima fresca diariamente, la cual desplaza progresivamente a la parcialmente digerida, en el caso de los residuos sólidos y líquidos; y por diferencia de presiones, en el caso gaseoso.

**Válvulas de seguridad:** las válvulas de seguridad que se emplearon fueron 3 en las cuales dos de ellas fueron de 3/4 una de entrada de afluentes del reactor y otra de salida del efluentes del reactor. La última

es 3/8 para controlar el pase de gas la cual soporta hasta 400 psi de presión.

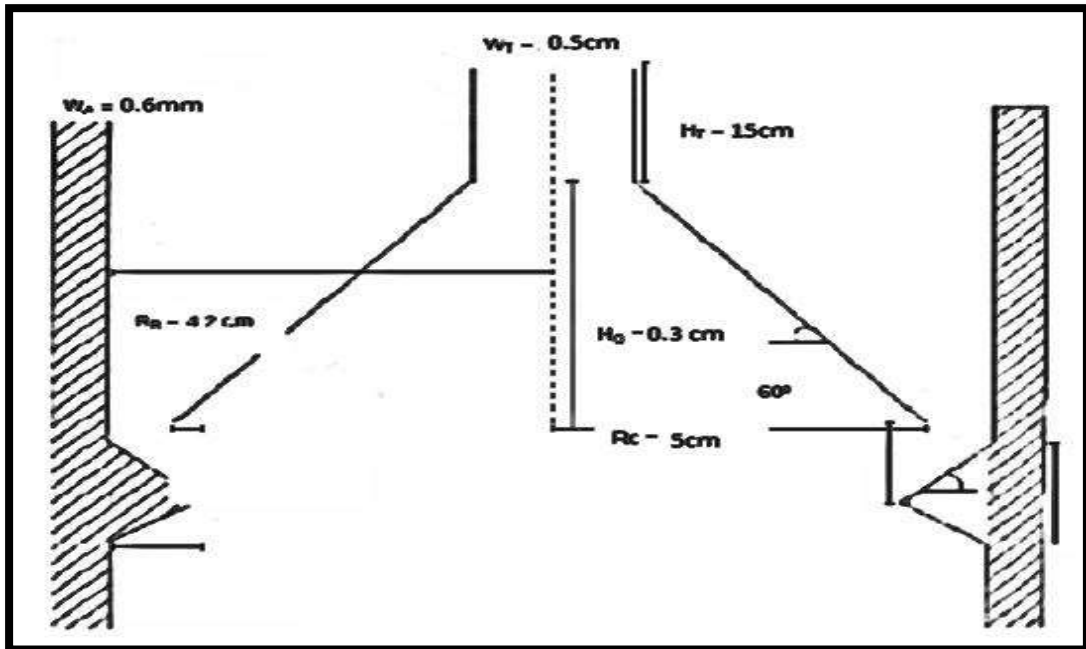
**Otros:** también se utilizó una manguera especial de un metro para el transporte del gas, pegamento especial, silicona, abrazaderas, malla metálica, piedras etc.

#### **4.1.1.2.4. DISEÑO DE LA CAMPANA SEPARADORA DE LÍQUIDO – GAS**

Otra parte importante y crítica es el diseño de un reactor U. A. S. B. es la campana o separador GLS, el cual es fundamental para lograr un buen funcionamiento del reactor a fin de mantener un lodo sedimentable (en su mayoría granular), un efluente clarificado (libre de gases) y unos gases adecuadamente separados.

El reactor cuenta con una campana separadora, la cual se diseñó para el tratamiento del biogás, el sistema de gas tendrá la cúpula de gas lo cual será la misma manga del reactor. Una vez que comience a producirse el biogás esta tenderá a hincharse el gasómetro, realizándose una salida sobre la misma para realizar el circuito de gas, el almacenamiento del gas se realizará en un gasómetro.

FIGURA N° 41:  
CRITERIOS DE DISEÑO DE LA CAMPANA.



Fuente: elaboración propia

FIGURA N°42:  
CONSTRUCCIÓN DE LA CAMPANA.



Fuente: elaboración propia.



#### 4.1.1.2.5. DIMENSIONES DEL REACTOR.

Los parámetros principales que influyen en el diseño de un reactor anaerobio son, por un lado, la temperatura, que determinará el tiempo de retención de la biomasa en el interior del reactor; y, por otro, la velocidad de carga orgánica, que está directamente relacionada con el tipo, cantidad y características de la materia prima a digerir.

##### ❖ Cálculo del Volumen Total del Reactor

**El cálculo puede realizarse de dos formas:**

De acuerdo a tratar la cantidad de residuo generado.

De acuerdo a restricciones, bien sean estas la disponibilidad de terreno, normalmente en cualquier de la localidad de Piura se puede a implementar el reactor.

##### ❖ Cálculo del Volumen del Reactor para Tratar todo el Residuo Generado

La carga de excrementos al reactor se producirá de forma diaria. se pueden estimar las proporciones de agua necesarias para obtener la mezcla diluida, generalmente al 4% en sólidos totales, de entrada al reactor. El volumen líquido total del reactor será:

$$V_L \cdot m^3 \cdot \text{día} = \text{Carga} \cdot m^3 / \text{día} \cdot T_r$$

Así, se podrá calcular el volumen gaseoso y total, como sigue:

$$V_G \cdot m^3 = \frac{V_L m^3}{3}$$
$$V_T \cdot m^3 = V_G \cdot m^3 + V_L \cdot m^3$$

## ❖ VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA

La carga orgánica es la relación existente entre la cantidad de materia orgánica por unidad de volumen de reactor y unidad de tiempo. Este parámetro depende del tiempo de retención y de la concentración de sustrato. Generalmente se expresa en función de la DQO o de la concentración de sólidos volátiles.

Depende del tipo y cantidad de materia orgánica con que se va a alimentar el digestor mediante el porcentaje de sólidos volátiles que contiene la muestra, los cuales proporcionan una estimación de los sólidos potencialmente convertibles en biogás.

### 4.1.2. RESULTADOS GENERALES.

#### 4.1.2.1.1. CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

Para la construcción del reactor se tuvo que cortar el vidrio en un superficie adecuado y limpio libre de impurezas, teniendo cuidado de que no se presentasen excesivas ralladuras al desenrollar el ensamblado del reactor.

**FIGURA N°43:  
CONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA.**



*Fuente: elaboración propia.*

#### 4.1.2.1.2. TANQUE DE ALIMENTACIÓN.

Para la introducción de la alimentación se dispuso un balde de polietileno rígido de 20 litros de volumen, en el cual se pudiera realizar la mezcla de estiércol y agua diariamente.

En uno de los laterales inferiores del tanque se realizó una abertura de 0.5 cm para la salida de la alimentación. Para canalizar dicha salida se emplearon tuberías de PVC de 3/4", un empaque de teflón y pegamento especial para proporcionar un adecuado transporte de aguas residuales domésticas, también se utilizó una reducción de PVC de 3/4", una válvula de seguridad de bronce de abrir y cerrar el pase de aguas residuales la dimensión fue de 3/4", la entrada de la alimentación es de 30 cm de longitud, el diámetro de la tubería de entrada es de 3/4".

**FIGURA N°44:  
TANQUE DE ALIMENTACIÓN DEL REACTOR**



*Fuente: elaboración propia.*

#### 4.1.2.1.3. TUBERÍA DE ENTRADA Y SALIDA.

Las tuberías de entrada y salida fueron adheridas con un pegamento especial y teflón para mayor rigidez. Para el ensamblado de las tuberías de la entrada y la salida se adecuo primero la tubería de salida viendo a que altura quedaba la parte inferior de la conexión frente a la altura calculada al dimensionar la entrada del reactor, ya que esta iba a ser la que determinase el nivel de líquido en el interior del reactor.

Realizado esto, se ajustó la tubería de entrada para que la mitad del amarre de la misma coincidiera con el nivel de la tubería de salida.

Después se procedió a conectar la salida del tanque de alimentación con la entrada empleándola tubería de PVC de 3/4" x 30 m de longitud.

**FIGURA N°45:  
DETALLE DE LA TUBERÍA DE ENTRADA.**



*Fuente: elaboración propia.*

#### 4.1.2.1.4. CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO ANAERÓBICO

Dentro de la construcción del filtro anaerobio se tomó en cuenta las medidas exactas de espacio de cada celda para introducir primero la malla metálica en la que luego se introdujeron las piedras para luego ser selladas mediante un tejido de alambre galvanizado.

**FIGURA N°46:  
CONSTRUCCIÓN DEL FILTRO BIOLÓGICO**



*Fuente: elaboración propia.*

**FIGURA N°47:  
FINALIZANDO DE INTRODUCIR EL FILTRO BIOLÓGICO.**



*Fuente: elaboración propia.*

#### 4.1.2.1.5. LÍNEA DE BIOGÁS.

Realizadas las conexiones de entrada y salida del reactor procedió a hacer lo propio con la línea de biogás. Se conectó una manguera de presión de 1 metros de longitud y 1.5 de diámetro a la salida de biogás del reactor, junto con una abrazadera de 0.5" y una válvula de seguridad de cierre del gas que soporta una presión de hasta 400 psi.

**FIGURA N° 48:  
COLOCACIÓN DE LA MANGUERA DEL GAS.**



*Fuente: elaboración propia*

**FIGURA N°49:  
REACTOR TERMINADO.**



*Fuente: elaboración propia*

**FIGURA N°50:  
PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR RAFA.**



*Fuente: elaboración propia*

En la figura N° 49 se muestra el reactor funcionando siguiendo los procesos físicos y químicos que se dan en el interior del reactor, al mismo tiempo el líquido que se ha introducido fue de aguas residuales domésticas, de las cuales se tomó agua con aceites, agua de servicios, aguas de lavanderías. Excepto aguas de inodoros o eses.

**FIGURA N°51:  
PRIMER PROCESO FISICO DE SEDIMENTACIÓN.**



*Fuente: elaboración propia*

*En la figura N° 50, es introducido el fluido de aguas residuales domesticas antes mencionadas, en este primer proceso se puede observar claramente la carga orgánica sedimentándose en el fondo del reactor RAFA (en este primer proceso el 70% de carga orgánica se sedimenta).*



**4.1.2.2. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA EMITIDO POR EL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE.**

**FIGURA N°52:  
MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA EMITIDA POR EL REACTOR .**



*Fuente: elaboración propia*

**FIGURA N°53:  
MUESTRA DE CALIDAD DE AGUA PARA LLEVAR A LABORATORIO**



*Fuente: elaboración propia*

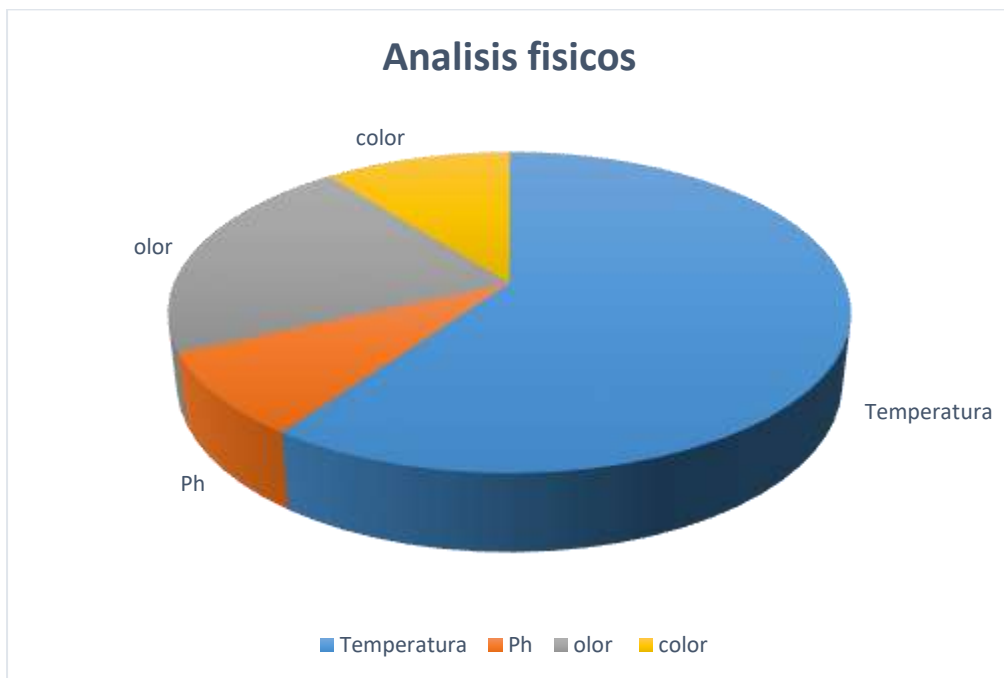
**FIGURA N°54:**

**MUESTRAS PARA SER ANALIZADAS EN LABORATORIO  
(TEMPERATURA, PH, SOLIDOS SUSPENDIDOS, COLIFORMES  
TERMOTOLERANTES, GRASAS Y ACEITES, DBO5, DQO)**



*Fuente: elaboración propia*

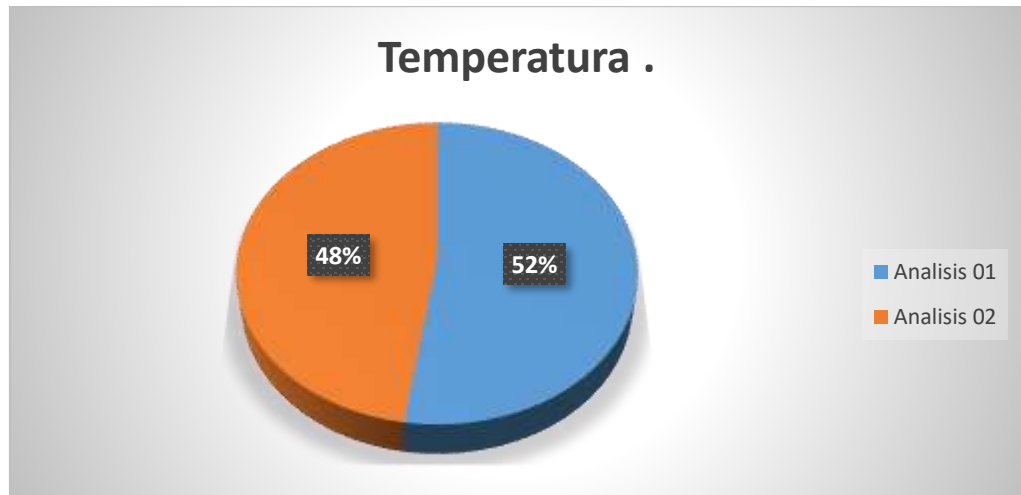
**GRÁFICO N° 03:  
ANÁLISIS FÍSICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DOMÉSTICAS.**



*Fuente: propia.*

El gráfico N° 03. Sintetiza parte de los datos representativos del proceso del análisis físico del muestreo que se realizó para llevar a cabo el proyecto de tesis, se tomó en cuenta con los siguientes parámetros, PH, Temperatura, olor y color del agua residual doméstica.

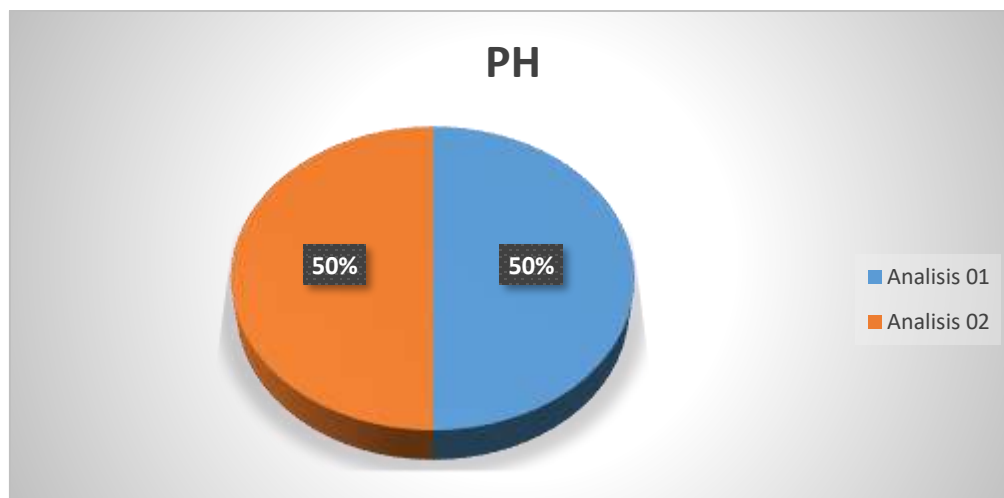
**GRÁFICO N° 04:  
ANÁLISIS FÍSICO (TEMPERATURA)**



*Fuente: Elaboración propia.*

La temperatura de las aguas residuales y de masas de agua receptora es importante a causa de sus efectos sobre la solubilidad del oxígeno y, en consecuencia, sobre las velocidades en el metabolismo, difusión y reacciones químicas y bioquímicas. El cual en el gráfico N° 04. Sintetiza los datos representativos de temperatura, teniendo como resultado del primer análisis de 28,2 °C representando un 52%, y el segundo análisis de laboratorio arrojó 25,6 °C representando el 48%. Las temperaturas elevadas implican aceleración de la putrefacción, con lo que aumenta la DBO y disminuye el oxígeno disuelto.

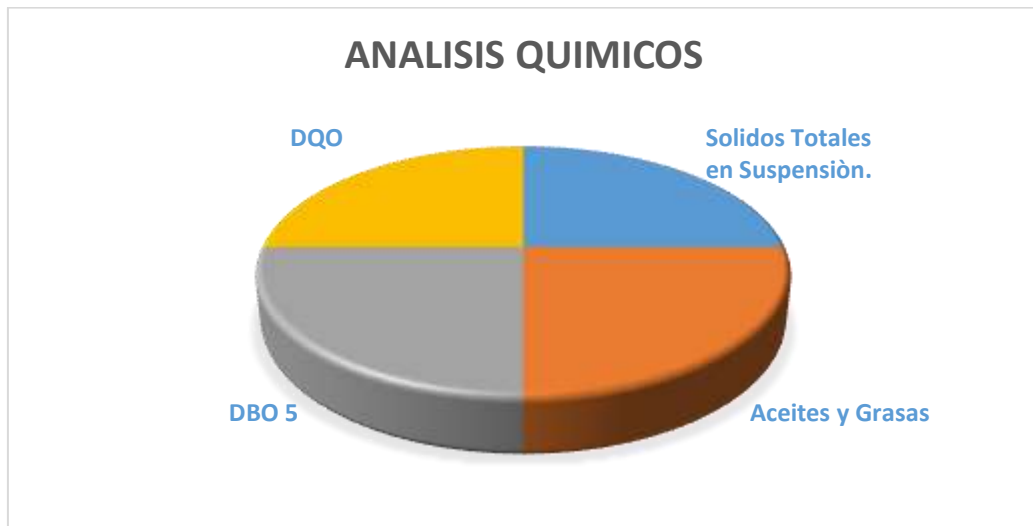
**GRÁFICO N° 05:  
ANÁLISIS FÍSICO (PARÁMETRO PH).**



*Fuente: Elaboración propia.*

El pH es un factor muy importante en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales. El valor del pH compatible con la vida piscícola está comprendido entre 5 y 9. Sin embargo, para la mayoría de las especies acuáticas, la zona de pH favorable se sitúa entre 6.0 y 7.2. Fuera de este rango no es posible la vida como consecuencia de la desnaturalización de las proteínas. En gráfico N°05 comprende en el primer análisis 4.0 c mientras que el segundo análisis arrojó como resultado lo mismo.

**GRÁFICO N° 06:**  
**ANÁLISIS QUÍMICOS PARA EL TRATAMIENTOS DE AGUAS**  
**RESIDUALES DOMESTICAS.**

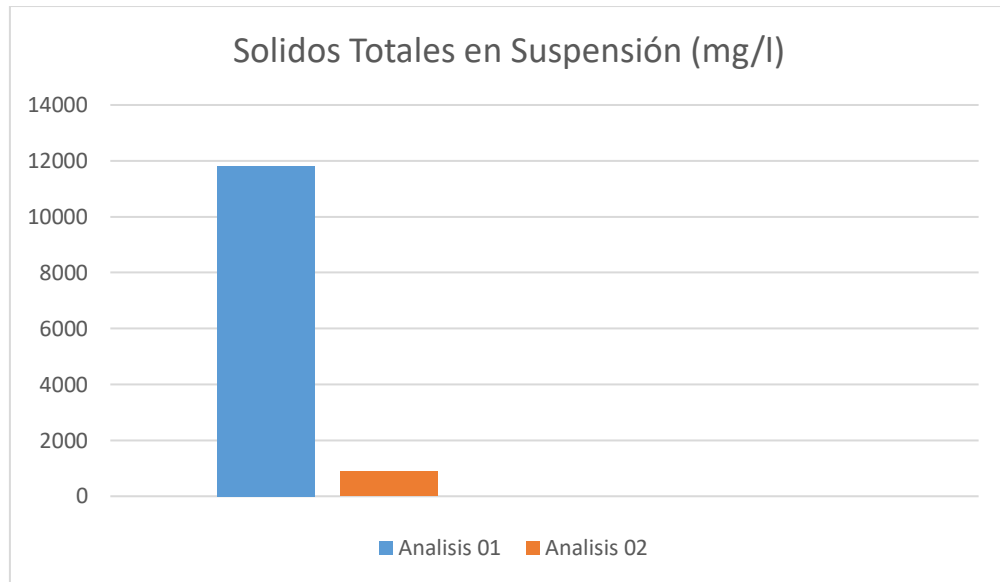


*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura N° 06. También se ha creído conveniente realizar análisis químico, tomando como medidas o parámetros los siguientes.

- SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN.
- ACEITES Y GRASAS
- DBO5
- DQO

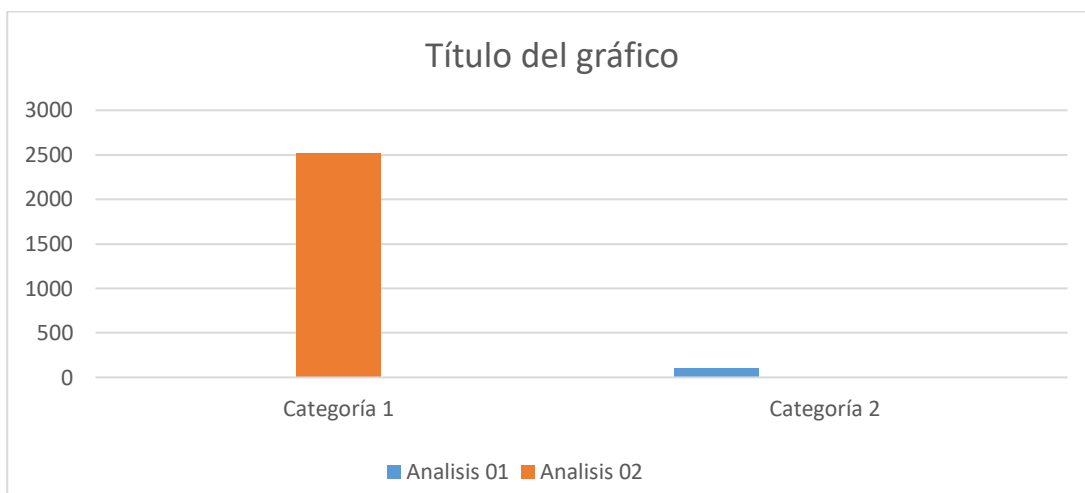
**GRÁFICO N° 07:  
ANÁLISIS QUÍMICO (SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN).**



*Fuente: Elaboración propia.*

La medida de sólidos totales en suspensión es un índice de la cantidad de sustancias en suspensión en el agua, y proporciona una indicación general de la calidad química. Los sólidos en suspensión se muestran en el gráfico N° 07. Se observa una variación muy amplia de 11816.0 mg/l en la primera muestra, mientras que la segunda es de 199.0 mg/l dando como resultados positivos hacia el tratamiento de aguas residuales domésticas.

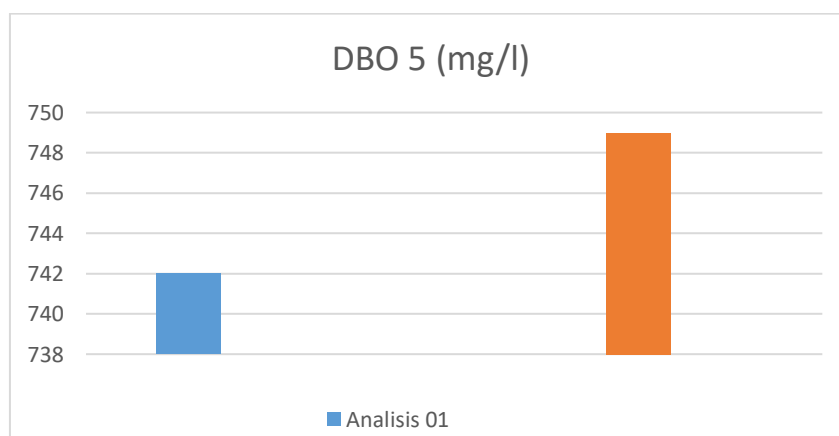
### GRÁFICO N° 08: ANÁLISIS QUÍMICOS DE GRASAS Y ACEITES.



Fuente: Elaboración propia..

En este grupo se incluyen los aceites y las grasas que se encuentren en estado libre, ya sean de origen animal, vegetal o mineral, La mayoría de estos productos son insolubles en el agua. En el grafico se observa el análisis primero que dio como resultado 2515.3 mg/l mientras que en el segundo análisis en donde se aplica el tratamiento dio como resultado 0.30 mg/l.

### GRÁFICO N° 09: ANÁLISIS QUÍMICOS DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO (DBO<sub>5</sub>.)



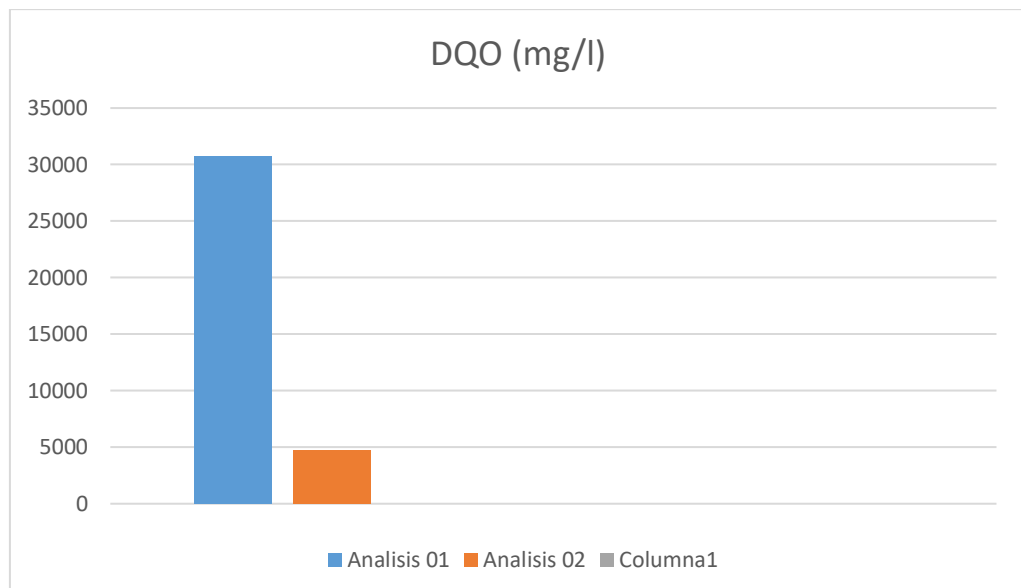
Fuente: Elaboración propia.

Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente, por la acción bioquímica aerobia. El gráfico N° 09 se



observa un incremento de la Demanda biología de oxígeno (DBO5), arrojando como resultado 742.45 mg/l.

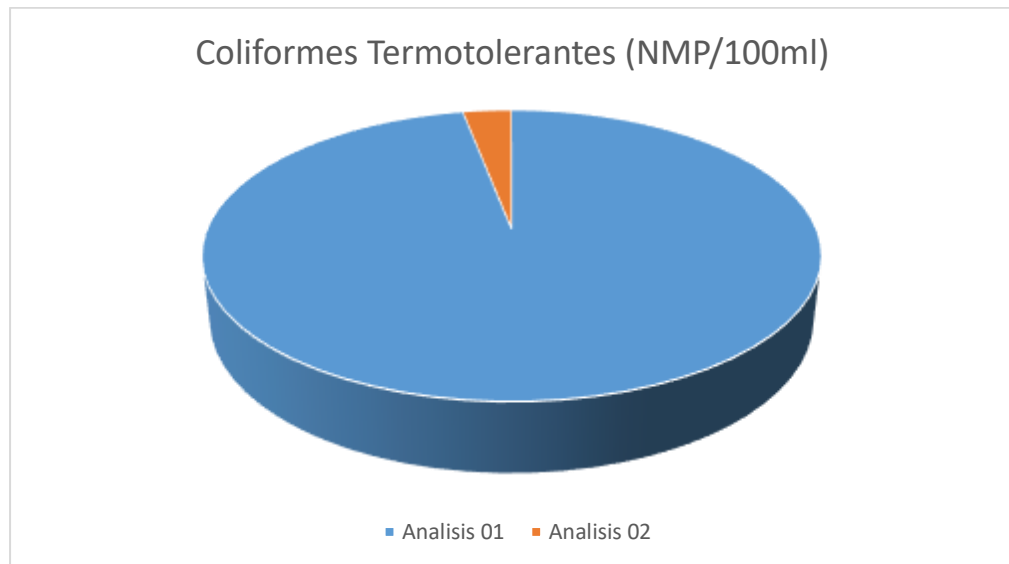
**GRÁFICO N° 10:  
ANÁLISIS QUÍMICOS DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO).**



*Fuente: Elaboración propia.*

Es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos. Efectúa la determinación del contenido total de materia orgánica oxidable, sea biodegradable o no. Los resultados se observan en el gráfico N° 10 teniendo como muestra inicial del análisis de laboratorio de DQO 308000 mg/l, mientras que en el segundo análisis aplicando el tratamiento a las aguas residuales domésticas por medio del reactor RAFA, dio como resultado satisfactorio de DQO es de 4720 mg/l.

**GRÁFICO N° 11:  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.**



*Fuente: Elaboración propia.*

La representación gráfica N°. 11 nos muestra que en el primer análisis del laboratorio da como resultado de Coliformes Termotolerantes 1600 NMP/100ml, en el segundo análisis hay una disminución de 1.8 NMP/100ml de Coliformes Termotolerantes.

### **4.1.3. CALCULO DE UN REACTOR ANAEROBIO EMPLEANDO TECNOLOGÍAS APROPIADAS.**

#### **4.1.3.1. DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR.**

Como se ha resaltado en puntos anteriores, los parámetros principales que influyen en el diseño de un reactor anaerobio son, por un lado, la temperatura, que determinara el tiempo de retención de la biomasa en el interior del reactor; y, por otro, la velocidad de carga orgánica, que está directamente relacionada con el tipo, cantidad y características de la materia prima a digerir.

##### ***Cálculo del volumen total del digestor***

El cálculo puede realizarse de dos formas:

- De acuerdo a tratar la cantidad de residuo generado.
- De acuerdo a restricciones, bien sean estas la disponibilidad de terreno o el ancho de manga comercial disponible normalmente en cualquier establecimiento en la localidad donde se vaya a implementar el reactor.

En este caso solo se tomó la primera forma que se realizara el cálculo del volumen total del digestor.

#### **4.1.3.2. CALCULO DEL VOLUMEN DEL REACTOR PARA TRATAR TODO EL RESIDUO GENERADO.**

La carga de residuos domésticos del reactor se producirá de forma diaria. se pueden estimar las proporciones de agua necesarias para obtener la mezcla diluida, generalmente al 4% en solidos totales, de entrada, al reactor. El volumen liquido total del reactor será:

$$V_L(m^3) = Carga(m^3/día) \cdot T_r(día)$$

Para determinar el volumen total del reactor se parte de los residuos orgánicos domésticos total generado por vivienda tomando en cuenta un contenido de solidos totales del 17% para lograr una dilución de residuos orgánicos domiciliarios hasta un 4% de solidos totales para ello se estima

una relación residuo orgánico domiciliario: agua de 1:3, es decir una parte de residuos orgánicos frente a tres partes de agua.

Se parte de una cantidad total de residuos orgánico domiciliario de 90kg/día de una relación residuo orgánico: agua de 1:3 y de un tiempo de retención de 4,5 días.

$$V_L (\text{m}^3) = \text{Carga} (\text{m}^3/\text{día}) \cdot T_r (\text{días}) = M \left( \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) \cdot \left( \frac{pa+pe}{1000} \right) \cdot T_r$$

$$V_L (\text{m}^3) = 90 \cdot \frac{(3+1)}{1000} \cdot 4,5 = 1.62\text{m}^3$$

#### 4.1.3.3. MATERIALES NECESARIOS Y PRESUPUESTOS DE LOS MISMOS.

A continuación, se listan los materiales empleados en la construcción del digestor y su coste en la localidad de Piura a fecha de 26 de octubre de 2018:

**CUADRO N° 16  
PRESUPUESTO DEL REACTOR ANAEROBIO.**

<b>RUBROS</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO S/.</b>	<b>TOTAL (S/.)</b>
<b>RECURSOS HUMANOS</b>				
<b>Asesor</b>	Mes	1	2000.00	2000.00
<b>Asistentes</b>	Mes	1	400.00	400.00
<b>Mano de obra no calificada</b>	Mes	1	600.00	600.00
<b>TOTAL DE RECURSOS HUMANOS</b>				<b>3000.00</b>
<b>MATERIAL DE OFICINA</b>				
<b>Papel Bond A4</b>	millar	1	8.00	8.00
<b>Lapiceros (Negro/ rojo)</b>	caja	½	9.00	9.00
<b>Lápiz</b>	und	3	2.00	6.00
<b>Libreta de Campo</b>	Und.	2	10.00	20.00
<b>Tablilla sujeta papeles</b>	und	1	15.00	15.00
<b>TOTAL DE MATERIAL DE OFICINA</b>				<b>58.00</b>
<b>INSTRUMENTOS Y EQUIPOS</b>				
<b>Tanque de alimentación</b>	und	1	180.00	180.00
<b>Tubería de PVC de ½"</b>	Und.	2	11.00	22.00
<b>Vidrio</b>	und.	1	200.00	200.00
<b>Silicona</b>	und	3	12.00	36.00
<b>Campana de acero inoxidable</b>	und	1	80.00	80.00
<b>Alquiler de herramientas</b>	und.	1	350.00	350.00
<b>Análisis de agua residual</b>	und.	2	500.00	1000.00
<b>Válvula de presión</b>	und.	3	55.00	165.00
<b>Teflón</b>	Und	4	3.00	12.00
<b>Manguera flex de 12mm</b>	metro	10	3.00	30.00
<b>Llave de paso de PVC de 1" a ½"</b>	und	2	15.00	30.00
<b>TOTAL DE EQUIPOS</b>				<b>2105.00</b>
<b>Imprevistos (10%)</b>				<b>516.30</b>
<b>TOTAL</b>				<b>5679.30</b>

Fuente: Propia del estudio.

## **4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.**

### **4.2.1 HIPÓTESIS GENERAL.**

**Si se construye un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el asentamiento humano San Valentín, Castilla, Piura; se podrá darles tratamiento a las aguas residuales domésticas contribuyendo con la mejora y cuidado del medio ambiente.**

La hipótesis se contrastó positivamente, puesto que se realizó la construcción del reactor anaerobio de flujo ascendente, se pudo encontrar todos los materiales y herramientas que fueron necesarios para la construcción del reactor, el cual sirvió para tratar el agua residual y volver a utilizarla que serviría para riego de plantas de tallo alto, plantas ornamentales etc.

### **4.2.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.**

**HE.1.- Si se diseña un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el asentamiento humano San Valentín, Castilla, Piura, se podrá tener una guía base.**

La hipótesis fue comprobada positivamente, puesto que se diseñó el prototipo del reactor RAFA a escala de laboratorio, la cual servirá para futuras investigaciones como una guía base, cuyo objetivo es el perfeccionamiento y mejora del proceso en el tratamiento de aguas residuales domésticas, que contribuirá la calidad del recurso hídrico, y de esta manera darle una nueva utilidad.

**HE.2.- Si se ejecuta y se pone en marcha la construcción del proyecto del reactor, se podrá comprobar la viabilidad y eficacia del prototipo.**

De acuerdo con lo previsto el reactor RAFA se pudo ejecutar y poner en marcha para el funcionamiento, de esta manera se contrastó positivamente la hipótesis que se demostró la viabilidad y eficacia del prototipo que se orientara para una gestión ambiental y cuidado del recurso hídrico.

**HE.3.- Si se ejecuta un monitoreo de la calidad de agua, se podrá determinar su proceso de evolución emitida por el reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.**

Los resultados obtenidos del monitoreo de calidad del agua residual a través del informe técnico del análisis del laboratorio indicaron positivamente, demostrando que se puede tratar el agua residual domestica con valores muy por debajo de los estándares de calidad y límites máximos permisibles de aguas residuales domésticas, de esta manera poder reutilizar el agua residual tratada.

#### **4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

Los resultados obtenidos en la construcción del reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el distrito de castilla-provincia de Piura, resulto positivo de tal forma que no presentó problemas de fugas ni taponamientos durante el desarrollo de este trabajo. Una de las razones por las cuales se eligió el vidrio como material de construcción del reactor, fue la de poder observar los fenómenos que se presentan en el interior del reactor.

En el diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio en el distrito de castilla-Piura, se pudo corroborar que el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante un reactor U.A.S.B. (RAFA) proporciona buenos resultados, de este modo se comprobó la eficiencia, en el cual se

demonstró a través de los análisis físicos, químicos y microbiológicos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no se trabajó con excrementos humanos, ya que se hicieron diluciones para poder mantener una carga deseada de los residuos de cocina.

Durante la ejecución del reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el distrito de castilla, se logró cumplir con el objetivo de construir el reactor de tal modo que se hicieron las pruebas necesarias para su posterior funcionamiento, dentro de ello se tuvo en cuenta los materiales con la cual se construyó, como la utilización de vidrio que sirvió para observar los cambios del estado de agua en cada proceso dentro del reactor, también fue necesario construir los filtros biológicos a base de una malla metálica y piedras que hacen que la materia orgánica se sedimente y el agua se filtre por los orificios del filtro biológico, respecto al gas metano generado por las reacciones químicas dentro del reactor no se pudo construir un gasómetro que permita almacenar dicho gas, lo cual fueron emitidas a la atmosfera debido a la carencia de dichos materiales.

Por otro lado, se tuvo que construir una campana que permita la salida del gas metano, en la cual se utilizó como material el acero inoxidable. Para la entrada y salida del agua residual se tuvo que instalar una cañería con una válvula que permita el cierre y paso del agua hacia el reactor.

De acuerdo al monitoreo de calidad de agua emitido por el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el distrito de Castilla – Piura, se realizaron dos análisis de agua; en el cual el primero comprende el estado del agua residual sin tratar mientras que el segundo cumple todo el proceso de tratamientos necesario que se hicieron dentro del reactor, para ello se consideró tomar en cuenta realizar un análisis completo que comprende los parámetros del análisis físicos (temperatura y ph), químicos (sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, DBO<sub>5</sub> Y DQO) y microbiológicos (Coliformes Termotolerantes).



Por lo tanto, los resultados obtenidos en el informe técnico del análisis del laboratorio fueron los siguientes.

**INFORME TECNICO N°1:** Para este primer monitoreo se tomó la muestra el día 14 de agosto del 2017 en frascos de vidrio, con tapa rosca de 2,250 ml. Aproximadamente, obteniendo como resultado en el análisis físico de Temperatura 28.2 °c, y un Ph 4. En el análisis químico se obtuvieron los siguientes resultados; Solidos totales en suspensión 11816. 0 mg/l, Aceites y grasas 2515.3 mg/l, DBO<sub>5</sub> 742.45 mg/l, DQO 30800.0 mg/l. y por último el análisis microbiológico que dio como resultado 1600 NMP/100ml.

**INFORME TECNICO N°2:** Para este segundo monitoreo se tomó la muestra el día 17 de agosto del 2017 en frascos de vidrio, con tapa rosca de 2,250 ml. Aproximadamente, obteniendo como resultado en el análisis físico de Temperatura 25.6 °c, y un Ph 4. En el análisis químico se obtuvieron los siguientes resultados; Solidos totales en suspensión 199. 0 mg/l, Aceites y grasas 0.30 mg/l, DBO<sub>5</sub> 749.36 mg/l, DQO 4220.0 mg/l. y por último el análisis microbiológico que dio como resultado 1.8 NMP/100ml.

## **CONCLUSIONES.**

Luego de realizar el presente estudio de investigación se llegaron a las siguientes conclusiones.

- La construcción de reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el AA. HH san Valentín de castilla Piura permitió darles tratamiento eficiente a las aguas residuales domésticas, contribuyendo así a la mejora y el cuidado del medio ambiente.
- El diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala de laboratorio para el AA. HH San Valentín castilla Piura se permitió obtener una guía de base para futuros proyectos de esta naturaleza.
- La realización de la construcción del proyecto del reactor permitió comprobar la viabilidad y eficacia del reactor antes mencionado; de manera que se puede presentar como un antecedente para futuros proyectos e investigaciones a escala mayor.
- La ejecución del monitoreo basado en el principio de calidad de agua, permitió determinar su proceso de evolución emitido por el reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

## **RECOMENDACIONES.**

De acuerdo con la presente investigación, se recomienda:

- Se recomienda tener el debido cuidado y el asesoramiento de expertos durante la manipulación de los materiales para la construcción del reactor anaerobio de flujo ascendente, en la medida de la escala de trabajo que se va abordar.
- Para futuras investigaciones o trabajos de esta naturaleza, se recomienda emplear diferentes modelos de base que permitan orientar mejor el proyecto y se pueda tener resultados más eficaces.
- Para comprobar la viabilidad y eficacia del reactor antes mencionado, recomendamos durante la construcción las medidas de precaución y el cuidado respectivo que el proyecto necesariamente debe cumplir, de manera que pueda resultar útil para otros investigadores.
- Para garantizar la calidad de agua resultante del trabajo que ejecuta el reactor, se recomienda aplicar la ejecución de monitoreo en forma permanente y eficiente en todas sus etapas tal como los señala el presente proyecto en la parte referida al análisis de resultados.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Existen multitud de fuentes que tratan el tema de la digestión anaerobia. Se han seleccionado aquellas que hacen referencia al uso de digestores o reactores anaerobios de bajo costo empleando tecnologías apropiadas y, más concretamente, aquellas que emplean digestores de flujo como el aquí presentado.

### **TESIS**

DIEGO AVENDANO, Allen-Perkins. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN DIGESTOR ANAEROBIO DE FLUJO PISTON QUE TRATE LOS RESIDUOS GENERADOS EN UNA EXPLOTACION GANADERA DE LA LOCALIDAD DE LOJA, ECUADOR, EMPLEANDO TECNOLOGIAS APROPIADAS. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, septiembre 2010.

GUALTEROS MARTINEZ, Sergio Camilo y RENDÓN GALLEGO, John Fredy DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA UN REACTOR UASB MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS QUE SE PRODUCE EN ESTE REACTOR EN LA EMPRESA GASEOSAS LUX S.A. BOGOTA, Universidad de la Salle Facultad Ingeniería de Diseño y Automatización Electrónica Facultad Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

## **MANUALES DE INSTALACIÓN**

Bui Xuan An, Rodriguez L., Sarwatt S V, Preston T. R.. and Dolberg F, 1997. Installation and performance of low-cost polyethylene tube biodigesters on small-scale farms.

Disponible en:

<http://www.fao.org/ag/AGA/agap/frg/feedback/war/W5256t/W5256t06>.

Lylian Rodrigue, Preston, T.R. Biodigester installation manual.

Disponible en:

<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/Recycle/biodig/manual.htm> (ingles).

## **PÁGINAS WEB DE INTERÉS**

Rural Costa Rica: <http://www.ruralcostarica.com/biogas.html> (castellano).

<http://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>

## **VIDEOS EN INTERNET**

Construcción de un biodigestor (parte 1):

[http://www.youtube.com/watch?gl=ES&hl=es&v=hjoSNv\\_plZQ](http://www.youtube.com/watch?gl=ES&hl=es&v=hjoSNv_plZQ)  
(ingles).

Construcción de un biodigestor (parte 2):

[http://www.youtube.com/watch?gl=ES&hl=es&v=\\_EGBedmljM0](http://www.youtube.com/watch?gl=ES&hl=es&v=_EGBedmljM0)  
(ingles).

Construcción de otro biodigestor en Bolivia:

<http://www.youtube.com/watch?gl=ES&hl=es&v=3SI0XEN5Bgo>(castellano).

## **ANEXOS.**

### **INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE AGUA RESIDUAL TRATADA**

Según los valores normales de los estándares de calidad ambiental del recurso hídrico se encuentra ubicada en la categoría 3 de riego de vegetales y bebidas de animales, nos dice los parámetros biológicos de los coliformes termotolerantes equivale a 1000 NMP/ml para el riego de vegetales para tallo bajo y para el riego de tallo alto equivale 2000 NMP/ml.

Según el resultado obtenido de la muestra es de  $<1.8$  NMP/ml lo que indica que habido un aumento de coliformes termotolerantes y comparando con los ECAS sería solo apta para el riego de vegetales de tallo alto, mientras que LMP quiere decir que se encuentra muy debajo de los límites máximos permisible.



**GOBIERNO REGIONAL DE PIURA  
GERENCIA DE DESARROLLO SOCIAL  
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD DE PIURA  
DIRECCIÓN DE LABORATORIOS DE SALUD PÚBLICA**

**INFORME TECNICO N° 0185-2017-GOB.REG-PIURA-DRSP-43002012**

PIURA, 23 DE AGOSTO DE 2017

SOLICITANTE	:	ALBERT GARCIA APONTE
DIRECCION LEGAL	:	A.H. SAN VALENTIN MZ. O LOTE 23 - PIURA
MUESTRA	:	AGUA RESIDUAL DOMESTICA ANTES DEL TRATAMIENTO
PROCEDENCIA	:	ALBERT GARCIA APONTE
CODIGO DE MUESTRA	:	0357
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA	:	14 DE AGOSTO DE 2017
PLAN DE MUESTREO	:	MUESTRA PROTOTIPO (2,250 ml. Aprox.)
FECHA DE EJECUCION DE ENSAYO	:	14 DE AGOSTO DE 2017
DESCRIPCION DE MUESTRA	:	
ENVASE	:	Frascos de vidrio, con tapa rosca. Sin cadena de frio.
ROTULADO	:	Agua Residual Doméstica, Antes del Tto.
FECHA DE PRODUCCION	:	14 DE AGOSTO DE 2017
FECHA DE VENCIMIENTO	:	14 DE AGOSTO DE 2017

**ANALISIS FISICO**

ENSAYO	RESULTADO
Temperatura °C	28.2
PH	4

**ANALISIS QUIMICOS**

ENSAYO	RESULTADO
Sólidos Totales en Suspensión (mg/l)	11816.0
Aceites y Grasas (mg/l)	2515.3
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	742.45
DQO (mg/l)	30800.0

**ANALISIS MICROBIOLÓGICOS**

ENSAYO	RESULTADO
Recuento de Coliformes Termotolerantes NMP/100ml.	1600

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

**ANÁLISIS FÍSICO:**  
1. TEMPERATURA : APHA 2550-B, Vol.I 20<sup>th</sup> ED. 1999  
2. PH : APHA 4500 H<sup>+</sup>-B, Vol.II 20th ED. 1999

**ANÁLISIS QUÍMICOS:**  
1. SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN : APHA 2540 D, Vol.I, 20<sup>th</sup> ED. 1999  
2. ACEITES Y GRASAS : APHA 5520 B, Vol.IV 21<sup>st</sup> ED. 2005

**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS:**  
RECUEENTO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES : APHA 9221 -E-1, 21<sup>st</sup> ED. 2005

3. DBO<sub>5</sub> : APHA 5210 B, Vol.II, 20<sup>th</sup> ED. 1999  
4. DQO : APHA 5220 B, Vol.II 20<sup>th</sup> ED. 1999

**DIRECCION REGIONAL DE SALUD PIURA  
DIRECCION DE LABORATORIOS DE SALUD PUBLICA**  
*[Firma]*  
**BIOLÓG. MARIA DEL ROSARIO MARTIN CIBRIGA**  
DOSP N° 1686  
DPO DE SERVICIO DE CONTROL DE CALIDAD DE ALIMENTOS  
Y VIGILANCIA NUTRICIONAL

Documento emitido en base a los resultados en nuestro laboratorio. La validez del presente documento es por tres (03) meses a partir de la fecha de emisión. Aplicable sólo para el producto y cantidades marcadas siempre y cuando se mantengan las mismas condiciones realizado el muestreo. La muestra para durabilidad de esos productos se almacenará por tres (03) meses a partir de la fecha de realizado el Muestreo. Prohibida la reproducción total y/o parcial del presente documento.

**AV. RAMÓN CASTILLA N° 373 - CASTILLA PIURA - TELÉFONO: 345116 - TELEFAX: 34-5656  
E-mail: labpiura1@yahoo.es**



**GOBIERNO REGIONAL DE PIURA  
GERENCIA DE DESARROLLO SOCIAL  
DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD DE PIURA  
DIRECCIÓN DE LABORATORIOS DE SALUD PÚBLICA**

**INFORME TECNICO N° 0192-2017-GOB.REG-PIURA-DRSP-43002012**

SOLICITANTE	PIURA, 23 DE AGOSTO DE 2017
DIRECCION LEGAL	ALBERT GARCIA APONTE
MUESTRA	A.H. SAN VALENTIN MZ. O LOTE 23 - PIURA
PROCEDENCIA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA TRATADA
CODIGO DE MUESTRA	ALBERT GARCIA APONTE
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA	0369
PLAN DE MUESTREO	17 DE AGOSTO DE 2017
FECHA DE EJECUCION DE ENSAYO	MUESTRA PROTOTIPO (2.250 ml. Aprox.)
DESCRIPCION DE MUESTRA	17 DE AGOSTO DE 2017
ENVASE	Fracons de vidrio, con tapa rosca. Sin cadena de frío.
ROTULADO	No presenta.
FECHA DE PRODUCCION	17 DE AGOSTO DE 2017
FECHA DE VENCIMIENTO	17 DE AGOSTO DE 2017

**ANALISIS FISICO**

ENSAYO	RESULTADO	ESPECIFICACION	REFERENCIA	CONFORMIDAD
Temperatura °C	25.6	< 35	D.S. N°003-2010/MINAM	CONFORME
	4	6.5 - 8.5	D.S. N°003-2010/MINAM	NO CONFORME

**ANALISIS QUIMICOS**

ENSAYO	RESULTADO	ESPECIFICACION	REFERENCIA	CONFORMIDAD
Sólidos Totales en Suspensión (mg/l)	199.0	Máx. 150	D.S. N°003-2010/MINAM	NO CONFORME
Acidos y Grasas (mg/l)	0.30	Máx. 20		CONFORME
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	749.56	Máx. 100		NO CONFORME
DQO (mg/l)	4720.0	Máx. 200		NO CONFORME

**ANALISIS MICROBIOLÓGICOS**

ENSAYO	RESULTADO	ESPECIFICACION	REFERENCIA	CONFORMIDAD
Recuento de Coliformes Termotolerantes NMP/100ml	< 1.8	< 10*	D.S. N°003-2010/MINAM	CONFORME



ANÁLISIS FÍSICO:	APHA 2560-B, Vol I 20° Ed. 1995		
TEMPERATURA	APHA 4500 H <sup>+</sup> D, Vol II 23rd Ed. 1995		
ANÁLISIS QUÍMICOS:		3. DBO <sub>5</sub>	APHA 5210 B, Vol II 20° Ed. 1995
1. SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN	APHA 2540 D, Vol I, 20° Ed. 1995	4. DQO	APHA 5220 B, Vol II 20° Ed. 1995
2. ACIDOS Y GRASAS	APHA 5520 B, Vol IV 21° Ed. 2005		
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS:			
RECUEENTO DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES	APHA 9221 - E : 21° Ed. 2005		

DIRECCIÓN REGIONAL DE SALUD PIURA  
DIRECCIÓN DE LABORATORIOS DE SALUD PÚBLICA  
*[Firma]*  
INGENIERO QUÍMICO DEL BORGADO PEREZ PERAZA CORTÉS  
CIP Nº 1499  
Jefe de Servicio de Control de Calidad de Alimentos  
y Bioseguridad Nutricional

Documento emitido en base a los resultados en nuestro laboratorio. La validez del presente documento es por tres (03) meses a partir de la fecha de emisión. Aplicable sólo para el producto y cantidades marcados siempre y cuando se mantengan las mismas condiciones realizadas al momento. La muestra para determinación de estos productos se almacenará por tres (03) meses a partir de la fecha de realización de Muestreo. Prohibida la reproducción total y/o parcial del presente documento.

**AV. RAMÓN CASTILLA N° 373 - CASTILLA PIURA - TELÉFONO: 345116 - TELEFAX: 34-5656**  
E-mail: labpiura1@yahoo.es



## ANEXO

### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

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

### CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

#### PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.

PARÁMETROS	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
<b>Biológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
Escherichia coli	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
Salmonella sp.		Ausente	Ausente
Vibrio cholerae		Ausente	Ausente