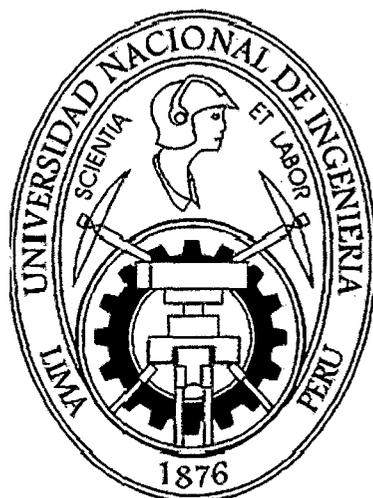


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS DILUIDO CON AGUAS
RESIDUALES EN UNA PLANTA PILOTO A ESCALA DE
UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS CON EL FIN DE
LOGRAR UN EFLUENTE OPTIMO”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO**

PRESENTADO POR:

ÁVILA ARMAS, DEIMER IVÁN

SILVA VÁSQUEZ, CARLOS GABRIEL

LIMA PERÚ

2010

Digitalizado por:

Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse

DEDICATORIA:

A mi mamá Doris, mi Papá, mi tío Oscar,
mi tía Irene, por su amor y apoyo incondicional.

DEIMER IVAN AVILA ARMAS.

A mis padres por su amor y apoyo incondicionales,
Y a mis hermanos por su colaboración y paciencia.

CARLOS GABRIEL SILVA VÁSQUEZ.

AGRADECIMIENTOS:

Al Ingeniero Otto Rosasco Gerkes,
por su acertada dirección en la
elaboración de la presente tesis.

A la ingeniera Rosa Yaya Beas
por sus consejos, paciencia
y disposición constantes.

A nuestro amigo Juan C. Alarcón Córdor,
por su apoyo constante en la
realización de la presente tesis.

A nuestros amigos que
nos permitieron intercambiar
emociones y aprender más cada día.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 2: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	2
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.2 OBJETIVO PRINCIPAL	4
2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS	4
2.4 HIPÓTESIS	4
2.5 VARIABLES DEL ESTUDIO	5
2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES	5
2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES:	7
2.5.3 INDICADORES	8
2.6 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS	9
2.7 MARCO LEGAL	12
2.8 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:	36
CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO	41
3.1 RESEÑA HISTORICA	41
3.2 LIXIVIADOS	42
3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS	43
3.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LIXIVIADOS	44
3.2.3 COMPUESTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS	44
3.2.4 VARIABILIDAD DE LA COMPOSICIÓN DE LIXIVIADOS	46
3.2.5 SUSTANCIAS PELIGROSAS	48

3.2.6	FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS _____	48
3.2.7	EL PROBLEMA DE LA GENERACIÓN DE LOS LIXIVIADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS RELLENOS SANITARIOS _____	49
3.2.8	RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS _____	51
3.2.9	TRANSFORMACIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS QUE OCURREN EN UN RELLENO SANITARIO _____	52
3.3	RELLENO SANITARIO ZAPALLAL _____	56
3.3.1	UBICACIÓN _____	56
3.3.2	VÍAS DE ACCESO _____	57
3.3.3	USO ANTERIOR Y ACTUAL DEL SUELO _____	57
3.3.4	COMPATIBILIDAD DEL USO DEL SUELO _____	57
3.3.5	TIPO Y TONELADAS DE RESIDUOS QUE MANEJA _____	58
3.3.6	INFRAESTRUCTURA PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS _____	59
3.3.7	FRECUENCIA DEL SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS _____	60
3.3.8	LISTADO DE MUNICIPALIDADES, INST. PUBLICAS Y PRIVADAS A QUIEN SE LE BRINDA EL SERVICIO SEGÚN GIRO _____	60
3.3.9	VOLUMEN DEL LIXIVIADO _____	62
3.3.9.1	<i>Propiedades organolépticas</i> _____	62
3.3.10	MUESTREO DEL LIXIVADO _____	63
3.3.10.1	<i>Volumen generado de lixiviado</i> _____	65
CAPITULO 4: TRATAMIENTO BIOLÓGICO _____		66
4.1	TRATAMIENTO BIOLOGICO _____	66
4.2	TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS _____	69
4.2.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO _____	70
4.2.2	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS _____	73
4.2.2.1	<i>Criterios de Carga</i> _____	73
4.2.2.2	<i>Producción de Lodo</i> _____	77
4.2.2.3	<i>Índice Volumétrico de Lodos (IVL)</i> _____	78

4.2.2.4	<i>Las necesidades de Nutrientes</i>	78
4.3	OTROS TIPOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS	79
4.3.1	MODIFICACIONES DEL PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS	79
4.3.1.1	<i>Aireación Prolongada</i>	80
4.3.1.2	<i>Contacto-Estabilización</i>	81
4.3.1.3	<i>Aireación Escalonada</i>	83
4.3.1.4	<i>Aireación descendente</i>	84
4.3.1.5	<i>Proceso Kraus</i>	85
4.3.1.6	<i>Aireación de Alta Carga</i>	86
4.3.1.7	<i>Aireación con Oxígeno Puro</i>	86
4.3.2	LAGUNAS AIREADAS	89
4.3.2.1	<i>Lagunas de mezcla completa</i>	89
4.3.2.2	<i>Lagunas facultativas</i>	90
4.3.3	LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	91
4.3.4	FILTROS PERCOLADORES	93
4.3.5	BIODISCOS	94
CAPITULO 5:	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	97
5.1	UBICACIÓN DE PLANTA PILOTO	97
5.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA PILOTO	98
5.3	MATERIALES DE FABRICACIÓN DE LA PLANTA PILOTO	99
5.4	CRITERIOS DE DISEÑO	103
5.4.1	CRITERIOS ESTRUCTURALES	103
5.4.2	CRITERIOS DE DISEÑO SANITARIOS	103
5.4.3	CONSIDERACIONES DURANTE EL PROC. CONSTRUCTIVO	104
5.5	FLUJO DE AGUA A TRAVES DE LAS DIFERENTES UNIDADES EN LA PLANTA PILOTO	105
5.5.1	UNIDAD DE CAPTACIÓN	105
5.5.2	TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN	106
5.5.3	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	107
5.5.4	UNIDAD CONTROLADORA DE CAUDAL	108
5.5.5	SISTEMA DE AIREACIÓN	111

5.5.6 UNIDAD DE LODOS ACTIVADOS _____	113
5.5.7 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIO _____	115
5.6 PRUEBAS REALIZADAS _____	116
5.6.1 PRUEBAS DE CAMPO _____	116
5.6.2 PRUEBAS DE LABORATORIO: _____	119
CAPITULO 6: PUESTA EN MARCHA _____	129
6.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO: _____	129
6.1.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE CAPTACIÓN _____	131
6.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN – TANQUE DE ALMACENAMIENTO _____	133
6.1.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE CONTROL DE CAUDAL	135
6.1.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AIREACIÓN _____	138
6.1.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS _____	141
6.2 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO _____	142
6.2.1 PUESTA EN MARCHA CON AGUAS RESIDUALES _____	142
6.2.2 PUESTA EN MARCHA CON LIXIVIADO DILUIDO CON AGUAS RESIDUALES _____	144
CAPITULO 7: RESULTADOS OBTENIDOS _____	147
7.1 PLANTA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS _____	147
7.2 RESULTADOS DE MEDICIONES _____	152
7.3 RESULTADOS DE MEDICIONES DE DBO5 _____	152
7.4 EFICIENCIA DEL SISTEMA _____	155
7.5 RESULTADOS DE MEDICIONES DE TURBIEDAD _____	160
7.6 VALORES DIARIOS DE TURBIEDAD _____	166
7.7 RESULTADOS DE MEDICIONES DE PH _____	190
7.8 VALORES DIARIOS DE PH _____	193
7.9 RESULTADOS DE MEDICIONES DE TEMPERATURA _____	217
7.10 RESULTADOS DIARIOS DE TEMPERATURA _____	220
7.11 RESULTADOS DE MEDICIONES DE OXIGENO DISUELTO _____	244

7.12	CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO	248
7.13	RESULTADOS DE MEDICIONES DE SÓLIDOS	249
7.14	RECONOCIMIENTO DE ORGANISMOS OBSERVADOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO	252
7.15	OBSERVACIÓN EN EL SISTEMA PILOTO INSTALADO	261
CAPITULO 8: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		274
8.1	RESPECTO A LA OPERACIÓN DEL SISTEMA PILOTO	274
8.1.1	TEMPERATURA AMBIENTAL	274
8.1.2	VALORES DE PH	275
8.1.3	DBO5 DE LA PLANTA PILOTO	276
8.1.4	TURBIEDAD EN LA PLANTA PILOTO	277
8.1.5	SÓLIDOS PRESENTES EN LA PLANTA PILOTO	277
8.1.6	OXIGENO DISUELTO EN LA PLANTA PILOTO	278
8.1.7	MICROORGANISMOS PRESENTES EN LA PLANTA PILOTO	278
8.1.8	OBSERVACIONES DURANTE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO	279
CAPITULO 9: CONCLUSIONES		280
CAPITULO 10: RECOMENDACIONES		283
CAPITULO 11: BIBLIOGRAFÍA		285

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro N° 2.1: Límites Maxi. Perm.- Ley General de Aguas Clase III</i> _____	18
<i>Cuadro N° 2.2: Límites Maxi. Perm.- Ley Penal del Ambiente</i> _____	29
<i>Cuadro N° 2.3: Recomendaciones de la EPA para el riego con aguas residuales tratadas</i> _____	32
<i>Cuadro N° 2.4: Antecedentes de la EPA para riego con aguas residuales tratadas.</i> _____	36
<i>Cuadro N° 3.1: Clasificación de los lixiviados</i> _____	44
<i>Cuadro N° 3.2: Rangos de composición de un lixiviado, en función del estado de descomposición de la materia orgánica en el relleno sanitario.</i> _____	46
<i>Cuadro N° 3.3: Cuadro Comparativo de los Parámetros DBO5, DQO en los relleno sanitarios de Sudamérica.</i> _____	47
<i>Cuadro N° 3.4: Lista de Usuarios del Relleno de Zapallal</i> _____	61
<i>Cuadro N° 3.5 Caracterización de lixiviados en el relleno sanitario zapallal</i> __	64
<i>Cuadro N° 3.6: Volumen de lixiviado recirculado anualmente en relleno Zapallal</i> _____	65
<i>Cuadro N° 4.1 Ventajas y desventajas del sistema Aerobio y anaerobio (Stephenson, et al, 2000)</i> _____	67
<i>Cuadro N° 4.2: Características operacionales de los procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.625].</i> _____	87
<i>Cuadro N° 4.3: Parámetros de diseño para procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.626].</i> _____	88
<i>Cuadro N° 7.1: Dosis vs Eficiencia.</i> _____	157
<i>Cuadro N° 7.2: Registro de monitoreo anual del Lixiviado de Relleno de Zapallal.</i> _____	248
<i>Cuadro N° 7.3: Resultado de monitoreo del lixiviado utilizado en la Investigación.</i> _____	248

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 3.1: Fases de la Fermentación Anaerobia _____	55
Gráfico N° 7.1: DBO5 a la entrada del Sistema de Tratamiento _____	152
Gráfico N° 7.2: Carga en Kg DBO5/DIA a la entrada del Sistema de Tratamiento _____	152
Gráfico N° 7.3: DBO5 a la Salida del Tanque de Aireación _____	152
Gráfico N° 7.4: Comparación de la DBO5 en el Sistema _____	152
Gráfico N° 7.5: Eficiencia del Sistema _____	152
Gráfico N° 7.6: Eficiencia con desagüe doméstico crudo _____	152
Gráfico N° 7.7: Eficiencia con desagüe doméstico crudo+ lixiviado _____	152
Gráfico N° 7.8: Dosis vs Eficiencia en el Sistema _____	152
Gráfico N° 7.9: Curva de Dosis Óptima _____	152
Gráfico N° 7.10: Curva de Eficiencia vs Dosis Óptima _____	152
Gráfico N° 7.11: Valores de Turbiedad medidos en la mañana _____	160
Gráfico N° 7.12: Valores de Turbiedad medidos a medio día _____	161
Gráfico N° 7.13: Valores de Turbiedad medidos en la tarde _____	162
Gráfico N° 7.14: Eficiencia de Turbiedad en el Sistema de Aireación. (Mañana) _____	163
Gráfico N° 7.15: Eficiencia de Turbiedad en el Sistema de Aireación. (Medio Día) _____	164
Gráfico N° 7.16: Eficiencia de Turbiedad en el Sistema de Aireación. (Tarde) _____	165
Gráfico N° 7.17: Variación de la Turbiedad _____	166
Gráfico N° 7.18: Variación de la Turbiedad _____	167
Gráfico N° 7.19: Variación de la Turbiedad _____	167
Gráfico N° 7.20: Variación de la Turbiedad _____	168
Gráfico N° 7.21: Variación de la Turbiedad _____	168
Gráfico N° 7.22: Variación de la Turbiedad _____	169
Gráfico N° 7.23: Variación de la Turbiedad _____	169
Gráfico N° 7.24: Variación de la Turbiedad _____	170
Gráfico N° 7.25: Variación de la Turbiedad _____	170
Gráfico N° 7.26: Variación de la Turbiedad _____	170
Gráfico N° 7.27: Variación de la Turbiedad _____	170
Gráfico N° 7.28: Variación de la Turbiedad _____	170

<i>Gráfico N° 7.29: Variación de la Turbiedad</i>	170
<i>Gráfico N° 7.30: Variación de la Turbiedad</i>	173
<i>Gráfico N° 7.31: Variación de la Turbiedad</i>	173
<i>Gráfico N° 7.32: Variación de la Turbiedad</i>	174
<i>Gráfico N° 7.33: Variación de la Turbiedad</i>	174
<i>Gráfico N° 7.34: Variación de la Turbiedad</i>	175
<i>Gráfico N° 7.35: Variación de la Turbiedad</i>	175
<i>Gráfico N° 7.36: Variación de la Turbiedad</i>	176
<i>Gráfico N° 7.37: Variación de la Turbiedad</i>	176
<i>Gráfico N° 7.38: Variación de la Turbiedad</i>	177
<i>Gráfico N° 7.39: Variación de la Turbiedad</i>	177
<i>Gráfico N° 7.40: Variación de la Turbiedad</i>	178
<i>Gráfico N° 7.41: Variación de la Turbiedad</i>	178
<i>Gráfico N° 7.42: Variación de la Turbiedad</i>	179
<i>Gráfico N° 7.43: Variación de la Turbiedad</i>	179
<i>Gráfico N° 7.44: Variación de la Turbiedad</i>	180
<i>Gráfico N° 7.45: Variación de la Turbiedad</i>	180
<i>Gráfico N° 7.46: Variación de la Turbiedad</i>	181
<i>Gráfico N° 7.47: Variación de la Turbiedad</i>	181
<i>Gráfico N° 7.48: Variación de la Turbiedad</i>	182
<i>Gráfico N° 7.49: Variación de la Turbiedad</i>	182
<i>Gráfico N° 7.50: Variación de la Turbiedad</i>	183
<i>Gráfico N° 7.51: Variación de la Turbiedad</i>	183
<i>Gráfico N° 7.52: Variación de la Turbiedad</i>	184
<i>Gráfico N° 7.53: Variación de la Turbiedad</i>	184
<i>Gráfico N° 7.54: Variación de la Turbiedad</i>	185
<i>Gráfico N° 7.55: Variación de la Turbiedad</i>	185
<i>Gráfico N° 7.56: Variación de la Turbiedad</i>	186
<i>Gráfico N° 7.57: Variación de la Turbiedad</i>	186
<i>Gráfico N° 7.58: Variación de la Turbiedad</i>	187
<i>Gráfico N° 7.59: Variación de la Turbiedad</i>	187
<i>Gráfico N° 7.60: Variación de la Turbiedad</i>	188
<i>Gráfico N° 7.61: Variación de la Turbiedad</i>	188
<i>Gráfico N° 7.62: Variación de la Turbiedad</i>	188

<i>Gráfico N° 7.63: Valores de PH, a la salida del Si stema de Tratamiento. (Mañana)</i>	190
<i>Gráfico N° 7.64: Valores de PH, a la salida del Si stema de Tratamiento. (Medio día)</i>	191
<i>Gráfico N° 7.65: Valores de PH, a la salida del Si stema de Tratamiento. (Tarde)</i>	193
<i>Gráfico N° 7.66: Variación del PH</i>	193
<i>Gráfico N° 7.67: Variación del PH</i>	194
<i>Gráfico N° 7.68: Variación del PH</i>	194
<i>Gráfico N° 7.69: Variación del PH</i>	195
<i>Gráfico N° 7.70: Variación del PH</i>	195
<i>Gráfico N° 7.71: Variación del PH</i>	196
<i>Gráfico N° 7.72: Variación del PH</i>	196
<i>Gráfico N° 7.73: Variación del PH</i>	197
<i>Gráfico N° 7.74: Variación del PH</i>	197
<i>Gráfico N° 7.75: Variación del PH</i>	198
<i>Gráfico N° 7.76: Variación del PH</i>	198
<i>Gráfico N° 7.77: Variación del PH</i>	199
<i>Gráfico N° 7.78: Variación del PH</i>	199
<i>Gráfico N° 7.79: Variación del PH</i>	200
<i>Gráfico N° 7.80: Variación del PH</i>	200
<i>Gráfico N° 7.81: Variación del PH</i>	201
<i>Gráfico N° 7.82: Variación del PH</i>	201
<i>Gráfico N° 7.83: Variación del PH</i>	202
<i>Gráfico N° 7.84: Variación del PH</i>	202
<i>Gráfico N° 7.85: Variación del PH</i>	203
<i>Gráfico N° 7.86: Variación del PH</i>	203
<i>Gráfico N° 7.87: Variación del PH</i>	204
<i>Gráfico N° 7.88: Variación del PH</i>	204
<i>Gráfico N° 7.89: Variación del PH</i>	205
<i>Gráfico N° 7.90: Variación del PH</i>	205
<i>Gráfico N° 7.91: Variación del PH</i>	206
<i>Gráfico N° 7.92: Variación del PH</i>	206
<i>Gráfico N° 7.93: Variación del PH</i>	207

<i>Gráfico N° 7.94: Variación del PH</i>	207
<i>Gráfico N° 7.95: Variación del PH</i>	208
<i>Gráfico N° 7.96: Variación del PH</i>	208
<i>Gráfico N° 7.97: Variación del PH</i>	209
<i>Gráfico N° 7.98: Variación del PH</i>	209
<i>Gráfico N° 7.99: Variación del PH</i>	210
<i>Gráfico N° 7.100: Variación del PH</i>	210
<i>Gráfico N° 7.101: Variación del PH</i>	211
<i>Gráfico N° 7.102: Variación del PH</i>	211
<i>Gráfico N° 7.103: Variación del PH</i>	212
<i>Gráfico N° 7.104: Variación del PH</i>	212
<i>Gráfico N° 7.105: Variación del PH</i>	213
<i>Gráfico N° 7.106: Variación del PH</i>	213
<i>Gráfico N° 7.107: Variación del PH</i>	214
<i>Gráfico N° 7.108: Variación del PH</i>	214
<i>Gráfico N° 7.109: Variación del PH</i>	215
<i>Gráfico N° 7.110: Variación del PH</i>	215
<i>Gráfico N° 7.111: Variación del PH</i>	216
<i>Gráfico N° 7.112: Valores de Temperatura, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Mañana)</i>	217
<i>Gráfico N° 7.113: Valores de Temperatura, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Medio Día)</i>	218
<i>Gráfico N° 7.114: Valores de Temperatura, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Tarde)</i>	219
<i>Gráfico N° 7.115: Variación de la Temperatura</i>	220
<i>Gráfico N° 7.116: Variación de la Temperatura</i>	221
<i>Gráfico N° 7.117: Variación de la Temperatura</i>	221
<i>Gráfico N° 7.118: Variación de la Temperatura</i>	222
<i>Gráfico N° 7.119: Variación de la Temperatura</i>	222
<i>Gráfico N° 7.120: Variación de la Temperatura</i>	223
<i>Gráfico N° 7.121: Variación de la Temperatura</i>	223
<i>Gráfico N° 7.122: Variación de la Temperatura</i>	224
<i>Gráfico N° 7.123: Variación de la Temperatura</i>	224
<i>Gráfico N° 7.124: Variación de la Temperatura</i>	225

<i>Gráfico N° 7.125: Variación de la Temperatura</i>	225
<i>Gráfico N° 7.126: Variación de la Temperatura</i>	226
<i>Gráfico N° 7.127: Variación de la Temperatura</i>	226
<i>Gráfico N° 7.128: Variación de la Temperatura</i>	227
<i>Gráfico N° 7.129: Variación de la Temperatura</i>	227
<i>Gráfico N° 7.130: Variación de la Temperatura</i>	228
<i>Gráfico N° 7.131: Variación de la Temperatura</i>	228
<i>Gráfico N° 7.132: Variación de la Temperatura</i>	229
<i>Gráfico N° 7.133: Variación de la Temperatura</i>	229
<i>Gráfico N° 7.134: Variación de la Temperatura</i>	230
<i>Gráfico N° 7.135: Variación de la Temperatura</i>	230
<i>Gráfico N° 7.136: Variación de la Temperatura</i>	231
<i>Gráfico N° 7.137: Variación de la Temperatura</i>	231
<i>Gráfico N° 7.138: Variación de la Temperatura</i>	232
<i>Gráfico N° 7.139: Variación de la Temperatura</i>	232
<i>Gráfico N° 7.140: Variación de la Temperatura</i>	233
<i>Gráfico N° 7.141: Variación de la Temperatura</i>	233
<i>Gráfico N° 7.142: Variación de la Temperatura</i>	234
<i>Gráfico N° 7.143: Variación de la Temperatura</i>	234
<i>Gráfico N° 7.144: Variación de la Temperatura</i>	235
<i>Gráfico N° 7.145: Variación de la Temperatura</i>	235
<i>Gráfico N° 7.146: Variación de la Temperatura</i>	236
<i>Gráfico N° 7.147: Variación de la Temperatura</i>	236
<i>Gráfico N° 7.148: Variación de la Temperatura</i>	237
<i>Gráfico N° 7.149: Variación de la Temperatura</i>	237
<i>Gráfico N° 7.150: Variación de la Temperatura</i>	238
<i>Gráfico N° 7.151: Variación de la Temperatura</i>	238
<i>Gráfico N° 7.152: Variación de la Temperatura</i>	239
<i>Gráfico N° 7.153: Variación de la Temperatura</i>	239
<i>Gráfico N° 7.154: Variación de la Temperatura</i>	240
<i>Gráfico N° 7.155: Variación de la Temperatura</i>	240
<i>Gráfico N° 7.156: Variación de la Temperatura</i>	241
<i>Gráfico N° 7.157: Variación de la Temperatura</i>	241
<i>Gráfico N° 7.158: Variación de la Temperatura</i>	242

<i>Gráfico N° 7.159: Variación de la Temperatura</i>	<u>242</u>
<i>Gráfico N° 7.160: Variación de la Temperatura</i>	<u>243</u>
<i>Gráfico N° 7.161: Oxígeno Disuelto en el Afluente</i>	<u>244</u>
<i>Gráfico N° 7.162: Oxígeno Disuelto en el Tanque de Aireación</i>	<u>245</u>
<i>Gráfico N° 7.163: Oxígeno Disuelto en el Tanque de Aireación</i>	<u>246</u>
<i>Gráfico N° 7.164: Oxígeno Disuelto en el Sistema de Tratamiento</i>	<u>247</u>
<i>Gráfico N° 7.165: Sólidos Disueltos en el Reactor aerobio</i>	<u>249</u>
<i>Gráfico N° 7.166: Sólidos Totales en el Reactor aerobio</i>	<u>249</u>
<i>Gráfico N° 7.167: Sólidos Suspendidos Totales en el Reactor aerobio</i>	<u>250</u>
<i>Gráfico N° 7.168: Sólidos Fijos en el Reactor aerobio</i>	<u>250</u>
<i>Gráfico N° 7.169: Sólidos Volátiles en el Reactor aerobio</i>	<u>251</u>
<i>Gráfico N° 7.170: Eficiencia con desagüe doméstico crudo+ lixiviado</i>	<u>258</u>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3.1: Factores que intervienen en la formación de lixiviados</i> _____	49
<i>Figura 3.2: Operación de un relleno sanitario</i> _____	50
<i>Figura 3.3: Recirculación del lixiviado en un relleno sanitario</i> _____	52
<i>Figura 4.1 Diagrama de Flujo de un Proceso Convencional de Lodos activados (Ramalho, 1993)</i> _____	70
<i>Figura 4.2: Proceso convencional de aireación prolongada [Ramalho, 1996, p.414].</i> _____	81
<i>Figura 4.3: Canal de oxidación [Ramalho, 1996, p.415].</i> _____	81
<i>Figura 4.4: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529].</i> _____	82
<i>Figura 4.5: Proceso de aireación escalonada [Ramalho, 1996, p.426].</i> _____	84
<i>Figura 4.6: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529]</i> _____	85
<i>Figura 4.7: Esquema de un sistema de tratamiento de fangos activados, con oxígeno puro [Metcalf and Eddy, 1977, p.532].</i> _____	87
<i>Figura 4.8: Regimenes de mezcla de las lagunas aireadas [Ramalho, 1996, p.438].</i> _____	90
<i>Figura 4.9 Relación simbiótica cíclica entre algas y bacterias</i> _____	91
<i>Figura 4.10: Filtro percolador [Stenco, 2000, p.358]</i> _____	94
<i>Figura 4.11: Esquema de una unidad RBC típica [Ramalho, 1996, p.494].</i> _____	95

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía N° 3.1: Vista Panorámica del Relleno de Zapallal</i>	56
<i>Fotografía N° 3.2: Vista de la Poza de lixiviados del Relleno Zapallal</i>	64
<i>Fotografía N° 3.3: Vista de la recirculación del lixiviado en el relleno sanitario</i>	65
<i>Fotografía N° 5.1: Ubicación de Planta Piloto</i>	97
<i>Fotografía N° 5.2: Vista de Planta Piloto</i>	98
<i>Fotografía N° 5.3: Materiales usados en la fabricación de la Planta piloto</i>	102
<i>Fotografía N° 5.4: Unidad de Captación</i>	105
<i>Fotografía N° 5.5: Sistema de bombeo en Captación</i>	106
<i>Fotografía N° 5.6: Vista en planta de Tanque de Homogenización</i>	106
<i>Fotografía N° 5.7: Vista del tanque de Homogenización</i>	107
<i>Fotografía N° 5.8: Tanque de Almacenamiento</i>	108
<i>Fotografía N° 5.9: Vista del controlador de caudal</i>	109
<i>Fotografía N° 5.10: Vista de Sistema de Rebose</i>	110
<i>Fotografía N° 5.11: Llave reguladora de caudal</i>	110
<i>Fotografía N° 5.12: Vista durante la regulación del caudal</i>	110
<i>Fotografía N° 5.13: Compresor para suministro de aire</i>	111
<i>Fotografía N° 5.14: Adaptador de manguera a tubería PVC</i>	111
<i>Fotografía N° 5.15: Red de Tuberías</i>	112
<i>Fotografía N° 5.16: Red de Tuberías con difusores</i>	113
<i>Fotografía N° 5.17: Vista en planta de Reactor Aerobio</i>	114
<i>Fotografía N° 5.18: Vista lateral de Reactor Aerobio</i>	114
<i>Fotografía N° 5.19: Tanque de Sedimentación Secundario (Lado Derecho)</i>	115
<i>Fotografía N° 5.20: Inspección de los tanques con agua limpia</i>	116
<i>Fotografía N° 5.21: Medición de pH y Temperatura</i>	117
<i>Fotografía N° 5.22: Medición de Oxígeno Disuelto</i>	118
<i>Fotografía N° 5.23: Equipo para medición de turbiedad</i>	118
<i>Fotografía N° 5.24: Muestras de desagüe crudo y efluente</i>	120
<i>Fotografía N° 5.25: Reactivos usados durante el laboratorio</i>	120
<i>Fotografía N° 5.26: Botellas Winkler</i>	121
<i>Fotografía N° 5.27: Medición de OD</i>	121
<i>Fotografía N° 5.28: Viales para DQO</i>	122
<i>Fotografía N° 5.29: Espectrofotómetro</i>	123

<i>Fotografía N° 5.30: Medición de sólidos</i> _____	125
<i>Fotografía N° 5.31: Balanza utilizada en el Laboratorio</i> _____	125
<i>Fotografía N° 5.32: Desecadores.</i> _____	126
<i>Fotografía N° 5.33: Estufa utilizado durante la medición</i> _____	126
<i>Fotografía N° 5.34: Mufla</i> _____	127
<i>Fotografía N° 5.35: Horno</i> _____	127
<i>Fotografía N° 5.36: Microscopio</i> _____	128
<i>Fotografía N° 5.37: Vista de Microscopio y Computadora</i> _____	128
<i>Fotografía N° 6.1: Sistema de Tratamiento de Lodos Activados</i> _____	130
<i>Fotografía N° 6.2: Unidad de Captación</i> _____	131
<i>Fotografía N° 6.3: Vista interna de la Unidad de Captación</i> _____	132
<i>Fotografía N° 6.4: Vista del Sistema de Bombeo de la Unidad de Captación</i> _____	132
<i>Fotografía N° 6.5: Vista del Tanque de Homogenización y el Tanque de Almacenamiento</i> _____	133
<i>Fotografía N° 6.6: Vista del Tanque de Homogenización</i> _____	134
<i>Fotografía N° 6.7: Equipo de Bombeo (instalación de accesorios de succión e impulsión)</i> _____	135
<i>Fotografía N° 6.8: Unidad Controladora de Caudal</i> _____	136
<i>Fotografía N° 6.9: Vista del Canal de Rebose de la Unidad Controladora de Caudal</i> _____	137
<i>Fotografía N° 6.10: Válvula de Control de cobre</i> _____	137
<i>Fotografía N° 6.11: Sistema de Aireación</i> _____	138
<i>Fotografía N° 6.12: Compresor de Aire</i> _____	139
<i>Fotografía N° 6.13: Red de Distribución de Aire (Ver plano)</i> _____	140
<i>Fotografía N° 6.14: Difusores Cerámicos</i> _____	140
<i>Fotografía N° 6.15: Vista superior del Sistema de Lodos Activados</i> _____	141
<i>Fotografía N° 6.16: Llenado del tanque de aireación y del tanque de sedimentación</i> _____	142
<i>Fotografía N° 6.17: Vista del Llenado del tanque de aireación</i> _____	143
<i>Fotografía N° 6.18: Vista del tanque de aireación en operación</i> _____	144
<i>Fotografía N° 6.19: Medición del lixiviado a diluir con agua residual</i> _____	145
<i>Fotografía N° 6.20: Vista del proceso de dilución del lixiviado con agua residual en el tanque de homogenización</i> _____	146
<i>Fotografía N° 7.1: Sistema de Tratamiento de Lodos Activados</i> _____	148

<i>Fotografía N° 7.2: Vista del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados</i>	149
<i>Fotografía N° 7.3: Vista Superficial de Tanques de Aireación y Sedimentación.</i>	150
<i>Fotografía N° 7.4: Punto de Monitoreo N°01,02, 03, 04 y 05.06.</i>	151
<i>Fotografía N° 7.5: Navicula</i>	253
<i>Fotografía N° 7.6: Calotrix</i>	253
<i>Fotografía N° 7.7: Alga NO identificada(*)</i>	254
<i>Fotografía N° 7.8: Schizomeris</i>	254
<i>Fotografía N° 7.9: Crucigenia</i>	255
<i>Fotografía N° 7.10: Oocystis</i>	255
<i>Fotografía N° 7.11: Vista de algas</i>	256
<i>Fotografía N° 7.12: Hidrotietyon</i>	256
<i>Fotografía N° 7.13: Philodina</i>	257
<i>Fotografía N° 7.14: Philodina</i>	257
<i>Fotografía N° 7.15: Phidolina</i>	259
<i>Fotografía N° 7.16: Phidolina</i>	259
<i>Fotografía N° 7.17: Formación de huevo en la Philodina</i>	260
<i>Fotografía N° 7.18: Formación de huevos de la especie Philodina</i>	260
<i>Fotografía N° 7.19: Reactor aerobio</i>	261
<i>Fotografía N° 7.20: Vista de presencia de espuma</i>	262
<i>Fotografía N° 7.21: Color del agua en los tanques</i>	262
<i>Fotografía N° 7.22: Color del agua en los tanques</i>	263
<i>Fotografía N° 7.23: Formación de lodo en paredes de tanque</i>	263
<i>Fotografía N° 7.24: Acumulación larvas en tanque de sedimentación</i>	264
<i>Fotografía N° 7.25: Vista de pared de los tanques</i>	264
<i>Fotografía N° 7.26: Vista de parte superficial del tanque aireado.</i>	265
<i>Fotografía N° 7.27: Vista lateral de los tanques (aireado-sedimentación).</i>	265
<i>Fotografía N° 7.28: Vista lateral de los tanques.</i>	266
<i>Fotografía N° 7.29: Vista lateral de los tanques.</i>	266
<i>Fotografía N° 7.30: Muestra de desagüe con lixiviado</i>	267
<i>Fotografía N° 7.31: Vista de difusores</i>	268
<i>Fotografía N° 7.32: Vista del difusor cambiado.</i>	269
<i>Fotografía N° 7.33: Vista de la red de difusores.</i>	270
<i>Fotografía N° 7.34: Vista de las muestras de desagüe.</i>	271

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Es evidente que los impactos ambientales de mayor importancia que se pueden generar durante la operación de un sistema de disposición final de residuos sólidos en un Relleno Sanitario, son sin duda alguna los lixiviados. El peligro potencial de los lixiviados es la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, que pueden darse por escurrimientos no controlados o por infiltración a través de formaciones permeables. La afectación de los acuíferos provoca que sean inutilizados por largo tiempo ya que su regeneración toma muchos años.

Este estudio se realizó con la finalidad de proponer una alternativa de solución al manejo de los lixiviados, a través del tratamiento biológico por medio de lodos activados.

Además permitirá determinar las ventajas comparativas, tanto económicas como técnicas que ofrece este sistema de tratamiento que se plantea.

Para tal fin ha sido necesario monitorear la calidad del lixiviado generado y tratado en el sistema piloto, para lo cual se midieron parámetros como pH, T°, Sólidos Totales, disueltos y suspendidos, así como el nivel de Remoción de carga orgánica a través de la DQO y DBO5.

Este trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UNI – UNITRAR, iniciándose el 01 de Febrero del 2010 con la construcción de dos celdas piloto y concluyendo el 30 de julio del 2010.

CAPITULO 2

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El enfoque clásico de la operación de un Relleno Sanitario presenta dos principales problemas que resultan ser la generación de los gases invernadero y los lixiviados producidos.

El tratamiento del lixiviado generados en los rellenos sanitarios nos ayudara a mejorar los impactos ambientales que puede producir este efluente ya que si se vierte al medio ambiente significaría un grave problema de contaminación, en el medio ambiente que puede ser el suelo y el agua tanto superficialmente y subterránea.

En cuanto a los lixiviados producidos, no existe una práctica adecuada de tratamiento de estos productos, no obstante, su recirculación a través de las capas de residuos sólidos dispuestos es una práctica común en nuestro medio, en zonas de las costa, sin embargo, no es una solución al problema, pues la generación depende mucho de factores climáticos, en la selva y sierra es mayor, es de vital importancia proponer una alternativa viable para el tratamiento de los lixiviados.

2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el tratamiento de los lixiviados en el Perú no se realiza, existen otras alternativas como la recirculación pero esta alternativa no es una solución final a su ciclo de formación de los lixiviados.

Si bien la recirculación de los lixiviados a través de las capas de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario, no resulta ser la solución definitiva al problema del manejo de los lixiviados producidos, ya que estos siempre siguen generándose y mucho más si las condiciones climáticas del lugar lo permiten.

Existen plantas de tratamiento de aguas servidas, que podrían servir para dosificar de una manera ponderada el lixiviado, logrando de esta manera tratar el lixiviado de manera óptima.

2.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque clásico de la operación de un Relleno Sanitario presenta dos principales problemas que resultan ser la generación de los gases invernadero y los lixiviados producidos.

El tratamiento del lixiviado generados en los rellenos sanitarios nos ayudara a mejorar los impactos ambientales que puede producir este efluente ya que si se vierte al medio ambiente significaría un grave problema de contaminación, en el medio ambiente que puede ser el suelo y el agua tanto superficialmente y subterránea.

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

- ✓ Determinar la dosis óptima que se debe agregar de lixiviado en una planta piloto a escala, de lodos activados, para no afectar el proceso biológico.

2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- ✓ Evaluar el comportamiento progresivo del sistema biológico en un sistema de lodos activados.
- ✓ Proponer alternativas de diseño de un sistema de tratamiento para los lixiviados diluidos con aguas residuales usando lodos activados.
- ✓ Determinar las eficiencias máximas de un sistema de lodos activados usando lixiviado y desagüe doméstica.
- ✓ Identificar la cantidad lixiviado en porcentaje con respecto al desagüe doméstico a usar, con la finalidad de disminuir la cantidad contaminante del lixiviado a límites permisibles.
- ✓ Determinar lo cantidad de oxigeno a suministrar en un sistema de lodos activados con la finalidad de lograr disminuir la carga contaminante del lixiviado.
- ✓ Determinar principalmente el porcentaje de remoción de la materia orgánica presente en el lixiviado generado.
- ✓ Generar una alternativa de solución diferente en el manejo de lixiviados, técnica y económicamente factible.

2.4 HIPÓTESIS

La hipótesis de trabajo indica lo siguiente:

- ✓ Diluyendo el lixiviado en aguas residuales, se obtiene características que pueden ser tratadas en un sistema de tratamiento por lodos activados, para obtener porcentajes de remoción apreciables y lograr un efluente dentro de los límites permisibles establecidos.

- ✓ Los lixiviados se pueden tratar en un sistema de tratamiento de lodos activados de aguas residuales, aplicando una dosis óptima sin alterar el proceso biológico y su eficiencia del sistema.

2.5 VARIABLES DEL ESTUDIO

Dado que la presente tesis pretende explicar experimentalmente y en función a teorías las hipótesis planteadas, las variables e indicadores han sido clasificadas en el siguiente orden:

2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Con relación a los indicadores de contaminación, se han considerado para el proceso de monitoreo, las siguientes variables:

- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** Constituye, el parámetro de mayor importancia en la valoración del grado de contaminación de los lixiviados, toda vez que las muestras de residuos sólidos, corresponden a residuos de tipo doméstico, los cuales reúnen características básicamente orgánicas, condición que es determinada cuantitativamente por este indicador.
- ✓ **Sólidos Totales (ST):** Permitirá cuantificar el contenido de sólidos presentes en los líquidos lixiviados y su remoción durante el tiempo de duración del ensayo.
- ✓ **Sólidos Disueltos (SD):** Indicador relacionado directamente con la contaminación de aguas subterráneas, este es un parámetro muy importante, pues la percolación de los lixiviados a través del suelo, promueve una remoción de aquellos elementos en suspensión, ya sean estos orgánicos o inorgánicos; no sucede lo propio con los sólidos disueltos,

pues estos prevalecen hasta entrar en contacto con el agua subterránea.

- ✓ **Potencial de Hidrógeno (pH):** Debido a las variaciones que van a experimentar los lixiviados con relación a sus condiciones iniciales, se hace necesario el monitoreo del comportamiento de este parámetro en función al tiempo de duración del ensayo, pues este parámetro a su vez involucra indirectamente a indicadores como la actividad microbiana.
- ✓ **DQO:** La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida
- ✓ **Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):** corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550 ± 50 °C y se determinan por diferencia de peso.
- ✓ **Ph:** Logaritmo de signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno expresado en moles por litro.
- ✓ **Oxígeno Disuelto (O.D.):** El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir
- ✓ **Temperatura:** Este indicador será monitoreado con motivos referenciales a fin de reforzar el tramo final de la presente investigación referida al planteamiento de conclusiones, toda

vez, que existe una relación directa entre las variaciones de la temperatura en relación a las variaciones de la actividad microbiana.

- ✓ **Turbiedad:** Es el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como micro organismos, arcilla, precipitaciones de óxidos diversos, carbonato de calcio precipitado, compuestos de aluminio, etc.

2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES:

Referido a aquellos factores cuya modificación origina la alteración de las variables dependientes. Para el presente estudio las variables independientes corresponden a:

- ✓ **Caudal:** el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo, en este caso será controlado por medio de válvulas o graduando la potencia de la bomba.
- ✓ **Porcentaje de dilución:** En química, una disolución (del latín disolutio) es una mezcla homogénea o heterogénea, cuyos componentes se encuentran en proporción que varía entre ciertos límites; en este estudio de investigación se tendrá al agua residual como disolvente del lixiviado, en porcentajes según las evaluaciones realizadas.
- ✓ **Tiempo:** Constituye la variable independiente de mayor incidencia, pues en función a esta se van a monitorear cada una de las variables dependientes descritas anteriormente, en este sentido se elaborarán gráficas que van a reflejar el

comportamiento de cada una de las variables dependientes durante el tiempo de duración del ensayo.

2.5.3 INDICADORES

Con relación a los indicadores de contaminación de los lixiviados, se han considerado para el proceso de monitoreo los siguientes:

- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** Constituye, el parámetro de mayor importancia en la valoración del grado de contaminación de los lixiviados, toda vez que las muestras de residuos sólidos, corresponden a residuos de tipo doméstico, los cuales reúnen características básicamente orgánicas, condición que es determinada cuantitativamente por este indicador.
- ✓ **Demanda Química de Oxígeno:** Este parámetro, es importante para establecer correlaciones con otras variables principalmente con la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la determinación de fracciones biológicamente susceptibles a ser oxidadas ya sea por medios químicos o biológicos.

Además, sirve como parámetros de comprobación de los valores obtenidos para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, ya que como veremos más adelante estos conceptos guardan similares tendencias en sus resultados.

- ✓ **Sólidos Disueltos (SD):** Indicador relacionado directamente con la contaminación orgánica, este es un parámetro muy importante, pues la percolación de los lixiviados a través del suelo, promueve una remoción de aquellos elementos en suspensión, ya sean estos orgánicos o inorgánicos; no sucede lo propio con los sólidos disueltos, pues estos prevalecen hasta entrar en contacto con

estratos inferiores del suelo pudiendo incluso alcanzar la napa freática.

- ✓ **Potencial de Hidrógeno (pH):** Debido a las variaciones que van a experimentar los lixiviados con relación a sus condiciones iniciales, se hace necesario el monitoreo del comportamiento de este parámetro en función al tiempo de duración del ensayo, pues este parámetro a su vez involucra indirectamente a indicadores como la actividad microbiana.

- ✓ **Temperatura:** Este indicador será monitoreado con motivos referenciales a fin de reforzar el tramo final de la presente investigación referida al planteamiento de conclusiones, toda vez, que existe una relación directa entre las variaciones de la temperatura en relación a las variaciones de la actividad microbiana.

2.6 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS

Absorción: Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólidos, por difusión.

Adsorción: Fenómeno físico-químico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie.

Agua residual: Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.

DBO₅: Demanda bioquímica adherida a un medio sólidos y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.

DQO: Demanda química de oxígeno, que expresa la cantidad de oxígeno consumida por los cuerpos reductores en un agua sin intervención de los microorganismos.

pH: Logaritmo de signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno expresado en moles por litro.

Philodina sp.: Son organismos pluricelulares, de pequeño tamaño, visibles a través de microscopía óptica. Presentan un órgano rotatorio, con cilios, de movimiento giratorio, creando fuertes corrientes de agua que le sirven para captar su alimento. Individuo que se caracteriza por presentar dos manchas oculares detrás del palpo dorsal, sobre el cerebro. La cutícula torácica es fina y lisa. El pié tiene cuatro dedos.

Planta de tratamiento: Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

SST: Sólidos suspendidos totales.

SSV: Sólidos suspendidos volátiles.

ST: Sólidos totales.

STV: Sólidos totales volátiles.

Las siguientes definiciones han sido tomadas de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos - Disposiciones Complementarias, Transitorias y Finales (Décima Disposición), de esta se extrae los siguientes:

Botadero: Acumulación inapropiada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que

generan riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria.

Disposición Final: Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos: Persona jurídica que presta servicios de residuos sólidos mediante una o varias de las siguientes actividades: limpieza de vías y espacios públicos, recolección y transporte, transferencia, tratamiento o disposición final de residuos sólidos.

Manejo de Residuos Sólidos: Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final.

Operador: Persona natural que realiza cualquiera de las operaciones o procesos que componen el manejo de los residuos sólidos, pudiendo ser o no el generador de los mismos.

Relleno Sanitario: Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo la tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.

Residuos Domiciliarios: Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.

Riesgo Significativo: Alta probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias indeseables para la salud y el ambiente.

Tratamiento: Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.

2.7 MARCO LEGAL

La presente investigación está enmarcada fundamentalmente dentro de la siguiente legislación:

ASPECTOS LEGALES DE LAS AGUAS RESIDUALES EN EL PERU

De las Obligaciones, Funciones y Derechos

Constitución Política del Perú 1993, Art.66-68

Los recursos naturales son patrimonio de la nación, siendo el estado quien fija las condiciones de su utilización, determina la política nacional del ambiente y está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

Ley General de servicios de saneamiento, Art. 4, 8,9.

Corresponde al estado a través de sus entidades competentes regular, supervisar la prestación de servicios de saneamiento así como establecer los derechos y obligaciones de las EPS y proteger los derechos de los usuarios por medio del Ministerio de la Presidencia – Superintendencia Nacional de servicios de saneamiento.

Art. 10°

Uno de los sistemas de servicios de saneamiento es el servicio de alcantarillado Sanitario y Pluvial al que le corresponde el tratamiento y disposición de las aguas servidas.

Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento

Inscribirse en el registro de EPS de la Superintendencia.

Prestar el servicio y celebrar con el usuario el contrato de suministro de prestación de servicios.

Emitir factura por el servicio correspondiente y entregado en el domicilio del usuario a tiempo.

Mantener un permanente control de calidad de los servicios que presta.

Publicar en el diario encargado de los avisos judiciales de la localidad y en el diario de mayor circulación de la provincia en cuyo ámbito opera la EPS, el reglamento de prestación de servicios debidamente aprobado por la Superintendencia, así como sus modificaciones.

Contar con sistemas de contabilidad de costos de acuerdo a las directivas que emita la Superintendencia.

Difundir a través de los medios de comunicación social, los incrementos tarifarios aprobados.

Instalar medidores de consumo de acuerdo a los planes de desarrollo previstos y aprobados en el contrato de explotación y de acuerdo a las consideraciones técnicas propias del servicio.

Art. 59°

Son funciones de la EPS:

La recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas, recolección de las aguas pluviales y disposición sanitaria de excretas.

La operación, mantenimiento y renovación de las instalaciones y equipos utilizados en la prestación de los servicios de saneamiento de acuerdo a las normas técnicas correspondiente a lo establecido en el presente Reglamento.

La prestación de los servicios, en los niveles y demás condiciones establecidas en el reglamento de prestación de servicios, la normatividad vigente y contrato de explotación.

La formulación y ejecución de los planes maestros.

El asesoramiento en aspectos técnicos y administrativos a las localidades del ámbito rural de su responsabilidad.

La aprobación y supervisión de los proyectos a ser efectuados por terceros, dentro de su ámbito de responsabilidad.

Art. 56°

Son derechos de la EPS lo siguiente:

Cobrar por el servicio de prestado de acuerdo al sistema tarifario establecido en la Ley el reglamento de Servicio de saneamiento.

Cobrar moras y suspender el servicio en caso de incumplimiento de pago durante 2 meses consecutivos.

Anular conexiones clandestinas, cobrar por daños de bienes de la empresa.

Percibir contribuciones con carácter reembolsable, para financiar ampliaciones de los servicios.

Art. 17°

Los niveles de calidad del servicio, serán establecidos por la superintendencia para cada EPS y en los siguientes aspectos:

Calidad del agua potable, continuidad del suministro, modalidad de distribución.

Modalidad de disposición de las aguas servidas o de la eliminación de excretas.

Calidad del efluente de modo que no afecte las condiciones del cuerpo receptor y del medio ambiente.

Resolución SUNASS N° 180-n7 Medidas inmediatas para evitar la Propagación del cólera y otras enfermedades.

Obligaciones Específicas de las EPS.

Mantener en buenas condiciones operativas las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Dotar a las plantas de tratamiento de aguas residuales de las instalaciones necesarias para la higiene del personal.

Denunciar ante las autoridades competentes a los que extraigan ilícitamente las aguas residuales del sistema de alcantarillado.

Controlar la calidad del agua residual tratada, de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

Definir la zona de influencia de las descargas de agua residuales a través del monitoreo del curso o cuerpo receptor de esta agua, e informar mediante anuncios o carteles ubicadas en zonas cercanas sobre la peligrosidad del uso de estos cursos o cuerpos receptores con fines

recreacionales, agrícola o de pesca. Las EPS deberá denunciar ante las autoridades correspondientes el uso de las aguas residuales para los fines indicados.

Las EPS deben establecer un estricto control en los emisores principales para conocer la tendencia de la presencia del bacilo cólera.

D.S. 02986VC-22-10-86

Se declara de necesidad pública y de preferente interés social el reuso de las aguas servidas del cono sur de Lima Metropolitana, con el objetivo de eliminar la contaminación de las playas en el área de influencia del colector Surco, tratar eficientemente y aprovecharlas en el riego de las pampas de San Bartolo. Encárguese a la Empresa de Servicios de agua Potable y alcantarillado de Lima – SEDAPAL, la planificación, coordinación y ejecución del proyecto definitivo de reuso de las aguas servidas del Cono Sur de Lima Metropolitana.

Código del Medio ambiente, Art. 107°

Es de responsabilidad del ministerio de Salud garantizar la calidad del agua para consumo y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario.

Art. 18°

El estado debe fijar el destino de las aguas residuales, estableciendo zonas prohibidas de descarga de aguas residuales de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales y subterráneas, interiores o marinas, sin tratamiento previo y en cantidades y concentraciones que sobrepasan los niveles admisibles.

DE LAS EVALUACIONES EN AGUAS RESIDUALES

Complementación del Reglamento del título III de LGA, Art. 173°, 180-181

Las aguas terrestres o marítimas del país sólo podrán recibir residuos sólidos, líquidos o gaseosos previa aprobación de la autoridad sanitaria, siempre que sus características físicas – químicas y bacteriológica no superen las condiciones máximas establecidas para dichas aguas.

Los actuales vertimientos domésticos y de poblaciones, para continuar, para continuar utilizando las aguas marítimas y terrestres, deberán ajustarse a las calificaciones para los tramos de las aguas receptoras o zonas costeras. La autoridad sanitaria establecerá los plazos para que los responsables de dichos vertimientos los adecuen de acuerdo a la prioridad de uso y el volumen de la descarga, que DIGESA exige.

Ley marco para el crecimiento de la Inversión Privada, Art. 53°, 55°.

Las EPS deberán contar con la correspondiente certificación de que cumplen con las normas de calidad físico- químico y bacteriológico del agua potable y las condiciones de tratamiento de desagües para su disposición final. Los directores de dichas empresas, en caso de que las mismas no cuente con los certificados de calidad con la periodicidad requerida por el ministerio de salud, incurrirá en el delito previsto en el artículo 305 del código penal.

Está prohibido internar al territorio nacional residuos o desechos cualesquiera sean su origen o estado material, que por su naturaleza, usos o fines resultará peligroso o radiactivo.

Reglamento de L.G. Art. 90°

Cuando se solicite licencias para uso de aguas de filtraciones, desagües, o drenajes para fines agrícolas, estos se otorgarán cuando la calidad, cantidad y la experiencia de su uso permitirán el éxito de la campaña agrícola. Para este efecto deberán acompañarse el estudio hidrológico correspondiente y los análisis respectivos.

Código del Medio Ambiente

El estado fomenta el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre que recuperen los niveles cualitativos que exige la autoridad competente y no se afecte la salubridad.

Ley General de Salud, Art. 104°

Toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, aire, suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del medio ambiente.

DE LOS LÍMITES PERMISIBLES**Actualización del registro de vertimientos a los cursos de agua. RD 033-92-DIGESA**

El vertimiento de residuos de cualquier naturaleza a los cursos de agua deberá ajustarse a los límites permisibles establecidos de acuerdo a la clasificación de las aguas según su uso.

Reglamento de la ley General de aguas, Art 81° y 82°

Las aguas se clasifican en seis tipos I a VI de acuerdo a sus usos. Para los efectos de la protección de las aguas, regirán los siguientes valores límites.

Cuadro N° 2.1: Límites Maxi. Perm.- Ley General de Aguas Clase III

PARÁMETRO	UNIDAD	I	II	III	IV	V	VI
DBO	mg/l	5	5	15	10	10	10
OD	mg/l	3	3	3	3	5	4
Coliformes Totales	NMP/100ml	8.8	20000	5000	5000	1000	20000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	0	4000	1000	1000	200	40000
Selenio	mg/m ³	10	10	50		5	10
Mercurio	mg/m ³	2	2	10		0.1	0.2
PCB	mg/m ³	1	1	1+		2	2
Esteres Estalaos	mg/m ³	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3
Cadmio	mg/m ³	10	10	50		0.2	4
Cromo	mg/m ³	50	50	1000		50	50
Niquel	mg/m ³	2	2	1+		2	**
Cobre	mg/m ³	1000	1000	500		10	*
Plomo	mg/m ³	50	50	100		10	30
Zinc	mg/m ³	5	5	25		20	**
Cianuros	mg/m ³	200	200	1+		5	5
Fenoles	mg/m ³	0.5	1	1+		1	100
Sulfuros	mg/m ³	1	2	1+		2	2
Arsénico	mg/m ³	100	100	200		10	50
Nitratos	mg/l	10	10	100		N.A.	N.A.
M.E.H. (mg/l)-1	mg/l	1.5	15	0.5	0.2		
S.A.A. (mg/l)-2	mg/l	0.5	0.5	1	0.5		
C.A.E. (mg/l) (3)	mg/l	1.5	1.5	5	5		
C.C.E. (mg/l) (4)	mg/l	0.3	0.3	1	1		
Usos		AAD con simple desinfección	AAD con tratamiento con procesos de mezcla y coagulación sedimentación y cloración.	Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.	Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños similares).	Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.	Aguas de zonas de preservación de fauna acuática pesca recreativa o comercial.

Leyenda:

1+ Valor a ser determinado. En caso de sospechar su presencia se aplicará los valores de la columna V provisionalmente.

(1) Material extractable en hexano (grasa principalmente)

(2) Sustancias activas de azul de metileno

(3) Extracto de columnas de carbón activo por alcohol (según de flujo lento)

3.4- Extracto de columnas de carbón activado por cloroformo (Según el método de flujo neto)

AAD Aguas de abastecimiento doméstico

DE LOS USOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Reglamento de los títulos I, II Y III del LGA, Art. 90°

Cuando se solicite licencias para uso de filtraciones, desagües o drenajes, para fines agrícola, estas otorgadas cuando su calidad, cantidad y la experiencia permita el éxito de la campaña agrícola. Para este efecto, deberán presentar un estudio hidrológico y los análisis respectivos.

Complementación del Reglamento del LGA, Art. 182°-184°.

Es lícito usar aguas residuales para irrigación, sólo si cuentan con la autorización sanitaria otorgada por DIGESA, quien deberá manejar un registro actualizado de todas las concesiones otorgadas de riego, de tierras con aguas servidas.

Art. 196°

Está prohibido regar con aguas servidas con o sin tratamiento, vegetales de tallo corto rastreros, que se consuman crudos.

Art. 197°

El uso de aguas servidas está sujeto a un tratamiento previo, se permite su uso en los siguientes casos:

Tratamiento	Especies
Primario	Cultivos alimenticios que incluyan esterilización, especies forestales, algodón y Maíz.
Secundario	Frutales no rastreros, tubérculos, alfalfa u otro forraje para ganado, excepto ganado lechero.
Cámara de rejás	Caña de azúcar.

Art. 198°

Los terrenos irrigados con aguas servidas deben estar cercados y contar con un letrero a una distancia no menor de 20 metros (cultivos regados con aguas servidas).

Art. 199°

Las plantas de tratamiento y los terrenos irrigados con aguas residuales no deben estar ubicados en menos de 100 metros de las poblaciones aledañas.

CODIGO SANITARIO, Art. 144

Las aguas negras y las basuras constituyen recursos susceptibles de aprovechamiento, mediante adecuados procedimientos técnicos sanitarios.

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 0030-84.S.A./DVM, Art.1-4°

La autoridad sanitaria delega al ministerio de agricultura (Administradores técnicos de Distritos de riego) las funciones de control, vigilancia y sanción por la utilización de las aguas servidas con fines de irrigación; las multas que se apliquen se abonarán al Banco de la Nación a la cuenta del Ministerio de Salud – Dirección general de medio ambiente.

CODIGO DEL MEDIO AMBIENTE Art. 111

El estado fomenta el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre que recuperen los niveles cualitativos que exige la autoridad competente y no se afecte la salubridad.

Art. 112

Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos, la flora o la fauna. Las obras deben ser previamente aprobadas.

DE LAS PENALIDADES**COMPLEMENTACIÓN DEL REGLAMENTO DEL TITULO III DEL LGA,
Art. 214**

Quienes efectúen el vertimiento de sus residuos a las aguas terrestres o marinas se le sancionará con una multa de 2 a 50 UIT, las que se aplicarán a las persona natural o jurídica responsable, quedando obligada a reparar los daños y perjuicios ocasionados.

Art. 217°

Toda persona natural o jurídica que utiliza las aguas servidas con fines de irrigación sin antes obtener la autorización sanitaria, o que teniéndola, no cumpliera con lo que ella establece y en las normas legales, se hará acreedor a multas de montos comprendidos entre 2 a 50 sueldos UIT.

CODIGO PENAL, Art. 304

Los que viertan sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza que alteren el medio ambiente, por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicios o alteraciones de la flora, fauna y recursos hidrobiológicos, será privado de libertad de 1 a 3 años o con ciento ochenta a trescientos sesenta y cinco días de multa.

Art. 305

La pena será privativa de libertad de 2 a 4 años y con trescientos sesenta y cinco a setecientos treinta días – multa cuando:

Los actos previstos en el artículo 304 ocasionan peligro para la salud de las personas o para sus bienes.

El perjuicio o alteración ocasionados adquieren un carácter catastrófico.

El agente actuó clandestinamente en el ejercicio de su actividad.

Los actos contaminantes afectan gravemente los recursos naturales que constituyen la base de la actividad económica.

Si como efecto de la actividad contaminante, producen lesiones graves o muerte la pena será:

Privativa de libertad no menor de tres ni mayor de seis años y de trescientos sesenta y cinco a setecientos días – multa en caso de lesiones graves.

Privativa de libertad no menor de cuatro ni mayor de ocho años y de setecientos treinta a mil cuatrocientos sesenta días – multa en caso de muerte.

Art. 307

El que deposita, comercializa o vierte desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados o sin cumplir con las normas sanitarias y de protección del Medio Ambiente, será privado de libertad no mayor de 02 años.

Si el agente es funcionario público, la pena será no menor de uno ni mayor de tres años, e inhabilitación e uno a dos años.

CODIGO DEL MEDIO AMBIENTE, Art. 113 – 114

La violación de las normas que contiene este código y las disposiciones que emanen de el constituyen infracciones administrativas y serán sancionadas por la autoridad competente.

Las infracciones de las normas ambientales, son sujeto pasible de las siguientes sanciones administrativas:

Multa de 0.5 a 200 UIT, si existe internamiento de residuos tóxicos peligrosos.

Imposición de obligaciones compensatorias.

Suspensión o cancelación de licencia de funcionamiento al que genero la infracción.

Art. 119-121

El que elimine vertimientos de contaminantes en la atmósfera, suelo, aguas o el ambiente en general, será reprimido con pena de prisión no mayor de tres años y multa de la renta de 500 a 750 días. Así como los que vierten restos de procesos, utilización o consumo recibirá una sentencia de 4-6 años de prisión y multa de la renta de 500 a 750 días, si tienen carácter tóxico o peligroso los residuos.

Art. 122

Si para el internamiento de residuos o desechos de valiera de documentos falsos (certificados, declaraciones, o cantidades de los mismos, destino, etc.) el causante se someterá a prisión de 4 a 8 años, y multa de la renta de 1,000 a 1,500 días.

Reglamento de la Ley General de la Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento.**Art. 34**

La Superintendencia impondrá sanciones a las EPS en los siguientes casos:

Incumplimiento de normas, disposiciones relativas a la prestación de servicios de saneamiento, incumplimiento de compromisos contractuales.

Sancionará con multas de hasta 100% de porcentaje del ingreso tarifario mensuales promedio, calculados con base a los doce meses anteriores, si la disposición final de aguas servidas no cumple con las normas vigentes.

Art. 35°

Las multas se establecen en función del tipo y grado de infracción definido por los siguientes factores: número de usuarios afectados duración de la infracción u omisión, los efectos o consecuencia, reincidencia en la infracción.

Art. 36°

El monto de las multas serán definidas por el titular del sector; dicho monto de las multas se incrementan automáticamente en 2% mensual acumulativo a valores constantes. En caso de persistencia en el incumplimiento del pago de las mismas, podrá elevarse hasta un 30% de los ingresos tarifarios EPS.

Ley General de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).

La Superintendencia tiene por finalidad garantizar la prestación de los servicios de saneamiento (agua potable, alcantarillado, disposición sanitaria de excretas) promoviendo la salud de la población y conservando el ambiente. Le corresponde proponer políticas y normas para la prestación de los servicios de saneamiento, fiscalizar las sanciones que establezca la legislación sanitaria y evaluar el desempeño de las entidades prestadoras de servicio de saneamiento.

Art. 10 y 14

Correspondiente a SUNASS y se realiza mediante inspección y a través de auditores técnicos o solicitando información a las EPS.

Si la infracción es debidamente comprobada, será sancionado. Con multa de hasta 30% del ingreso tarifario mensuales promedio resolución de los contratos de explotación. Prohibición temporal de repartir dividendos y intervención.

Ley General de salud, Art. 134

Las infracciones a las disposiciones contenidas en la presente ley y su reglamento, será posible a una o más de las siguientes sanciones administrativas, amonestaciones, multa, cierre temporal de establecimientos y suspensiones del registro sanitario.

Decreto supremo N° 029-83-SA, Art. 1-5

Establecen normas para lograr eficaz control y efectividad en el uso de las aguas servidas con fines de irrigación, los que usan las aguas servidas, sin ningún tratamiento, tienen un plazo de seis meses para presentar sus proyectos de tratamiento de las aguas residuales a la autoridad sanitaria y bajo la modalidad asociativa o empresarial; el financiamiento para el control de la utilización de las aguas servidas debidamente tratada, se generará por una cuota mensual por hectárea que abonen los usuarios.

DE LAS AUTORIDADES

Ley Orgánica de las Ministerio de Salud DL N° 351/28-10-85, ART. 1-3

El Sector Salud está conformado orgánicamente por las instituciones y dependencias públicas cuya finalidad primera es el cuidar la salud de la población.

Ley General de Salud Código Sanitario Art. 107

El abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reuso de aguas servidas y disposiciones de residuos sólidos quedan sujeto a las disposiciones que dicta la autoridad competente la que vigilará su cumplimiento.

Ley y Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud. Art. 73, 80, 82.

La dirección general de salud ambiental (DIGESA) es el órgano de línea técnico normativo a nivel nacional, encargado de supervisar, controlar, evaluar a los sectores de salud, además los aspectos de la protección al ambiente y saneamiento.

La dirección ejecutiva de saneamiento básico tiene entre sus funciones la evaluación del tratamiento de las aguas servidas.

Reglamento de los Títulos I, II, III de LGA, Art. 68

Se denomina la autoridad sanitaria a la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

Art. 69, 70, 73

DIGESA, tiene las siguientes funciones: vigilar que no se contamine, llevar un registro de los residuos que van a las aguas, estudiar las solicitudes relacionadas a vertimientos e informar a la autoridad superior, inspeccionar y verificar el cumplimiento de las disposiciones reglamentarias vigentes.

Art. 80

Revisar y estudiar los actuales vertimientos de residuos a los cursos de aguas o a las zonas costeras, a fin de proceder a modificaciones, reestructuración o acondicionamiento, pudiendo prohibir el vertimiento de los desechos, si el caso lo requiere.

Art. 58

Todo proyecto de vertimientos de desagües domésticos, industriales de poblaciones u otros deberá ser aprobado por la autoridad sanitaria, previo a cualquier trámite de aprobación, licencia o construcción.

Art. 51, 173

Las aguas terrestres o marítimas del país, sólo podrán recibir vertimientos previa aprobación de la autoridad sanitaria.

Complemento del Reglamento del Título II de LGA, Art. 174, 178.

Uso de las aguas terrestres o marítimas del país con receptoras:

Los establecimientos públicos e industriales en la actual operación, que vierten sus residuos a los cuerpos acuáticos, para continuar con dicho uso, deben presentar a DIGESA (plazo máximo seis meses) lo siguiente:

Plano general de ubicación del local, club, hotel, etc. Con indicación del curso de agua al que se vierten los residuos.

Planos de las redes de agua y desagüe.

Planos de la planta de tratamiento de desagües, existente o proyectada.

Análisis físico- químico y biológico de los desagües, temperatura y volumen en el punto de vertimiento.

Art. 176

Los usuarios están obligados a cubrir los gastos de supervisión y de cumplir con las recomendaciones para acceder a la autorización.

Art. 179

DIGESA inspecciona, evalúa y resuelve que cumplidos todos los requisitos otorga autorización sanitaria; en la que constarán las especificaciones:

- La aprobación de las obras e instalaciones efectuadas.
- La ubicación del establecimiento que vierte sus residuos y el punto de vertimiento.
- La calificación del curso de agua o tramo de él o de la zona costera.
- Causal de vertimiento.
- La tasa a abonarse, por adelantado, ya sea trimestral o semestral.
- Las causales de la caducidad de la autorización del uso.
- El plazo de vigencia de la autorización.

Art. 207

Toda persona natural o jurídica, incluyendo las entidades del sector público nacional y de los gobiernos locales regionales, que viertan sus residuos a las aguas terrestres o marinas del país, abonarán una tasa equivalente al 0.0001% de la unidad Impositiva Tributa, por metro cúbico.

Para cumplimiento del monto de pago, se llevará el cociente volumen/tiempo a volúmenes anuales, efectuándose el pago proporcional por adelantado, ya sea trimestral o semestral, según lo disponga la autoridad sanitaria.

Art. 190, 191

Las aguas servidas para la irrigación:

Toda licencia para el uso de aguas servidas con fines de irrigación, se presentará al ministerio de agricultura, deberá contar con autorización del ministerio de salud y será previa a cualquier otra.

Art. 192°

Para tramitar la autorización sanitaria del uso de aguas servidas con fines de irrigación, deberán presentar:

Solicitud dirigida al Director General del Medio del Ministerio de Salud.

Estudios de Ingeniería justificativos del Proyecto.

Planos de la zona a irrigar, a escala y detallados.

Planos de los Sistemas de captación de las aguas servidas, incluyendo desarenadores, eliminación del material grueso, bombeo, derivación de excesos y de toda otra estructura previa al sistema de tratamiento.

Planos del sistema de tratamiento cuando fuera necesario, de acuerdo al tipo de cultivos a irrigar, mostrando plantas, perfiles y detalles especiales.

Relación de las especies vegetales que desea cultivar.

Constancia de pago de las tasas correspondientes, según la escala del artículo 208 del presente reglamento.

Constancia de la entidad encargada del sistema de alcantarillado de la localidad, de que es factible entregar al interesado el uso de las aguas servidas, en el volumen solicitado.

Título de propiedad del terreno o el documento que autorice su uso como terreno de cultivo, para instalar en él, la planta de tratamiento.

Art. 208°

Todo aquel que solicite autorización sanitaria para el uso de aguas servidas con fines de irrigación, abonará una suma de acuerdo con el gasto de agua solicitado de conformidad con las tasas que se indica a continuación:

Caudal	De la U.I.T.
1 a 10 l/s	5%
11 a 30 l/s	7%
31 a 50 l/s	10%
51 a 80 l/s	15%
81 a 100 l/s	18%
101 a 150 l/s	23%
151 a 200 l/s	26%
201 a más l/s	30%

Cada dos años el solicitante deberá renovar la autorización sanitaria, debe abonar el equivalente de la tasa correspondiente para cubrir los gastos de inspección.

Código Sanitario del Perú, Art. 147°, 148°, 150°

La autoridad de salud revisa y aprueba los proyectos de aprovechamiento de los recursos de agua, fiscaliza todos los aspectos que se relacionen con la salud pública.

NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

La Ley Penal del Ambiente 1992-Venezuela, Art. 5°

Los líquidos que se descarguen a un cuerpo receptor no marino, deben cumplir con los siguientes límites permisibles:

Cuadro N° 2.2: Límites Maxi. Perm.- Ley Penal del Ambiente

Parámetro	Límite máximo o rango	Unidades
DBO ₅	60	mg/l
DQO	350	mg/l
Ph	6-9	mg/l
Sólidos Suspendidos	60	mg/l
Sólidos Totales	1500	mg/l
Aceites Minerales	20	mg/l
Aceites grasas vegetales	20	mg/l
Aluminio total	5.0	mg/l
Arsénico total	0.5	mg/l
Bario total	5.0	mg/l
Cadmio total	0.2	mg/l
Cianuro total	0.2	mg/l
Cobalto total	0.5	mg/l

Cobre total	1.0	mg/l
Cromo hexavalente	0.5	mg/l
Cromo total	1.0	mg/l
Detergentes y/o Dispersantes	2.0	mg/l
Fenoles	0.5	mg/l
Fluoruros	10	mg/l
Fósforo total	1	mg/l
Hierro total	10	mg/l
Manganeso total	2.0	mg/l
Mercurio total	0.01	mg/l
Niquel total	2.0	mg/l
Nitrógeno total	10	mg/l
Plata total	0.1	mg/l
Selenio	0.05	mg/l
Sulfuros	0.5	mg/l
Coliformes totales	1000	NMP
Temperatura	No pasar de 3°C	°C
Color	500	Unidades Pt-Co

Las descargas al medio marino – costero sólo podrán efectuarse en zonas donde se produce mezcla rápida del vertido con el cuerpo receptor y deben cumplir con los siguientes parámetros:

Parámetro	Límite máximo o rango	Unidades
Aceites Minerales e hidrocarburos	20	mg/l
Aceites grasas y vegetales animales	20	mg/l
Aluminio total	5.0	mg/l
Arsénico total	0.5	mg/l
Bario total	5.0	mg/l
Cadmio total	0.2	mg/l
Cianuro total	0.2	mg/l
Cobalto total	0.5	mg/l
Cobre total	1.0	mg/l
Color	5000	Unidades Pt-Co
Cromo hexavalente	0.5	mg/l
DBO ₅	60	mg/l
DQO	350	mg/l
Detergentes y/o Dispersantes	2.0	mg/l
Espuma	Ausente	mg/l
Fenoles	0.5	mg/l
Fluoruros	10	mg/l
Fósforo	1	mg/l
Mercurio total	0.01	mg/l
Niquél total	2.0	mg/l
Nitrógeno	10	mg/l
Ph	6-9	mg/l
Plata total	0.1	mg/l
Plomo total	0.5	mg/l
Selenio	0.05	mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes	
Sólidos Suspendedos	60	mg/l
Sulfuros	0.5	mg/l
Zinc	10	mg/l

Fuente: U.S. Departamento del Interior (1979)

Cuadro N° 2.3: Recomendaciones de la EPA para el riego con aguas residuales tratadas

Clase de irrigación	Tratamiento requerido	Calidad del agua	Distancia mínima
Lugares públicos, parques, canchas de golf, cementerios, etc.	Secundario Filtración Desinfección	pH=6-9 DBO5<10mg/l Turbiedad<2UNT Col. Fecales < 200/100 mil Cloro residual>1mg/l	15 metros de pozos destinados al abastecimiento de agua.
Riego de áreas restringidas parques y silvicultura donde el ingreso público éste prohibido o es poco frecuente.	Secundario Filtración Desinfección	pH=6-9 DBO5<30mg/l SS<30mg/l Col. Fecales < 200/100 mil Cloro residual>1mg/l	- 90m. de pozos destinados al abastecimiento de agua. - 30m. de áreas accesibles al público si el riego es por aspersión
Uso en agricultura -cultivos alimenticios no procesados comercialmente. -Riego por aspersión o de cualquier cultivo	Secundario Filtración Desinfección	pH=6-9 DBO5<10mg/l Turbiedad<2UNT Col. Fecales < 200/100 mil Cloro residual>1mg/l	15m. de pozos destinados al abastecimiento de agua.

Clase de irrigación	Tratamiento requerido	Calidad del agua	Distancia mínima
alimenticio incluyendo cultivos de consumo crudo.			
Uso en agricultura -cultivos alimenticios procesados comercialmente. -Riego de superficies o huertos o viñedos.	Secundario Filtración Desinfección	pH=6-9 DBO5<30mg/l SS<30mg/l Turbiedad<2UNT Col. Fecales < 200/100 mil Cloro residual>1mg/l	- 90m. de pozos destinados al abastecimiento de agua. - 30m. de áreas accesibles al público.
Uso en agricultura -cultivos no alimenticios (pasto para animales de leche, cultivo de pastizales, fibras y semillas)	Secundario Filtración Desinfección	pH=6-9 DBO5<30mg/l SS<30mg/l Turbiedad<2UNT Col. Fecales < 200/100 mil Cloro residual>1mg/l	- 90m. de pozos destinados al abastecimiento de agua. - 30m. de áreas accesibles al público, si el riego es por aspersión

LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, LEY N° 27314 (21-07-00)

Artículo 1, Título I: Objeto: La presente Ley establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS (22-07-04)

Artículo 79, Capítulo II, Título V: Operaciones de Tratamiento centralizado de residuos del ámbito de gestión municipal.- La instalación de tratamiento centralizada de residuos del ámbito de gestión municipal, según corresponda, incluye algunas de las siguientes operaciones:

1. Segregación mecanizada, semi-mecanizada o manual de los elementos constitutivos de los residuos adoptándose las necesarias medidas de salud ocupacional a fin de minimizar los riesgos derivados
2. Compactación o embalaje de los residuos para que el transporte, reaprovechamiento, comercialización o disposición final sea más eficiente;
3. Biodegradación de la fracción orgánica de los residuos con fines de producción de energía o de un mejorador de suelo;
4. Uso de la fracción orgánica para la producción de humus a través de la crianza de lombrices, o para el desarrollo de prácticas de compostaje;
5. Tratamiento térmico de la fracción orgánica de los residuos a fin de emplearlos como alimento de animales; y,
- 6. Otras operaciones de tratamiento, que se puedan diseñar e implementar y que cumplan con los requisitos del Reglamento y normas emitidas al amparo de éste.**

Artículo 89, Capítulo III, Título V: Plan de cierre de Infraestructura.- La EPS-RS o la municipalidad provincial que administra una infraestructura de residuos sólidos es responsable de la ejecución del plan de cierre que es aprobado por la DIGESA como parte del EIA o PAMA. Para la ejecución del indicado plan, éste deberá ser replanteado y presentado para su aprobación por la Autoridad de Salud de la jurisdicción, como mínimo 4 años antes del límite del tiempo de vida útil del proyecto de infraestructura, de acuerdo a lo establecido en el literal g) del artículo 8 del Reglamento.

El plan deberá cumplir como mínimo con los siguientes aspectos técnicos, según corresponda al tipo de infraestructura de residuos sólidos:

1. Evaluación ambiental;
2. Diseño de cobertura final apropiada;
3. Control de gases;
- 4. Control y tratamiento de lixiviados;**
5. Programa de monitoreo ambiental;
6. Medidas de contingencia;
7. Proyecto de uso del área después de su cierre; y
8. Otros que la autoridad competente establezca.

DECRETRO DE ALCALDIA N° 147: Reglamento de la Ordenanza N°295/MML “Sistema Metropolitano de Gestión de Residuos Sólidos” (10-12-2001)

Artículo 127, Capítulo IV, Título I, Parte IV: tratamiento del Lixiviado.-
Los lixiviados, serán recepcionados en una poza de captación apropiada en la cual se acumulará para su posterior tratamiento técnico adecuado.

2.8 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Cuadro N° 2.4: Antecedentes de la EPA para riego con aguas residuales tratadas.

PAIS	INVESTIGACIÓN	CONDICIONES OPERATIVAS	EFICIENCIA	AÑO
Turquía	Tratamiento anaerobio – aerobio de lixiviados mediante dos reactores RAFA y un reactor de mezcla completa RMC	DQO variable: 5400 – 20000 mg/L TOR: 4.3 – 16kg DQO/m3.día T°= 37°C-42°C Vol. RAFA:2.5 lts Vol. RMC: 1.32lts. Tiempo de Operación: 42 días. DBO ₅ /DQO= 0.3	DQO: 98% DQO efluente: 208-390 mg/L	Febrero 2004
Turquía	Manejo de lixiviados y aplicaciones alternativas.	DQO variable: 3500 – 28500 mg/L TOR:2.8 KG. DQO/m3.día T°=20°C Vol. RAFA: lts Tiempo de Operación: 42 días. DBO ₅ /DQO= 0.6	DQO: 90% DQO efluente: 350-2850 mg/L	Octubre 2004
Turquía	Caracterización y Tratamiento Anaerobio	DQO variable: 18800 – 47800 mg/L	DQO: 80-90%	Marzo 1999

PAIS	INVESTIGACIÓN	CONDICIONES OPERATIVAS	EFICIENCIA	AÑO
	Del Lixiviado Sanitario de Relleno Sanitario de Estambul	TOR: 1.3-8.3 KG. DQO/m3.día TRH: 2-2.5 días T°=35°C Vol. RAFA: 7.8 lts Tiempo de Operación: 230 días. DBO ₅ /DQO= 0.7		
Finlandia	Comportamiento de un RAFA in situ, tratando lixiviados a bajas temperaturas.	DQO variable: 1500 – 3200 mg/L TOR: 2 – 4kg DQO/m3.día T°= 13°C-23°C Vol. RAFA: 40 lts Tiempo de Operación: 42 días. DBO ₅ /DQO= 0.3	DQO variable: 60%, 74% y 52% DQO efluente: 940-1300 mg/L	Febrero 1997
Bolivia	Tratamiento anaerobio de lixiviados, mediante un RAFA	DQO variable: 7200 – 51000 mg/L TOR: 19 – 136kg DQO/m3.día T°= 9.6°C-22.8°C Vol. RAFA: 27 lts Tiempo de Operación: 70 días. DBO ₅ /DQO= 0.3	DQO variable: 34.97% - 63.57% DQO efluente variable: 2650-11120 mg/L	2003
Corea del Sur	Remoción simultanea orgánica y de nitrógeno de lixiviados municipales utilizando	DQO variable: 10360 – 25600 mg/L TOR: 22.6 – 19.2kg DQO/m3.día	DQO: 80% DQO efluente: 2072-5120 mg/	Enero 2000

PAIS	INVESTIGACIÓN	CONDICIONES OPERATIVAS	EFICIENCIA	AÑO
	un sistema anaerobio – aerobio.	T°= 23°C-36°C Vol. RAFA: 20 lts Vol. Reactor anaerobio: 40 lts Vol. Sedimentador: 5 lts Tiempo de Operación: 225 días. DBO ₅ /DQO= 0.44		
Rusia	Tratamiento anaerobio aerobio combinado de lixiviados bajo condiciones mesofílicas submesofílicas y psicrofílicas	DQO variable: 1430 – 3810 mg/L TOR: 4.22 kg DQO/m ³ .día T°= 30°C-20°C – 10°C respectivamente Vol. RAFA: 2.6 lts Tiempo de Operación: 150 días.	DQO variable:47%- 81% DQO efluente:	Diciembre – Abril 2002
Chile	Tratamiento Anaerobio de lixiviados de un relleno sanitario	DQO variable: 860 – 11520 mg/L TOR: 2 kg DQO/m ³ .día T°= ambiente Vol. RAFA: 1000 lts	DQO variable: 86 +- 5.3% DQO efluente:	

PAIS	INVESTIGACIÓN	CONDICIONES OPERATIVAS	EFICIENCIA	AÑO
		Tiempo de Operación: 45 días		
España	El Tratamiento anaerobio de lixiviados a Escala Piloto RAFA	DQO variable: mg/L TOR: 4-5kg DQO/m3.día Vol. RAFA: 10 lts Tiempo de Operación: 200días DBO ₅ /DQO= 0.4-0.5	DQO variable: 70%	Mayo 1996
España	Comparación del tratamiento anaerobio de lixiviados bajo condiciones mesofílicas submesofílicas psicofílicas	DQO variable:10000 - 64000 mg/L TOR: 15-30 kg. 4-5kg DQO/m3.día T°: 35°C - 20°C - 15° Vol. RAFA: 3.5 lts Tiempo de Operación: 280días DBO ₅ /DQO= 0.57	DQO variable: 60%	Agosto 1996
Canadá	Tratamiento de lixiviados de un Relleno Sanitario con reactores Rafa Secuenciales Batch y de Flujo Continuo	DQO variable:3210 - 9120 mg/L TOR rafas: 6-19.7 kg. DQO/m3.día T°: 35°C TRH= 8-21 días Vol. RAFA: Tiempo Operac:	DQO variable:71 - 92% DQO efluente: 7800-15200	Diciembre 1999

PAIS	INVESTIGACIÓN	CONDICIONES OPERATIVAS	EFICIENCIA	AÑO
		540días DBO ₅ /DQO= 0.86		
Uruguay	Tratamiento Anaerobico- Aerobico de los lixiviados de un relleno sanitario municipal	DQO variable: 18500 mg/L TOR rafas: 20 kg. DQO/m3.día T°: 30°C TRH= 2 días Vol. RAFA: 3.5 lts Tiempo Operac: 300días DBO ₅ /DQO= 0.86	DQO variable:94%	Noviembre 1998

CAPITULO 3

MARCO TEORICO

3.1 RESEÑA HISTORICA

Desde tiempos muy antiguos la disposición de residuos sólidos en botaderos abiertos fue la práctica habitual para muchas ciudades. Incendios, contaminación del agua, malos olores, roedores, moscas y papeles eran los resultados más visibles de este sistema de disposición. El entierro de la basura redujo estos problemas, pero la mejora más importante se produjo con la compactación de las basuras en estratos y cubriéndolas con tierra al final de la operación del día. Este método, denominado relleno sanitario, fue usado por primera vez en California en 1934.

En la actualidad, la preocupación creciente por la protección del ambiente y la salud pública le confiere especial importancia a la disposición final de los residuos sólidos generados y en efecto el método conocido como relleno sanitario, es hoy en día el método de tratamiento final más aplicado en el mundo. Este método por la sencillez de la operación, por los costos involucrados y por la seguridad ambiental que ofrece, resulta atractivo tanto para países desarrollados como para países en vías de desarrollo.

Sin embargo, a pesar de que el relleno sanitario se ha convertido en una alternativa de disposición final de residuos sólidos ampliamente utilizada aún presenta problemas relacionados con la contención y el manejo adecuados de los volúmenes de lixiviados que se generan durante su operación. El peligro potencial de los lixiviados, es la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, que pueden darse por escurrimientos no controlados o por infiltración a través de formaciones permeables.

En la actualidad los métodos de manejo de los lixiviados están referidos a la implementación de capas de contención, mediante sistemas de impermeabilización de fondo que permiten acumular dichos líquidos para posteriormente bombearlos hacia plantas de tratamiento en las cuales se procede a su depuración. El costo de este sistema de contención y tratamiento puede, en el caso de ciudades de pequeño tamaño, ser sumamente elevado lo que en muchos casos impide la selección de un relleno sanitario para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos para dichas localidades.

3.2 LIXIVIADOS

Se llama lixiviado, a los líquidos que se generan en el módulo de un Relleno Sanitario debido a la degradación de la materia orgánica y como producto de la infiltración del agua de lluvia, que, al atravesar ("percolar") la masa de residuos sólidos, disuelve, extrae y transporta ("lixivia") los distintos componentes sólidos, líquidos o gaseosos presentes en los residuos dispuestos.

El lixiviado es efluente de la percolación del líquido que pasa a través de la masa de residuos, que se produce por la descomposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario. El lixiviado al igual que el biogás, es un subproducto de la digestión anaerobia que ocurre en el interior del relleno; de una composición fisicoquímica, variable en el tiempo, que depende de la edad del relleno, características de la zona de ubicación, características del residuo depositado, etc.

Una propiedad que se observa en los lixiviados en general, son los elevados valores de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) que presentan, además de la presencia de trazas de metales pesados, producto de la lixiviación que ocurre dentro del Relleno Sanitario.

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS LIXIVIADOS

- El lixiviado contiene materiales orgánicos e inorgánicos en forma soluble, suspendida o miscible, además de microorganismos patógenos.
- En magnitud, pueden llegar a representar 100 veces más la contaminación orgánica presente en un agua residual típica.
- La calidad del lixiviado depende de factores tales como la composición de la basura y las condiciones en que opera el relleno: grado de compactación, grado de humedad, etc.
- Como producto de la actividad biológica que se desarrolla dentro del relleno, la calidad del lixiviado, varía en el tiempo, tendiendo con el transcurso de los años y la estabilización de la basura a concentraciones cada vez menores de contaminantes.
- Su aspecto es negro, de olor fuerte y penetrante, fluido y, en zonas de acumulación y/o estancamiento, presenta una capa superficial de varios centímetros de espuma.
- La composición media de estos líquidos varía considerablemente según áreas geográficas, edad del Relleno Sanitario y tipo de residuo depositado en el mismo, pero todos coinciden en una alta carga orgánica, DQO y DBO₅; su principal factor contaminante. Los parámetros básicos de caracterización de un lixiviado serán, además de los dos citados, la concentración de sólidos disueltos y en suspensión, dureza, concentración en fosfatos y nitratos, etc.
- El volumen de lixiviados que se producen en un Relleno Sanitario es muy variable según las condiciones medioambientales del entorno, tipo de residuo, etc. Dos de los aspectos que inciden más en la generación de lixiviados son la humedad de los residuos y la pluviosidad de la zona en donde se encuentra el Relleno Sanitario. No olvidemos que agua de lluvia mezclada con lixiviados es considerada lixiviado.

3.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LIXIVIADOS

Los lixiviados se pueden clasificar, de acuerdo a la actividad biológica que se desarrolle en el Relleno Sanitario:

- ✓ Lixiviados Biodegradables ($DBO_5/DQO > 0.3$)
- ✓ Lixiviados Maduros ($DBO_5/DQO 0.1-0.3$)
- ✓ Lixiviados Estabilizados ($DBO_5/DQO < 0.1$)

Según esta clasificación puede ampliarse con la siguiente tabla:

Cuadro N° 3.1: Clasificación de los lixiviados

DBO/DQO Tipo de lixiviado	>0.3 Biodegradable	0.1-0.3 Maduro	< 0.1 Estabilizado
pH	<6.5	6.5-7.5	>7.5
DQO (g/L)	>10	<10	<5
DQO/COT	<2.7	2.0-2.7	>2.0
AGV(%COT)	70-90	20-30	5
SH(%COT)	-----	-----	>60
TRATAMIENTOS		EFICIENCIA	
Biológicos	Buena	EFICIENCIA	Pobre
Precipitación Química	Favorable-Pobre	Favorable	Pobre
Oxidación Química	Favorable-Pobre	Favorable	Buena
Carbón Activado	Favorable-Pobre	Buena - Favorable	Buena
Coagulación	Favorable-Pobre	Buena - Favorable	Buena
Ósmosis Inversa	Favorable	Buena - Favorable	Buena

3.2.3 COMPUESTOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

La descomposición del lixiviado, en un relleno sanitario, está afectada principalmente por el estado de descomposición del residuo depositado (Park et al., 1999).

De forma general gran parte de los residuos orgánicos presentes en el lixiviado está compuesto por los ACV (ácidos grasos volátiles), haciendo del 40 al 90% de la materia orgánica (Albaiges et al., 1986).

Según Iglesias et al., (2000), los ácidos orgánicos volátiles son los mayores contribuyente iniciales, para la elevada concentración de

DQO, en el lixiviado de un relleno Sanitario. De forma general, muchos compuestos aromáticos provienen del metabolismo de las proteínas, y de las ligninas, como los ácidos fenil-acético, fenil propiónico, benzoico, p-hidroxibenzoico entre otros compuestos alicíclicos, alifáticos, terpenos y solventes órgano clorados, pueden estar presentes en los rellenos sanitarios o botaderos, precisamente en el lixiviado (Venkataramani et al., 1984).

Park et al., 1999, relata que la fase de acidificación de un relleno, lleva a la disminución del pH, lo que origina un valor en torno a 4, elevando así la concentración de iones metálicos como cobre, cadmio, plomo, mercurio, zinc, hierro, entre otros en el lixiviado.

Ya en la fase metanogénica, las bacterias metanogénicas comienzan a descomponer el material orgánico de bajo peso molecular, elevando el pH del mismo a 7. (Park .1997).

En cuanto a los componentes inorgánicos más abundantes, presentes en el lixiviado, tenemos el sodio, calcio, amonio y potasio.

La tabla de POHLAND and HARPER (1986), presentada en la Tabla N° 3.2., muestra los valores encontrados en la literatura para la caracterización del lixiviado, en función de la fase de degradación del residuo en el relleno. Además es importante recalcar la gran variabilidad de esos ya mencionados ya anteriormente.

Cuadro N° 3.2: Rangos de composición de un lixiviado, en función del estado de descomposición de la materia orgánica en el relleno sanitario.

Parámetros mg/L	Fases del relleno sanitario				Todas las Fases
	Transición	Acidificación	Metanogénesis	Final	
DBO5	100-10900	100-57700	600-3400	4-120	4-57700
DQO	480-18000	1500-71100	580-9760	31-900	31-71100
COT*	100-3000	500-27700	300-2230	70-260	20-27700
AOV**	100-3000	3000-18800	250-4000	0	0-18800
DBO5/DQO	0.23-0.87	0.4-0.8	0.17-0.64	0.02-0.13	0.02-0.87
TKN	180-160	14-1970	25-82	7-490	7-1970
NH3-N	120-125	2-1030	6-430	6-430	2-1030
PO4-P	0.6-1.7	0.2- 120	0.7-14	0.2-14	0.2-120
Alc. Total	200-2500	140-9650	760-5050	200-3520	140-9650
ST	2450-2050	4120-55300	2090-6410	1460-4640	1460-55300
Ph	6.7	4.7-7.7	6.3-8.8	7.1-8.8	4.7-8.8
Cu	0.085-0.39	0.005-2.2	0.03-0.18	0.02-0.56	0.005-2.2
Fe	68-312	90-2200	115-336	4-20	4-2200
Pb	0.001-0.004	0.01-1.44	0.01-1.0	0.01-0.1	0.001-1.44
Mg	66-96	3-1140	85-550	81-190	3-1140
Mn	0.6	0.6-41	0.6	0.6	0.6-41
Ni	0.02-1.55	0.03-79	0.01-1.0	0.07	0.01-79
K*	35-2300	35-2300	35-2300	35-2300	35-2300
Na+	20-7600				20-7600
Zn	0.06-21	0.65-220	0.4-0.6	0.40	0.06-220
Cd	190-490	70-3900	76-490	76-250	70-3900
Cr	0.023-0.28	0.06-18	0.05	0.05	0.023-18

*Carbono Orgánico Total

**Ácidos Orgánicos Volátiles

Fuente: Pohland and Harper (1986).

3.2.4 VARIABILIDAD DE LA COMPOSICIÓN DE LIXIVIADOS

Se observan grandes variaciones en los resultados de los análisis de los lixiviados provenientes de los rellenos sanitarios o botaderos (Ver Cuadro 3.3). Las razones de ello están referidas a las siguientes características:

- Características de la población generada del residuo. (Nivel de vida y características socioeconómicas y culturales).

- Topografía y geografía local del área de disposición final.
- Formas de coleccionar los residuos. (Con o sin segregación previa).
- Técnicas utilizadas en la construcción y operación de los rellenos.
- Grado de compactación, tipo y características del material de cobertura.
- Calidad y cantidad del tipo de residuo dispuesto.
- Edad del relleno y características hidrológicas y climáticas de la región.

Para observar la variación y similitud de los lixiviados, se recopiló información sobre los valores de los parámetros DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) de algunos relleno sanitarios de América del Sur y México, de los cuales se observó que los valores que presenta el relleno sanitario de Zapallal, tanto en su valor promedio como en el máximo y el mínimo está dentro de los rangos de los demás rellenos sanitarios, tal como se indica en la Cuadro 3.3.

Cuadro N° 3.3: Cuadro Comparativo de los Parámetros DBO5, DQO en los relleno sanitarios de Sudamérica.

RR.SS.	RS Bordo Poniente	RS La Glorita	RS Montevideo	RS Portillo Grande	RS Bordo Poniente	RS La Glorita	RS Montevideo	RS Portillo Grande	RS Bordo Poniente	RS La Glorita	RS Montevideo	RS Portillo Grande
Parámetros	Mínimo				Promedio				Maximo			
DBO	668	402	3400	1166.7	125.9	430.8	10510	12300	19500	459.6	16800	14320
DQO	1050	5417.5	3400	7416.4	8000	8629.2	18550	18922	17000	11841	36500	21896

-RS. Bordo Poniente: Caracterización y tratabilidad de lixiviados de la etapa IV, Bordo Poniente; Torres, Vela, Orta; México.

-RS "La Glorita": Evaluación y Tratabilidad de los lixiviados en el Relleno Sanitario de Ferreira mediante filtro anaerobios de flujo ascendente a escala piloto; Chavarro, Garces, Guerrero, Salas, 2006.

- RS de Montevideo: comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviados de rellenos sanitarios; Universidad de la República, Uruguay.
- RS, Portillo Grande: Monitoreo de Gases y Lixiviados en el RS Portillo Grande años 2005 al 2007.

3.2.5 SUSTANCIAS PELIGROSAS

Según un estudio realizado en Suecia (Febrero 2008), sobre sustancias peligrosas presentes en los lixiviados de los rellenos sanitarios, se detectó la presencia de 55 compuestos orgánicos y metal-orgánicos.

Se puede esperar la presencia de un amplio número de compuestos peligrosos en los lixiviados de los rellenos sanitarios, muchos de los cuales no han sido identificados. Por eso este estudio, análisis muestra proveniente de 12 rellenos sanitarios de municipios de Suecia, para 400 parámetros y compuestos. El estudio detectó más de 90 compuestos orgánicos y metal-orgánicos y 50 elementos inorgánicos, alguno de los cuales parece ser no habían sido detectados anteriormente.

Entre los compuestos detectados, hay compuestos alifáticos halogenados, benceno y alquilbencenos, fenol y alquilfenoles, etoxilatos, compuestos aromáticos poli cíclicos, ésteres, bencenos clorados, fenoles clorados, PBC, dioxinas cloradas y furanos clorados, retardantes de llama bromados, pesticidas, estaño orgánico, metilmercurio y metales pesados.

3.2.6 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA PRODUCCIÓN DE LIXIVIADOS

Los principales factores que gobiernan la formación de lixiviados, son los siguientes:

- ✓ Agua Disponible: Precipitación pluvial, presencia de agua superficial, recirculación de lixiviados e irrigación de cobertura.

- ✓ Características de la cubierta de los residuos: Tipo de suelo y vegetación, grado de compactación del material de cubierta y pendientes de las superficies finales.
- ✓ Características del tipo de residuos: Compactación, composición y contenido de humedad de los residuos cuando fueron dispuestos.
- ✓ Impermeabilización empleada: Tipo de material empleado (natural o artificial), tanto en el fondo como en la cubierta final del confinamiento.

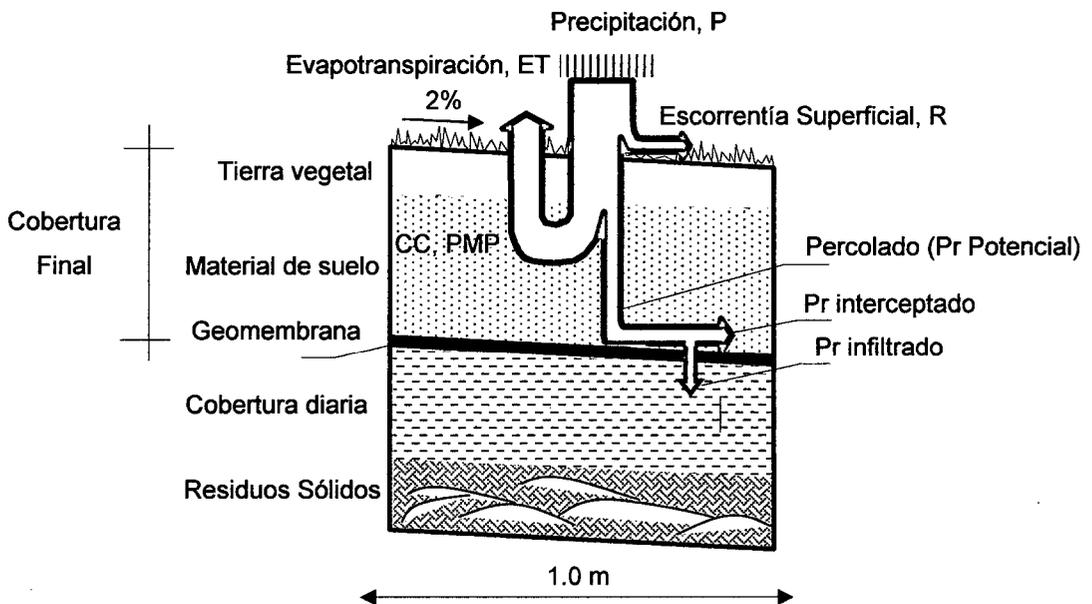


Figura 3.1: Factores que intervienen en la formación de lixiviados

3.2.7 EL PROBLEMA DE LA GENERACIÓN DE LOS LIXIVIADOS EN LA OPERACIÓN DE LOS RELLENOS SANITARIOS

Los lixiviados son una fuente de contaminación sobre la cual no se tiene un control adecuado, esto se debe a diversas razones:

1. Cada uno de los lixiviados que se producen en los diferentes Rellenos Sanitarios tiene distintos tipos de contaminantes. Las cargas orgánicas y de otros contaminantes presentes en los lixiviados, tienden a incrementarse por el crecimiento que

últimamente han experimentado las tasas de residuos sólidos que ingresan a los Rellenos Sanitarios, debido tanto al incremento poblacional, como a los elevados índices de consumismo que se han venido registrando desde hace dos décadas; además de la "peligrosidad potencial" que presentan en la actualidad estos productos consumidos con respecto al pasado, como las pinturas, solventes, baterías y otros materiales que ya son comunes en la composición típica de los residuos sólidos domésticos.

2. Desconocimiento por parte de las Empresas Prestadoras de Servicio de Residuos Sólidos de una alternativa de tratamiento o disposición final que sea técnica y económicamente viable.
3. Costos elevados de los sistemas de tratamiento de lixiviados. Es por ello que en la actualidad, la tecnología que se considere para el diseño y la operación de cualquier sistema de disposición final de residuos sólidos, debe privilegiar sobremanera los dispositivos que permitan eliminar cualquier posibilidad de contaminación tanto del suelo, como agua superficial o subterránea.

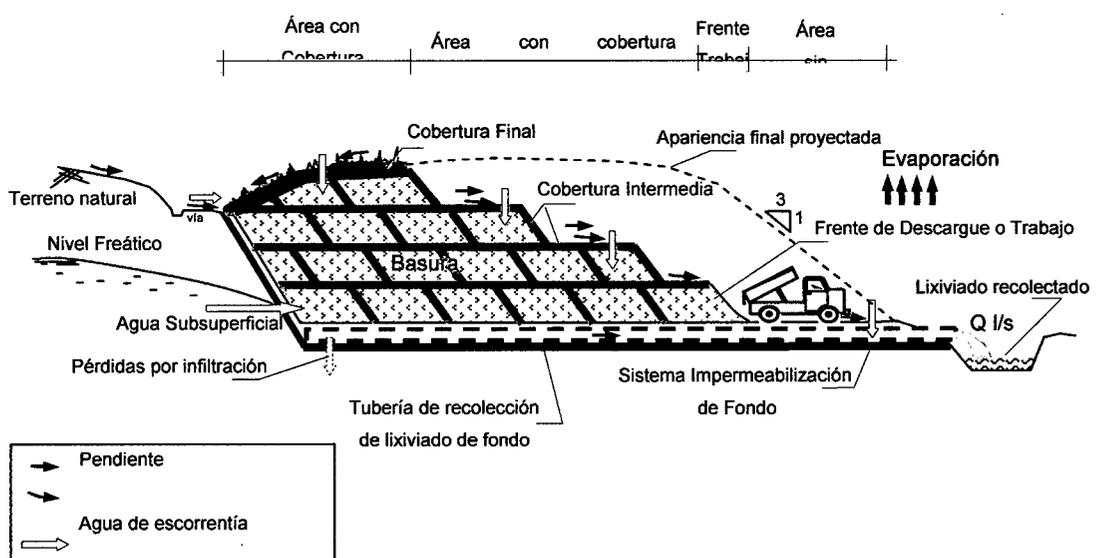


Figura 3.2: Operación de un relleno sanitario

3.2.8 RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS

La recirculación de lixiviado en el relleno, promueve la aceleración del proceso tanto aerobio como anaerobio, dentro del relleno, teniendo inicio en la década del 70, donde se usaban trincheras horizontales, para la recirculación del mismo (REIRHART, and AL – YOSUFI, 1996).

Según Poland (1980), Reinhart y AL – Yousfi, 1996), la recirculación de lixiviados en un relleno es un proceso efectivo de disposición, donde dentro de las ventajas, incluye la aceleración de la estabilidad del residuos, costos reducidos comparados con otro procesos de disposición, distribución de nutrientes y enzimas, aceleración de la producción del biogás, y, el reciclo y distribución de la flora metano génica a lo largo de la celdas del relleno.

Pholand y Gould (1984), observaron que la recirculación del lixiviado, aumenta el contacto entre los sólidos, acelera la estabilización y disminuye los niveles de concentración de metales pesados. Probablemente la presencia de sustancias húmicas generadas de la degradación de la celulosa sea la responsable por la formación de sustancias complejas (metal – humatos) que inmovilizarían los iones metálicos.

Pholand (1980), relata que el recirculado del lixiviado no es aceptado como alternativa de tratamiento en muchos lugares, evidenciando algunos problemas en su utilización como única forma de tratamiento, de los que destaca, que el lixiviado recirculado, podría alcanzar concentraciones de compuestos tóxicos al proceso biológico encima de los límites tolerables, causando retardo o hasta la interrupción de la degradación del residuo.

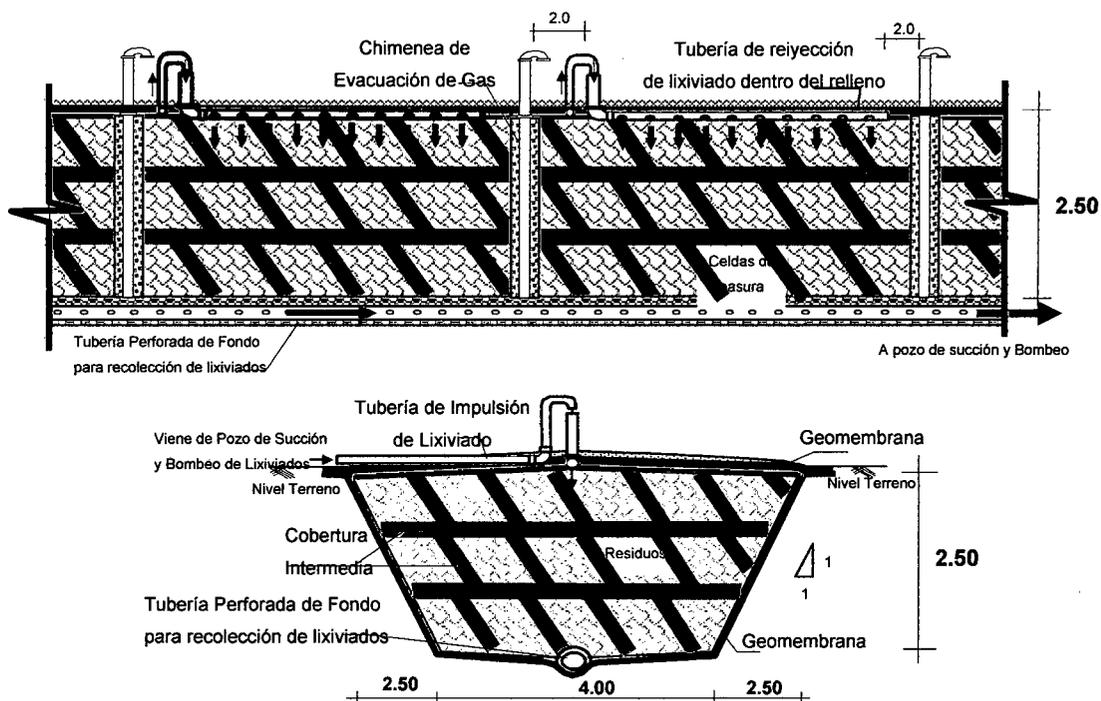


Figura 3.3: Recirculación del lixiviado en un relleno sanitario

3.2.9 TRANSFORMACIONES QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS QUE OCURREN EN UN RELLENO SANITARIO

Además de las transformaciones físicas y químicas que ocurren, el lixiviado generado también sufre transformaciones biológicas en el interior de un relleno, a veces con carga contaminante mayor que el desagüe doméstico (El fadel et al, 1997; Hamada, 1997; Neto y Mota, 1999).

Los procesos predominantes, que ocurren en los relleno sanitarios, son los anaerobios, semejantes a los que ocurren en los biodigestores, anaerobios, (Vasoller, 1999).

De forma generalizada un relleno sanitario funciona como un gran reactor anaerobio en régimen discontinuo. Sin embargo, Park, et al, 1999, dividen el estado de descomposición de un relleno en dos fases; la fase de descomposición aerobia, de corta duración, y la fase de descomposición anaerobia.

La materia orgánica compleja, es degradada a través de una serie de operaciones consecutivas, siendo primera transformada en varios productos intermedios, como ácidos orgánicos volátiles, alcohol y posteriormente transformada en biogás.(Park et al, 1999).

Pholand y Harper (1986), definen 5 fases que ocurren, durante la descomposición de la materia orgánica en un relleno sanitario, que están descritas a seguir:

Fase 01: Ajuste Inicial

Disposición inicial del residuo y acumulación de humedad.

Cierre de cada área del relleno y asentamiento inicial del terreno.

Los primeros cambios en los parámetros ambientales son detectados, revelando el proceso de estabilización.

Fase 02: Fase de Transición

Formación del lixiviado.

Transición de la condición anaerobia a anaerobia.

Receptor primario de electrones pasa de oxígeno para nitratos y sulfatos.

El potencial redox decrece, en el sentido de establece condiciones reductoras.

Aparecen productos metabólicos intermediarios, ácidos orgánicos volátiles en el lixiviado.

Fase 03: Acidificación

Los ácidos orgánicos volátiles AOV, se tornan predominantes con la continua hidrólisis y fermentación de residuos orgánicos.

Disminución de PH, causando movilización y posible formación de complejos de metales pesados.

Liberación y asimilación de nutrientes importantes como nitrógeno y fósforo.

Aparición de H₂, que va controlar la naturaleza de los metabólicos intermediarios.

Fase 04: Metanogénesis

Consumo de los productos intermedios para la formación de metano y dióxido de carbono (biogás).

Estabilización del pH, en un valor controlado por el tampón bicarbonato y la concentración de AOV.

El potencial redox se encuentra en un valor mínimo.

Consumo continuo de nutrientes.

Formación de complejos de metales pesados y la precipitación de los mismos.

La concentración de la fracción orgánica decrece debido a la conversión de biogás.

Fase 05: Maduración Final

Relativa quietud de la actividad biológica, comparada con la intensa actividad anterior de la estabilización de los constituyentes más biodegradables.

Los nutrientes se pueden tomar limitantes.

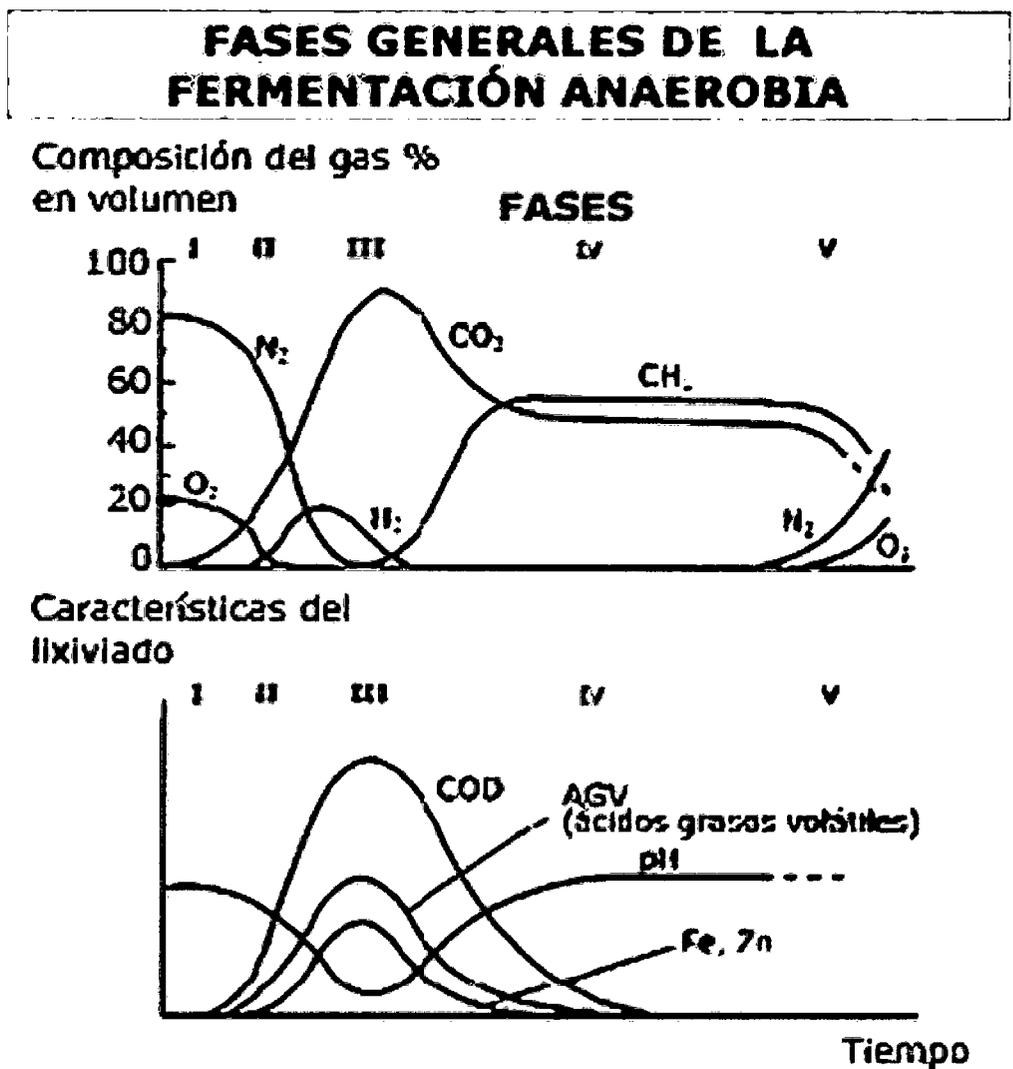
Disminución o cese de la producción de biogás.

Aumento del potencial redox y reaparición del oxígeno y de las especies oxigenadas.

Conversión de los compuestos orgánicos más biorrecalcitrantes y producción de sustancias húmicas capaces de complejar y removilizar metales pesados.

El gráfico presentado a continuación, muestra las diversas fases de estabilización, descritas líneas arriba, observadas en un relleno experimental a escala piloto, que recibió lixiviado recirculado para acelerar el proceso (Pholand and Harper, 1986).

Gráfico N° 3.1: Fases de la Fermentación Anaerobia



Es importante mencionar, que este modelo encuentra limitaciones prácticas en la aplicación de relleno sanitarios reales, ya que el tiempo para completar la capacidad total del relleno es muy largo. En la práctica, ocurren las cinco fases simultáneamente en diferentes sectores del relleno sanitario; el lixiviado recolectado puede ser de una zona específica, del mismo, o de la mezcla de diferentes lixiviados en diferentes fases, obteniendo así una composición variable, según el porcentaje aportado de cada fase de estabilización.

El lixiviado en un relleno sanitario, es la resultante de todas las fases presentadas; esto debido a que los residuos sólidos se

confinan por etapas en el relleno, formando celdas que con el tiempo se van superponiendo.

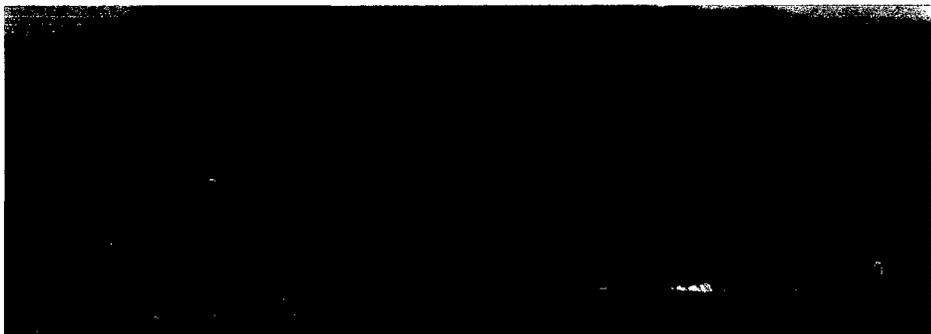
3.3 RELLENO SANITARIO ZAPALLAL

3.3.1 UBICACIÓN

El relleno sanitario El Zapallal se encuentra ubicado en la margen derecha del río Chillón en la zona denominada Lomas de Carabaylo, entre las faldas de los cerros Campana y Cabrera, jurisdicción del distrito de Carabaylo, provincia y departamento de Lima

El terreno que dispone la Municipalidad Metropolitana de Lima para la operación del relleno sanitario tiene una superficie total de 338.89 Has de las cuales:

- 60% = 203 Has. (Aptos para uso como relleno sanitario)
- 40% = 136 Has. (No aptos para uso como relleno sanitario, debido a la presencia de elevaciones rocosas)
- Vías de acceso



Fotografía N° 3.1: Vista Panorámica del Relleno de Zapallal

3.3.2 VÍAS DE ACCESO

El relleno sanitario El Zapallal, se encuentra interconectado a los distritos del cono norte de la ciudad a través de la carretera Panamericana Norte, que constituye la principal vía de comunicación que une al centro de la ciudad con los distritos del cono norte.

La interconexión de la carretera Panamericana Norte, con el relleno sanitario El Zapallal, se inicia a partir del Km 34 de la Panamericana Norte (Ovalo de Zapallal y/o cementerio de Puente Piedra), para luego continuar en dirección Este a través de una vía asfaltada a lo largo de 6.8 kilómetros hasta la garita de control en el lindero perimetral del relleno sanitario.

3.3.3 USO ANTERIOR Y ACTUAL DEL SUELO

La primera actividad realizada en el área del relleno sanitario El Zapallal, fue la disposición final de residuos sólidos bajo el método de relleno sanitario, actividad que se inició en el año 1980 a cargo de la Municipalidad Metropolitana de Lima. Desde ese entonces hasta la fecha el área ha estado y está destinado solo a la disposición final de residuos bajo el método de relleno sanitario y otras modalidades compatibles.

3.3.4 COMPATIBILIDAD DEL USO DEL SUELO

El área del relleno sanitario El Zapallal, cedida en uso a la Municipalidad Metropolitana de Lima para ser usado como relleno sanitario, mediante Resolución Suprema N° 0121 – 79 – VC -5000 del 11.07.1979, como terreno Eriazo, cuenta actualmente con el Certificado de Compatibilidad de Uso, otorgada por la Oficina del Plan de Desarrollo Metropolitano, de la Dirección Municipal de Desarrollo Urbano de la Municipalidad Metropolitana de Lima.

El Certificado de Compatibilidad de Uso, especifica que en el plano de Zonificación General del Distrito de Carabaylo al 2010, el área del relleno sanitario El Zapallal está calificado como Otros Usos (OU) – Relleno Sanitario, por lo que se encuentra en uso conforme.

3.3.5 TIPO Y TONELADAS DE RESIDUOS QUE MANEJA

Tipo de residuos

Considerando que en el relleno sanitario se realiza la disposición final de residuos no peligrosos y peligrosos, se tiene los siguientes tipos:

Residuos sólidos domésticos

Son aquellos residuos que son generados por la población como resultado de la realización de sus actividades rutinarias al interior de las viviendas

Residuos industriales sólidos y semisólidos, asimilables a domésticos

Se denominan así a la materia prima, insumos y productos terminados procedentes de las industria que elaboran y/o envasan productos alimenticios para consumo humano u animal, los que han sido separados o retirados del mercado, debido a fallas o deterioro de los envases, se encuentran con fecha de vencimiento o por alcanzar este límite, retirados del mercado por problemas legales, etc. Se consideran también en este rubro a los residuos de las industrias manufactureras o que procesan productos no contaminantes.

Residuos conformados por lodos y líquidos orgánicos

Se denominan así a los sedimentos y líquidos procedentes de los trabajos de mantenimiento de los colectores de desagües domésticos, a los sólidos y líquidos resultantes del tratamiento de aguas servidas, procedentes de las zonas habitadas. Estos residuos se podrán disponer en la Infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos del ámbito de la gestión no municipal (residuos peligrosos), previo tratamiento de solidificación.

Residuos de Establecimientos de Atención de Salud y Afines

Se denominan así a los residuos generados en los establecimientos de atención de salud públicos y privados.

3.3.6 INFRAESTRUCTURA PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS HOSPITALARIOS

El relleno sanitario El Zapallal, concebido por la Municipalidad Metropolitana de Lima, constituye parte de la infraestructura para el manejo adecuado de los residuos que se generan en el ámbito de Lima Metropolitana. Sus excelentes características de suelo, dirección predominante de los vientos, ausencia total de aguas superficiales y subterráneas, disponibilidad de abundante material adecuado para la cobertura de los residuos, además de su extensión que garantiza una prolongada vida útil, constituye una garantía para la disposición final de residuos domésticos bajo condiciones técnicas, sanitarias y de seguridad.

3.3.7 FRECUENCIA DEL SERVICIO DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS

Las actividades relacionadas a la disposición final de residuos, se realiza durante las 24 horas del día, durante todos los 365 días del año.

3.3.8 LISTADO DE MUNICIPALIDADES, INSTITUCIONES PUBLICAS Y PRIVADAS A QUIEN SE LE BRINDA EL SERVICIO SEGÚN GIRO

Los usuarios del relleno sanitario, a excepción de las EPS-RS que prestan servicio a las Municipalidades distritales y/o de las propias Municipalidades, por lo general son variables.

En la tabla siguiente, se muestra la relación de usuarios del relleno sanitario El Zapallal, registrado en el mes de Julio del 2007.

Cuadro N° 3.4: Lista de Usuarios del Relleno de Zapallal

RELLENO SANITARIO ZAPALLAL	
PRIVADOS	JULIO
RESIDUOS DOMICILIARIOS	TON.
MUNIC. METROPOLITANA DE LIMA	962.47
MUNIC. DE CARABAYLLO	2,543.28
T O T A L	3,505.75
PRIVADOS	
IND. ASIMILABLES A DOMESTICOS	TON.
AUGUSTO C.MULANOVICH IND. Y CO	0.78
CONCYSSA	24.66
DISAL PERU S.A.	1.3
GREEN CARE DEL PERU S.A.	2.45
INDECAUCHO S.A.	4.59
INGEMEDIOS S.A.C.	304.22
JAI PLAST S.R.L.	31.58
PERFILES METALICOS PRECOR S.A.	7.86
PRODAC S.A.	5.37
ULLOA S.A.	17.61
UNI - UNIVERSIDAD NACIONAL DE	15.16
TOTAL	415.58

RELLENO SANITARIO ZAPALLAL	
PRIVADOS	JULIO
EST. SALUD NO Bio y 025 ESCOMBROS	TON.
HOSP.SERGIO BERNALES	30.28
PRIVADOS	JULIO
HOSPITALARIOS - CELDA SEGURIDAD	TON.
CUVEMA S.R.L. SERV. GENER. MA	57.49
DISAL PERU S.A.	42.35
ECOLOGY SERVICE	1.19
GREEN CARE DEL PERU S.A.	0.18
INGEMEDIOS S.A.C.	194.57
TECNOLOGIAS ECOLOGICAS PRISMA	15.84
ULLOA S.A.	0.04
INTER TRANS. JIREH S.A.C.	1.07
SERVICIOS BRUNER EIRL	2.77
EMP.INVERSIONES GNRL. CRISTIAN SRL	0.1
HUANCHAQUITO	36.11
ASISTENCIA AMBIENTAL S.A.C.	0.24
DAHOMO	31.31
ARCUPISA	35.28
TOTAL	418.54

3.3.9 VOLUMEN DEL LIXIVIADO

El volumen de lixiviado generado en el Relleno Sanitario Zapallal, varía en función del tiempo y del tipo de residuos depositado. El método para registrar los volúmenes producidos, está en función del número de viajes internos, que realiza el camión cisterna en el Relleno, desde la poza hasta las plataformas superiores. Dicha unidad tiene una capacidad de 6m³.

3.3.9.1 *Propiedades organolépticas*

El lixiviado del Relleno Sanitario Zapallal, presenta propiedades organolépticas, que se aprecian en las cámaras de inspección y la poza de lixiviados.

3.3.9.1.1 Color

El color que presenta el lixiviado es rojizo oscuro, en pequeñas cantidades, y en la poza de lixiviados el color que se observa es negro.

3.3.9.1.2 Espumas

El lixiviado, si se agita presenta formación de espumas; ello se observa en la recirculación del mismo.

3.3.9.1.3 Olor

El lixiviado, presenta un olor característico, que tiene la propiedad de impregnarse en la ropa y en la piel solo con estar cerca de este, por un determinado tiempo. Dicha característica se debe a los gases que emana el líquido, quedando por verificar que tipo de gases aromáticos expelen.

3.3.10 MUESTREO DEL LIXIVADO

El muestreo de lixiviados del Relleno de Zapallal, se realiza en la poza de lixiviados, que se encuentra en el punto más bajo del área de Disposición Final.

Los equipos y materiales utilizados para el muestreo son: frascos para toma de muestra.

Las muestras tomadas en campo se rotulan en envases de plástico, y son llevadas al laboratorio para los respectivos análisis, los cuales serán analizados por los tesisistas.

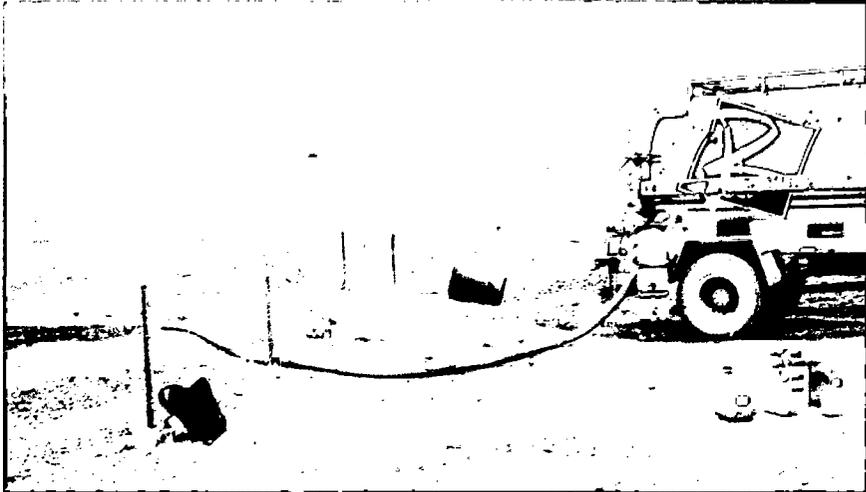
En el Relleno Sanitario de Zapallal, también se realizan muestreo por parte de la Empresa que administra la operación del Relleno, la empresa contrata a una empresa dedicada al monitoreo de los diversos parámetros requeridos.

Cuadro N° 3.5 Caracterización de lixiviados en el relleno sanitario zapallal

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ph		8.7	8.5	7.89	8.2	NO SE REALIZO POR AUSENCIA DE LIXIVIADO EN EL RS EL ZAPALLAL	8.4	8.3	8.3
Temperatura	°C	32	26	25	20		20	20	23.6
Aceites y Grasas	mg/l	2	36	1.58	<5.0		< 5	< 5	14.3
SST	mg/l	690	<4	260	85		44	44.8	62.9
DBO5	mg/l	1230	516.7	432	247		100	433.3	1880
DQO	mg/l	2760	5853	4800	3925.8		4902.2	5266.7	9180.3
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.6x10 ⁴	7.0x10 ⁴	5.5x10 ³	300		< 2	14 x 10 ²	110
Metales pesados									
Cd	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	0.062		0.003	< 0,003	0.007
Cr	mg/l	2.086	9.231	0.69	1.42		0.74	0.6	1.36
Pb	mg/l	<0.01	0.616	<0.01	0.719		0.071	0.135	0.15
Ni	mg/l	0.487	<0.002	0.484	0.87		0.57	0.42	-----
Zn	mg/l	0.544	3.404	0.66	0.394		0.257	0.271	0.205
Hg	mg/l	0.101	0.002	0.015	<0.0003		< 0,0006	< 0,0006	<0.0006
No Metales									
N	mg/l	14.6	104.72	117.18	3241		2414	1.81	3332.78
P	mg/l	9.81	65.01	2.22	33.37	14.72	21.77	18.57	
As		-----	-----	-----		-----	---		



Fotografía N° 3.2: Vista de la Poza de lixiviados del Relleno Zapallal



Fotografía N° 3.3: Vista de la recirculación del lixiviado en el relleno sanitario

3.3.10.1 Volumen generado de lixiviado

Según reportes proporcionados por la Empresa RELIMA, el volumen que recirculan anualmente se detalla en la siguiente tabla.

Cuadro N° 3.6: Volumen de lixiviado recirculado anualmente en relleno Zapallal

AÑO	VOLUMEN (M3)
2009	586
2010	502

Según el cuadro 3.6, se observa que el lixiviado en el Relleno Sanitario de Zapallal, se aproxima a 600 m³.

CAPITULO 4

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los procesos biológicos se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida y disuelta en el agua residual en sólidos sedimentables floculentos que puedan separarse en tanques de sedimentación. Aunque estos procesos se usen junto con los físicos y químicos empleados en el tratamiento preliminar del agua residual, no deben considerarse como sustitutivos de aquéllos. La sedimentación primaria es muy eficaz para separar los sólidos suspendidos de hasta cierto tamaño en tanto que los procesos biológicos lo son en la separación de sustancias orgánicas que sean solubles o estén dentro del tamaño coloidal.

Las características, de los microorganismos que intervienen en las reacciones biológicas para la degradación de la materia orgánica, son las que permiten establecer una clasificación de los procesos biológicos de las aguas residuales. En función de la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables de las reacciones biológicas, los tratamientos biológicos pueden clasificarse en: procesos aerobios, procesos anaerobios y procesos facultativos. Mientras los procesos aerobios son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno, los anaerobios son aquellos que se dan en ausencia de oxígeno y los facultativos aquellos en los que los organismos responsables pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno molecular.

La mayoría de los procesos biológicos son procesos aerobios, principalmente debido a las ventajas que estos procesos presentan frente a

los anaerobios. Sin embargo, los tratamientos anaerobios son también utilizados y juegan un papel importante en la degradación de los lodos generados. En la Tabla 4.1, se indican las ventajas y desventajas de estos procesos:

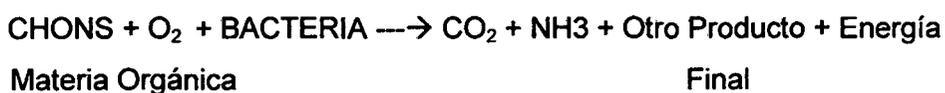
Cuadro N° 4.1 Ventajas y desventajas del sistema Aerobio y anaerobio (Stephenson, et al, 2000)

PARAMETRO	AEROBIOS	ANAEROBIOS
Energía	Alto	Bajo
% de Eliminación	> 95%	60-90%
Producción de fangos	Alta	Baja
Estabilidad	Moderada - Alta	Baja - Moderada
Puesta en Marcha	2-4 semanas	2-4 semanas
Generación de Olores	Menor	Mayor
Alcalinidad	Baja	Alta
Generación de Biogas	No	Sí
Presencia de Nutrientes	Puede ser Alta	Baja

Aerobio:

Es un proceso en la cual los microorganismos ejecutan la oxidación utilizando oxígeno molecular como aceptor de hidrógeno (formando de este modo H₂O). Presenta microorganismos de película fija o adheridos (filtros percoladores y discos biológico rotativos) y de crecimiento suspendido (lodos activados, zanjas de oxidación y lagunas aereadas). La estequiometría del proceso aerobio es la siguiente:

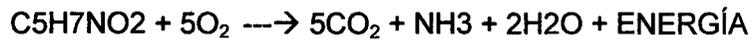
- **Oxidación:**



- **Síntesis:**



- **Respiración Endógena:**



Anaerobio:

Es un proceso de fermentación bacteriana por medio de la cual la materia orgánica es descompuesta, en ausencia de oxígeno disuelto, para producir una mezcla de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), participando 4 familias de bacterias básicas: bacterias Hidrolíticas, bacterias acetogénicas, bacterias metanogénicas y bacterias homo-acetogénicas sin embargo frecuentemente se habla de dos grandes grupos de bacterias, el primer grupo es de bacterias anaeróbicas y facultativas que hidrolizan y fermentan los compuestos orgánicos complejos a ácidos simples y se les llama bacterias formadoras de ácidos. En segundo grupo, convierte el producto anterior en gas metano, hidrógeno sulfurado y bióxido de carbono. Las bacterias más importantes de este grupo crecen muy lentamente lo que constituye un limitante del tratamiento anaeróbico. Realiza la remoción de fósforo y nitrógeno, así como la digestión de lodos. Presenta microorganismos de película fija o adherida (filtros anaerobios) y de crecimiento suspendido (RAFA Y RALF).

Físico:

El principal objetivo de este tipo de tratamiento es el de remover aquellos contaminantes que puedan sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que puedan flotar como las grasas a través de operaciones unitarias como: Tamizado, Mezclado, Floculación, Sedimentación, filtración y Secado.

Químico:

Es un proceso de química donde se agregan compuestos químicos con el fin de remover sólidos suspendidos y DBO₅, pero actualmente ha despertado interés como tratamiento terciario con el fin de remover fósforo, color, química, Transferencia de gas, Absorción, Desinfección y Combustión.

4.2 TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

El proceso de Lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. Este proceso fue desarrollado en Inglaterra por Arden y Lockett [Metcalf and Eddy, 1995, p.436], y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de forma empírica. Sólo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de fangos activados [Ramalho, 1996, p.253]. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, se somete a aireación durante un período de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento.

El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos que cambian continuamente en función de las variaciones de composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos.

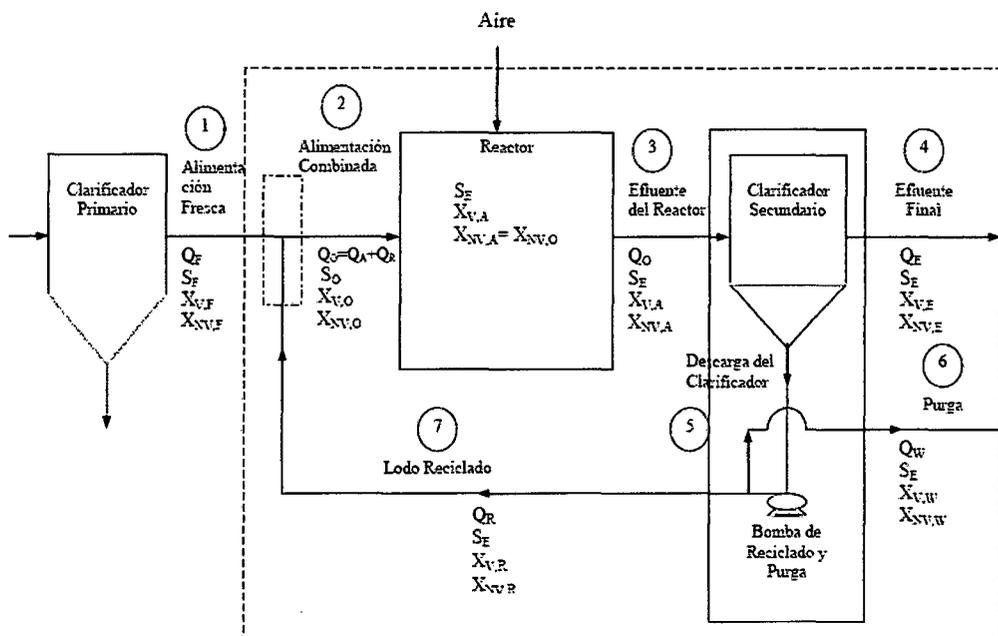
De éstos las bacterias son las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico.

En la actualidad, existen muchas versiones del proceso original, pero son todas fundamentalmente iguales.

4.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Desde el punto de vista del funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados se suele llevar a cabo utilizando un diagrama de flujo como el de la Figura 4.1.

Figura 4.1 Diagrama de Flujo de un Proceso Convencional de Lodos activados (Ramalho, 1993)

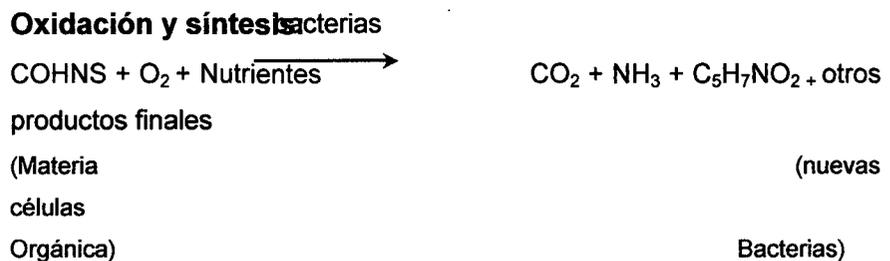


En el diagrama las abreviaturas corresponden a:

- ✓ Q = Caudal
- ✓ S = Concentración de materia orgánica biodegradable (DBO5)
- ✓ XV = Concentración de sólidos suspendidos volátiles
- ✓ XNV = Concentración de sólidos suspendidos no volátiles
- ✓ Subíndices:
- ✓ F = Alimentación
- ✓ E = Efluente
- ✓ W = Purga

- ✓ R = Reciclo
- ✓ A = Reactor aireado
- ✓ = Alimentación combinada

El residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de líquido mezcla o licor mixto. En el reactor el cultivo bacteriano lleva a cabo la conversión en concordancia general con la estequiometría de las ecuaciones siguientes:



El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación (decantador secundario) para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema.

Las composiciones de las diferentes corrientes (numeradas del 1 al 7) están caracterizadas por 3 tipos de concentraciones:

- I. **Concentración de la DBO5 soluble.** Se simboliza mediante $DBO5_i$, en la que el subíndice i indica la corriente específica de que se trate. La DBO5 soluble está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución.

Debe destacarse que el diseño de las plantas de lodos activos se basa en el consumo, eliminación de la DBO5 soluble (también llamada DBO5 carbonosa), y que es la conversión biológica de la materia carbonosa del agua residual en tejido celular y en diversos productos gaseosos. Es importante tener en cuenta que en general, la eficacia del proceso de tratamiento se expresa en términos de porcentaje de eliminación de la DBO5 inicial.

Por otra parte, la DBO5 insoluble se separa mediante sedimentación en los clarificadores primario y secundario.

- II. **Concentración de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).**

Se denotan mediante el símbolo X_{vi} , en el que el subíndice v se refiere a la característica de volatilidad y el subíndice i a la corriente específica de que se trate. Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos.

La determinación experimental de los VSS se lleva a cabo midiendo la pérdida de peso de los sólidos totales en suspensión después de la incineración en una estufa de laboratorio a 600 °C. Esta pérdida de peso corresponde principalmente a la volatilización del lodo biológico. Los sólidos remanentes después de la incineración a 600 °C corresponden a los sólidos en suspensión no volátiles [Ramalho, 1996, p.256]. Su naturaleza es distinta de la de los lodos biológicos, estando constituidos por materia inerte tanto orgánica como inorgánica.

III. **Concentración de sólidos no volátiles en suspensión**

(NVSS). Se indica mediante el símbolo X_{NVi} , en el que NV hace referencia a la no volatilidad de los sólidos e i indica la corriente específica que se trate. Por lo tanto,

$$SST = VSS + NVSS$$

Sólidos en suspensión totales = sólidos volátiles en suspensión + sólidos no volátiles en suspensión

4.2.2 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Para un adecuado control en la operación del Proceso de Lodos activados es necesario considerar los siguientes parámetros:

4.2.2.1 **Criterios de Carga**

Para el control del proceso de lodos activados se han considerado una serie de unos parámetros de control empírico y racional. Este control se logra, regulando adecuadamente, el caudal de recirculación y la purga de lodos.

Dos de los parámetros de uso más común son:

- La relación alimento/microorganismos (A/M)
- El tiempo de retención celular o edad del fango (θ_c)

La relación alimento/microorganismos se define como:

$$A/M = \frac{DBO5_0}{t_h \cdot X_{va}}$$

donde,

- ✓ A/M: relación alimento/microorganismos (h-1)
- ✓ $DBO5_o$: concentración de DBO5 en el afluente (mg/l)
- ✓ t_h : tiempo de retención hidráulica en el tanque de aireación (h)
- ✓ X_{Va} : concentración de microorganismos (SSV) en el tanque de aireación (mg/l)

El tiempo de retención celular o edad del lodo se puede definir, tal y como se ha comentado (cinética del proceso biológico), como:

$$\Theta_c = \frac{V \cdot X_{Va}}{Q_w \cdot X_{Vu} + Q_e \cdot X_{Ve}}$$

- ✓ V: volumen del reactor (m³)
- ✓ Q_w : caudal de lodo purgado (m³/d)
- ✓ X_{Vu} : concentración de microorganismos en el lodo (mg/l)
- ✓ Q_e : caudal del efluente de la unidad de separación (m³/d)
- ✓ X_{Ve} : concentración de microorganismos en el efluente de la unidad de separación de sólidos (mg/l)
- ✓ X_{Va} : concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (mg/l)

Y se puede considerar como una medida del tiempo de residencia de los organismos dentro del sistema.

La relación (A/M), se puede controlar por la edad del lodo mediante la fórmula que se detalla a continuación:

$$\frac{1}{\Theta_c} = Y \cdot (A/M) \cdot \frac{E - K_d}{100}$$

donde,

- ✓ Y: rendimiento biológico (Kg microorganismos producidos/Kg DBO5 consumidos)
- ✓ E: rendimiento del proceso (%)
- ✓ k_d : coeficiente de degradación endógena, (d⁻¹)

La edad del lodo típica en plantas de tratamiento de aguas residuales por procesos biológicos normalmente se encuentra comprendida entre 3 y 15 días y la relación (A/M) entre 0,05-1,0 d⁻¹ [Metcalf and Eddy, 1995, p.609].

A mayor edad de lodo mayor cantidad de MLSS, en el reactor biológico. Una ventaja del proceso con biorreactores de membranas, es la capacidad de operar con una elevada edad del lodo, a una alta concentración de MLSS, y a una relación A/M baja, con la cual se reduce la cantidad de producción de lodo.

Además de estos dos parámetros de control, también se han utilizado, para el control del proceso

en el reactor, relaciones empíricas basadas en la carga orgánica (carga volumétrica) y en el tiempo de retención hidráulico.

El tiempo de retención hidráulico hace referencia, como ya se ha comentado, al tiempo de permanencia del agua en el volumen del reactor, y los normalmente utilizados suelen variar entre 4 y 8 h [Metcalf and Eddy, 1995, p.609].

La carga volumétrica expresada en Kg DBO₅/m³ de tanque de aireación por día, puede oscilar entre 0,3 y 3 Kg DBO₅/m³-d [Metcalf and Eddy, 1995, p.609] y definirse como:

$$C_v = \frac{DBO_5 \cdot Q_o}{V}$$

donde,

- ✓ C_v: Carga Volumétrica (Kg DBO₅/m³)
- ✓ DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno (Kg/m³)
- ✓ Q_o: afluente, (m³/día)
- ✓ V : Volumen del tanque (m³)

A pesar de que en el uso de estas relaciones empíricas no se utilizan el tiempo de retención celular y la relación alimento/microorganismos, estas relaciones tienen la propiedad de requerir un volumen del reactor biológico mínimo, que ha resultado ser el adecuado para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

4.2.2.2 Producción de Lodo

El conocimiento de la producción de lodo diaria es importante puesto que afecta al diseño de las instalaciones de tratamiento y evacuación del fango en exceso (purga).

La producción neta de MLVSS se obtiene por diferencia entre los MLVSS producidos y la cantidad perdida por respiración endógena. Esta producción neta en Kg/d se indica mediante ΔX_v y puede expresarse de la forma siguiente:

$$\text{Kg MLVSS / d} = \Delta X_v = Y \cdot (\text{DBO}_{5_o} - \text{DBO}_{5_e}) \cdot Q_o - K_d \cdot X_{va} \cdot V$$

Producción Neta	Kg/d de MLVSS producidos	Kg/d de MLVSS oxidados por respiración endógena
--------------------	-----------------------------	--

Puede también escribirse una ecuación alternativa para la producción de lodo en función de un único parámetro Y_n (parámetro de producción neta) en lugar de hacerlo en función del parámetro de producción "Y" y del coeficiente de descomposición microbiana k_d . De esta forma la ecuación anterior se convierte en:

$$\Delta X_v = Y_n \cdot (\text{DBO}_{5_o} - \text{DBO}_{5_e}) \cdot Q_o$$

Con $Y_n = \frac{Y}{1 + (k_d/\mu)}$ lo que es lo mismo:

$$Y_n = \frac{Y}{1 + k_d \cdot \theta_c}$$

Donde el parámetro μ es la velocidad específica de crecimiento de la biomasa, la cual representa la

producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor

$$\mu = \frac{\text{Kg MLVSS}_{\text{producidos}}}{(d) \cdot (\text{Kg MLVSS}_{\text{reactor}})}$$

4.2.2.3 Índice Volumétrico de Lodos (IVL)

Corresponde al volumen (en mililitros) ocupados por 1 gramo de sólidos en suspensión totales del licor de mezcla, expresados en peso seco, después de sedimentar durante 30 minutos en una probeta graduada de 1000 mL. Los valores de IVL típicos para lodos con buenas características de sedimentabilidad, con concentraciones entre 800 y 3500 mg SSVLM/L, están entre 35 y 150 mL/g (Ramalho, 1993). Un valor de IVL mayor a 150 mL/g, puede indicar presencia de lodo joven, produciéndose un flóculo liviano, o puede indicar la presencia de organismos filamentosos, fenómeno conocido como bulking (Metcalf y Eddy, 1995), mientras que un IVL menor a 35 es indicador de lodo excesivamente mineralizado, es decir, con elevada permanencia en el sistema.

4.2.2.4 Las necesidades de Nutrientes

Para que un sistema biológico funcione correctamente es necesario que se hallen presentes cantidades adecuadas de nutrientes. Los principales nutrientes son el nitrógeno y el fósforo.

En sistemas convencionales de lodos activos se requiere una tasa de DBO5:N:P de 100:5:1 para mantener el balance de materia óptimo para la actividad heterotrófica de los microorganismos [Stenco, 2000, p.356].

Debido a que la demanda total de nutrientes depende de la producción celular neta, las necesidades de nutrientes son más reducidas en los procesos que dispongan de largos tiempos medios de retención celular. A menudo, este hecho se puede utilizar para explicar la razón por la cual dos plantas de tratamiento de fangos activados con diferentes tiempos medios de retención celular pueden no funcionar igual en el tratamiento de una misma agua residual.

4.3 OTROS TIPOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Los procesos biológicos más utilizados son los de lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requisitos específicos de cada tratamiento. Otros procesos biológicos incluyen lagunas aireadas, balsas de estabilización y biodiscos. Todos estos tipos de tratamientos biológicos requieren aireación, es decir, son tratamientos biológicos aerobios.

4.3.1 MODIFICACIONES DEL PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS

El proceso de lodos activados es muy flexible y se puede adaptar a casi la totalidad de los problemas de tratamiento biológico de

aguas residuales. A continuación se indican algunas de las principales modificaciones del proceso.

4.3.1.1 Aireación Prolongada

Este proceso, al que se conoce también por oxidación total, es una modificación del proceso de lodos activos. La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando el tiempo de residencia; de esta forma el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activos.

Como consecuencia de todo ello, esencialmente todo el lodo degradable formado se consume mediante respiración endógena.

Este proceso ha sido aplicado principalmente en el tratamiento de aguas residuales cuando el volumen diario es menor de 8 m³/d. Estos caudales corresponden al tratamiento de aguas negras de pequeñas comunidades, urbanizaciones, áreas de recreo y algunos residuos industriales [Ramalho, 1996, p.414].

En la **Figura 4.2** y la **Figura 4.3**, se representan una unidad de aireación prolongada convencional y una variante de la misma conocida por canal de oxidación.

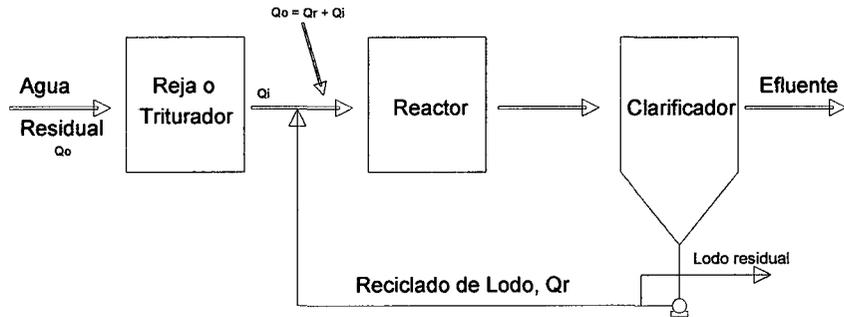


Figura 4.2: Proceso convencional de aireación prolongada [Ramalho, 1996, p.414].

Puede observarse que el diagrama de flujo de la unidad convencional es idéntico prácticamente al del proceso de lodos activos.

En la Figura 4.3, se muestra un diagrama del canal de oxidación.

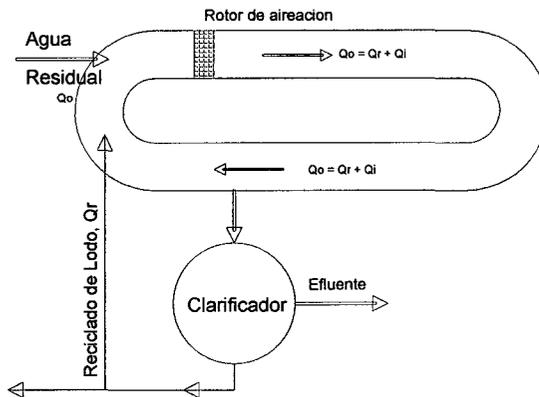


Figura 4.3: Canal de oxidación [Ramalho, 1996, p.415].

4.3.1.2 *Contacto-Estabilización*

El proceso de contacto - estabilización es otra modificación de lodos activos. En la Figura 4.4, se presenta un diagrama de flujo del sistema. En este

proceso de contacto y estabilización se utilizan dos tanques o compartimentos separados para el tratamiento del agua residual y la estabilización del fango activado.

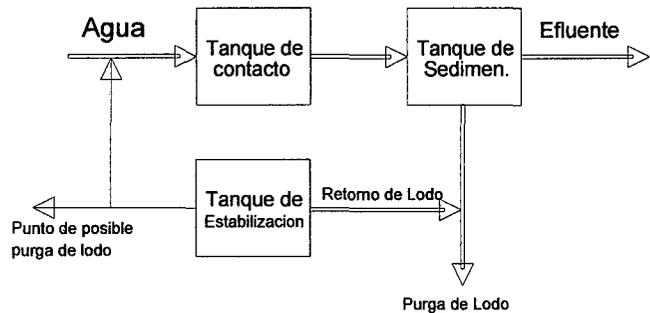


Figura 4.4: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529].

El agua residual afluyente se mezcla con lodo estabilizado y esta mezcla se somete a aireación en el tanque de contacto inicial para el cual el tiempo de retención es solamente de 20 a 40 minutos. Durante el contacto inicial se separa una fracción apreciable de demanda biológica de oxígeno (DBO₅), en suspensión y disuelta, mediante bio-absorción después de estar en contacto con el lodo activo suficientemente aireado. El efluente mezcla procedente del tanque de contacto inicial fluye al clarificador. Se separa el efluente clarificado y la descarga del clarificador se lleva a un tanque de estabilización en donde es aireada durante un período de 1.5 a 5 h [Ramalho, 1996, p.419]. Durante este período de estabilización los productos orgánicos adsorbidos se rompen

mediante degradación aerobia. El lodo estabilizado que abandona el tanque de estabilización lo hace en condiciones de "inanición" y dispuesto por lo tanto a adsorber residuos orgánicos. Debido a que solamente el lodo de reciclado se somete a aireación prolongada, este sistema permite una reducción apreciable del volumen de la balsa de aireación. Esta es la principal ventaja del contacto-estabilización frente al proceso convencional de lodos activos. El proceso de contacto-estabilización es adecuado, por lo tanto, cuando el agua residual contiene una proporción elevada de DBO5 en las formas coloidal y en suspensión. Las plantas de contacto-estabilización pueden funcionar sin necesidad de clarificación primaria.

4.3.1.3 Aireación Escalonada

La aireación escalonada es una modificación del proceso convencional de lodos activos en la cual la alimentación fresca se introduce en diversos puntos a lo largo del tanque de aireación. Esta disposición proporciona un reparto equitativo de las relaciones A/M (alimento/microorganismos) a lo largo del tanque, disminuyendo con ello la demanda punta de oxígeno.

El tanque de aireación se divide mediante pantallas en varios canales paralelos. Cada canal constituye una etapa del proceso y las etapas están unidas entre sí en serie. El lodo reciclado se introduce en la cabeza del tanque de aireación. Este proceso, así como el suministro de oxígeno y su demanda a lo largo de la longitud del tanque, quedan representados en la Figura 4.5.

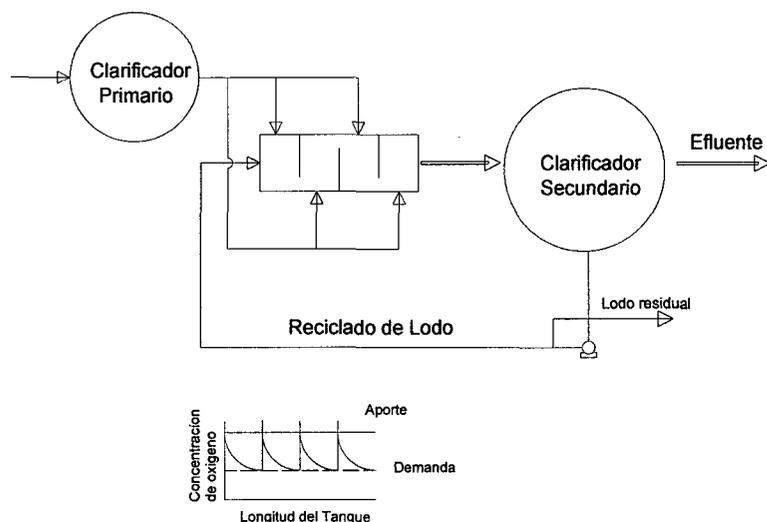


Figura 4.5: Proceso de aireación escalonada [Ramalho, 1996, p.426].

4.3.1.4 Aireación descendente

Este proceso es una modificación del proceso convencional de flujo en pistón. El objetivo de la aireación descendente, también llamada aireación graduada, es armonizar la cantidad de aire suministrado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque de aireación. Ya que a la entrada de demanda de oxígeno es más alta, los aireadores se sitúan más próximos para proporcionar una velocidad más alta de oxigenación. El espacio entre aireadores se aumenta hacia la salida conforme la demanda de oxígeno disminuye. Esto es, a medida que el líquido mezcla atraviesa el tanque de aireación, tiene lugar la síntesis de nuevas células, aumentando el número de microorganismos y disminuyendo la concentración de alimento disponible. Ello da como resultado un menor valor de la relación A/M y un descenso de la demanda de oxígeno. El espaciamiento entre los difusores se

aumenta entonces hacia la salida del tanque a fin de reducir la tasa de oxigenación. Con ello se obtienen dos resultados provechosos: la menor oxigenación significa que se necesita menos aire, por lo que se reducirá el tamaño de los soplantes y por lo tanto los costes iniciales y de operación.

4.3.1.5 *Proceso Kraus*

El proceso Kraus es una modificación del proceso de aireación escalonada que se emplea para tratar aguas residuales con bajo contenido en nitrógeno. En un tanque independiente diseñado para nitrificar, se añade sobrenadante del digestor a una parte del fango de retorno como fuente de nutrientes, además de fango ya digerido. Con ello se consiguen dos cosas: el nitrato del sobrenadante aireado corrige la deficiencia de nitrógeno y los sólidos pesados contenidos en el fango digerido mejoran la capacidad de sedimentación del líquido mezcla. El líquido mezcla resultante se añade, entonces, al reactor. El diagrama del proceso se muestra en la Figura 4.6:

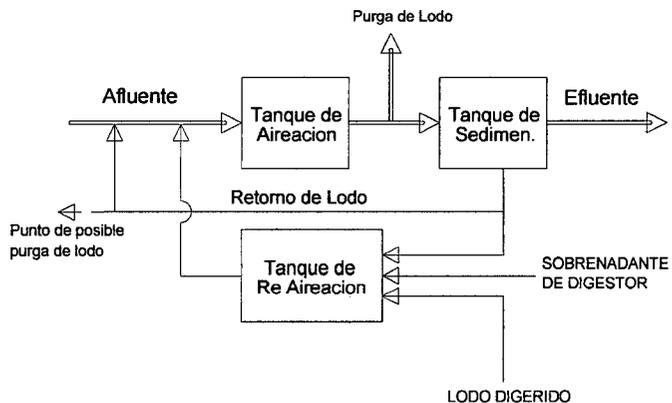


Figura 4.6: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización [Metcalf and Eddy, 1977, p.529]

4.3.1.6 Aireación de Alta Carga

Se trata de una modificación en la que se combinan altas concentraciones de SSVLM (sólidos en suspensión volátiles en el licor mixto) con elevadas cargas volumétricas (kg DBO5/m3d). Esta combinación permite una elevada relación A/M y largos tiempos de retención celular con tiempos de retención hidráulica cortos. Es muy importante conseguir el grado de mezcla adecuado para efectuar la transferencia de oxígeno y controlar el tamaño del flóculo.

4.3.1.7 Aireación con Oxígeno Puro

En lugar de aire, en esta modificación del proceso de fangos activados se utiliza oxígeno puro. El oxígeno se distribuye mediante difusores en una serie de pequeños reactores de mezcla completa cubiertos y se recicla. En la Figura 4.8, se muestra de forma esquemática un sistema de oxígeno puro. Parte del gas procedente de la actividad de los microorganismos se purga para reducir la concentración de CO₂. También puede ser necesario realizar ajustes de pH, según la capacidad tampón del agua residual y del CO₂ eliminado del sistema. La cantidad de oxígeno añadida es del orden de cuatro veces superior a la cantidad que se puede añadir con los sistemas de aireación convencionales [Metcalf and Eddy, 1977, p.532].

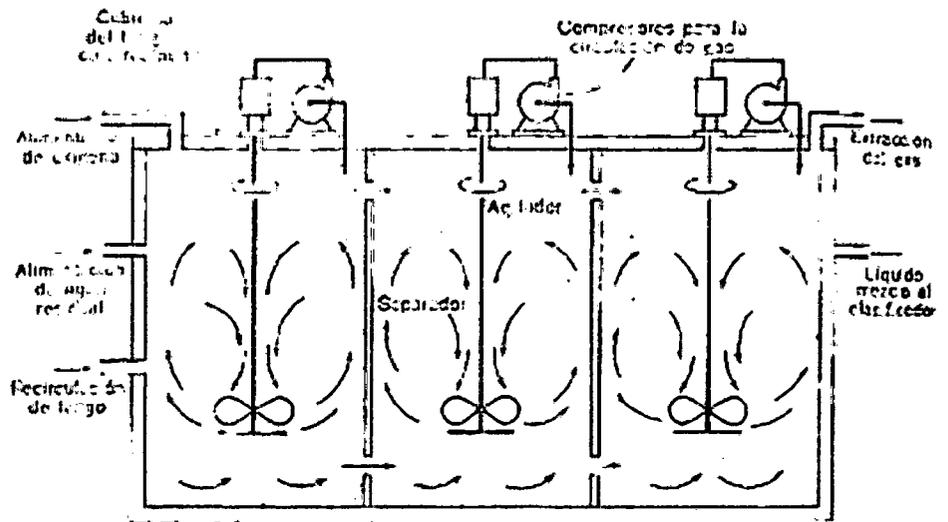


Figura 4.7: Esquema de un sistema de tratamiento de fangos activados, con oxígeno puro [Metcalf and Eddy, 1977, p.532].

Una vez descritas las modificaciones más usuales del proceso convencional de fangos activados, puede verse en el Cuadro 4.2, una comparativa entre estos diferentes tipos de procesos.

Modificación del Proceso	Modelo de Flujo	Eficiencia eliminación DBO %	Aplicación
convencional	en piston	85-90	Aguas residuales domesticas debiles, susceptibles de cargas subitas.
mezcla completa	mezcla completa	85-95	Aplicación general, resistentes a cargas subitas
aireacion prolongada	mezcla completa	75-95	Pequeñas comunidades, plantas compactas flexibles.
contacto- estabilizacion	en piston	80-90	Expansion de los sistemas existentes, plantas compactas flexibles.
aireacion escalonada	en piston	85-95	aplicación general a gran variedad de residuos
aireacion descendente	en piston	-	-
Proceso de Krauss	en piston	85-95	Residuos muy resistentes de poco contenido en nitrogeno
Aireacion de Alta carga	mezcla completa	75-90	Uso con aireadores de turbina para transferir oxigeno y controlar el tamaño del floculo, aplicación general
Sistemas de oxigeno puro	Reactores en serie de mezcla completa	85-95	Aplicación general, se emplea cuando se dispone de volumen limitado.

Cuadro N° 4.2: Características operacionales de los procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.625].

Modificación del proceso	Parametro					Qr/Q
	θc días	Kg DBO5/Kg SSVLM-d	Kg DBO5/m3	SSVLM(mg/L)	TRH (h)	
Convencional	5-15	0.2-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8	0.25-0.5
Mezcla completa	5-15	0.2-0.6	0.8-1.92	3000-6000	3-5	0.25-1.0
Aireación prolongada contacto	20-30	0.05-0.15	0.16-0.6	3000-6000	18-36	0.75-1.50
Estabilización	5-15	0.2-0.6	0.96-1.20	(1000-3000)* (4000-10000)**	(0.5-1.0)* (3-5)**	0.25-1.0
Aireación escalonada	5-15	0.2-0.4	0.64-0.96	2000-3500	3-5	0.25-0.75
Proceso de Kraus	5-15	0.3-0.8	0.64-1.6	2000-3000	4-8	0.5-1.0
Aireación de alta carga	5-10	0.4-1.5	1.6-16	4000-10000	0.5-2	1.0-5.0
sistema de oxígeno puro	8-20	0.25-1.0	1.6-4	6000-8000	1-3	0.25-0.5

(*) Unidad de Contacto

(**) Unidad de Estabilización de Lodos

Cuadro N° 4.3: Parámetros de diseño para procesos de fangos activados [Metcalf and Eddy, 1995, p.626].

4.3.2 LAGUNAS AIREADAS

Las lagunas aireadas son de profundidades de 1 a 4 m en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación bien sean superficiales, turbinas o difusores. La diferencia fundamental entre las lagunas aireadas y el sistema de lodos activos es que en éste se lleva a cabo la recirculación del lodo como forma de controlar la cantidad de lodo biológico en el reactor de aireación, en cambio las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodos. La concentración de sólidos en las lagunas es función de las características del agua residual y del tiempo de residencia. Dicha concentración está comprendida entre 80-200 mg/l [Ramalho, 1996, p.437], esto es, mucho menor que la que se utiliza en las unidades de lodos activos convencionales (2000-3000 mg/l).

El nivel de turbulencia o grado de mezclado en las lagunas es la base para su clasificación en 2 categorías: de mezcla completa y lagunas facultativas, ambas se describen a continuación:

4.3.2.1 *Lagunas de mezcla completa*

El nivel de turbulencia es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Esto es, el contenido de este tipo de lagunas está totalmente mezclado y no sedimentan ni los sólidos entrantes ni los biológicos producidos a partir del agua residual. De hecho, la función esencial de este tipo de laguna es la conversión de los residuos.

Los tiempos de residencia son normalmente menores de tres días, y los niveles de potencia superiores a 0,007 CV por metro cúbico de laguna.

Los niveles de potencia en las unidades de lodos activos se encuentran situados alrededor de 0,07 CV por metro cúbico de laguna, esto es aproximadamente valores diez veces superiores a los requeridos en las lagunas aireadas [Ramalho, 1996, p.437].

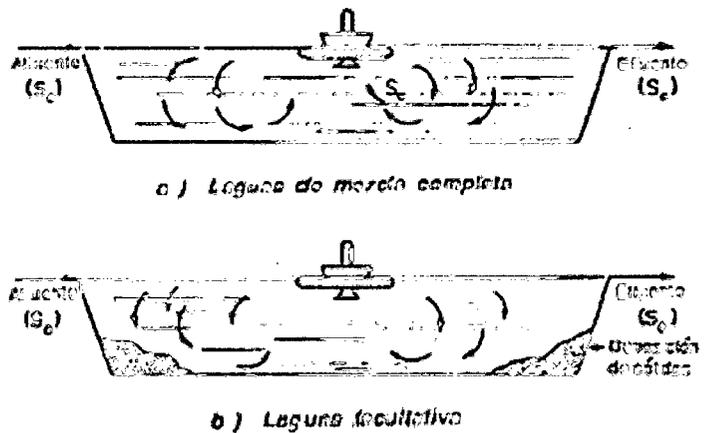


Figura 4.8: Regímenes de mezcla de las lagunas aireadas [Ramalho, 1996, p.438].

4.3.2.2 *Lagunas facultativas*

El nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión, contándose exclusivamente con el necesario para suministrar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Parte de los sólidos decantan en el fondo de la laguna donde sufren descomposición anaerobia. Los tiempos de retención superan normalmente los seis días y los niveles de potencia están comprendidos entre 0,001 0,007 CV por m³ de laguna. Se presenta una formación gradual de residuo que debe ser evacuado a intervalos de 1 a 10 años [Ramalho, 1996, p.438].

La elección de un régimen de mezcla resulta del balance económico entre las necesidades de potencia (superiores en los sistemas de mezcla completa) y el costo del terreno (se necesita más terreno para las lagunas facultativas). En la Figura 4.8, se representan estos dos sistemas de mezcla.

4.3.3 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Una laguna de estabilización es una masa de agua relativamente poco profunda contenida en un estanque de tierra de configuración controlada, cuya finalidad es el tratamiento del agua residual.

La diferencia básica entre este proceso de tratamiento de aguas residuales y el proceso convencional de lodos activados es que en las lagunas de estabilización no se utiliza equipo de aireación. El oxígeno necesario en las lagunas se obtiene de la superficie natural de aireación y de las algas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas por la fotosíntesis se utiliza por las bacterias para la degradación aerobia de la materia orgánica. Los productos de esta degradación (CO_2 , amoníaco, fosfatos) son utilizados de nuevo por las algas. Esta relación simbiótica cíclica entre algas y bacterias se presenta esquemáticamente en la Figura 4.09

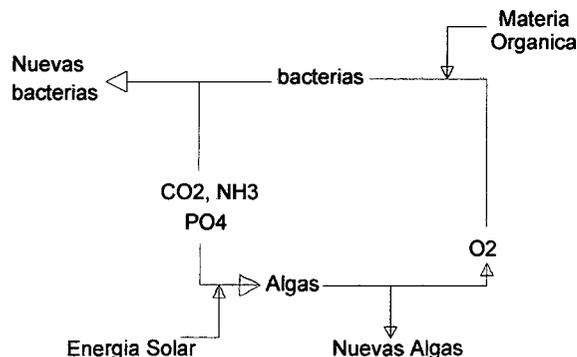


Figura 4.9 Relación simbiótica cíclica entre algas y bacterias

El mecanismo representado en la Figura 4.10, explica las variaciones diurnas del nivel de oxígeno disuelto y del pH que se presenta en las lagunas de estabilización de aguas residuales. Durante el día, en presencia de luz solar, se produce la fotosíntesis y la obtención de oxígeno como consecuencia de ello. Aunque parte del oxígeno producido en la fotosíntesis se utiliza en la respiración, durante el día se puede estar en situación de obtener una cantidad adicional importante de oxígeno que haga que los valores del OD excedan a los de saturación. Durante la noche no hay producción de oxígeno aunque algas y bacterias lo utilizan, lo que da lugar a una disminución del OD. Las lagunas de estabilización de aguas residuales son factibles cuando se dispone de grandes superficies de terreno a bajo costo y cuando la calidad exigida al efluente no es muy estricta. Si la DBO5 del afluente es alta, la demanda de oxígeno es superior a la que se puede cubrir mediante fotosíntesis y aireación superficial natural. Bajo estas circunstancias la concentración de OD en el agua residual cae bruscamente hasta un nivel muy bajo prevaleciendo la degradación anaerobia. Los productos finales de la degradación anaerobia de la materia carbonosa son $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$, en contraste con $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ de la degradación aerobia.

Las lagunas en las que las capas superiores son aerobias y las inferiores anaerobias se denominan lagunas facultativas. En este tipo de lagunas existen tres zonas:

- 1) Una zona superficial donde las algas y bacterias aerobias existen en una relación simbiótica.
- 2) Una zona anaerobia inferior en la que los sólidos acumulados son activamente descompuestos por bacterias anaerobias.
- 3) Una zona intermedia, en parte aerobia y en parte anaerobia, donde la descomposición de los residuos orgánicos es llevada a cabo por las bacterias facultativas.

La mayoría de las balsas de estabilización corresponden a esta categoría.

Debido a los tiempos de retención elevados, normalmente alrededor de dos meses, la disminución de la concentración de compuestos orgánicos refractarios que no puede conseguirse mediante lodos activos o lagunas aireadas puede lograrse en balsas de estabilización. De esta forma, una disposición adecuada podría ser balsas de estabilización a continuación de un proceso de lodos activos (o de una laguna aireada) para completar la degradación.

4.3.4 FILTROS PERCOLADORES

Todos los reactores biológicos aerobios descritos anteriormente suponen la presencia de un crecimiento biológico que se mantiene en suspensión dentro del reactor. Por esta razón, se denominan reactores de crecimiento biológico en suspensión. Se ha desarrollado otro tipo de reactor en el que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico, que se mantiene fijo en él. Estos reactores se denominan reactores de crecimiento biológico asistido. Los filtros percoladores pertenecen a este tipo de reactores de crecimiento asistido. El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola de forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo.

En la Figura 4.10, se presenta un diagrama de la sección típica de un filtro percolador.

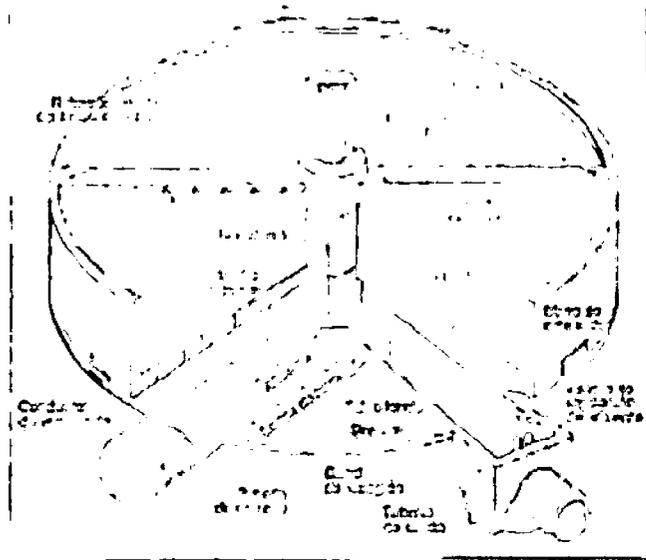


Figura 4.10: Filtro percolador [Stenco, 2000, p.358]

4.3.5 BIODISCOS

Los biodiscos o sistemas biológicos rotativos de contacto (RBC: Rotating biological Contactors) son sistemas para el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. En el caso de los biodiscos, la biomasa se presenta simultáneamente en forma de crecimiento asistido (como en el caso de los filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (como en el caso de los fangos activados).

En la Figura 4.12, se presenta un diagrama de una unidad típica de tres etapas. Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente fabricados de poliestireno o polipropileno con diámetros comprendidos entre 3-4 m [Ramalho, 1996, p.493].

Estos discos se mantienen paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros. Los ejes tienen longitudes de 7,5 m aproximadamente, pudiendo alojar de esta forma un gran número de discos.

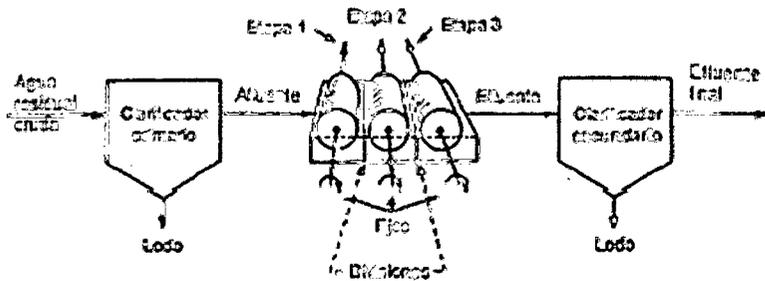


Figura 4.11: Esquema de una unidad RBC típica [Ramalho, 1996, p.494].

Estas unidades se disponen en tanques divididos por paredes tal como se presenta en la Figura 4.12. La alimentación de agua residual pasa a través de estos tanques en serie de forma que los ejes se mantienen ligeramente por encima de la superficie del líquido. Esto significa que la superficie de los discos está aproximadamente el 40 % sumergida en todo momento. Los ejes giran continuamente a una velocidad comprendida entre 1 y 2 rpm. Se forma gradualmente un limo biológico de 1 a 3 mm de espesor que comienza a depositarse en las superficies de los discos [Ramalho, 1996, p.494].

Debido a que la acción rotativa de los discos provoca cierta turbulencia en el depósito de líquido, existirá en todo momento una concentración limitada de biomasa en suspensión debido a que parte del crecimiento de limo se separa de los discos además del que se pierde por arrastre de la materia sin vida. En consecuencia, la disminución de la DBO₅ en los biodiscos se presenta simultáneamente mediante un mecanismo similar al del filtro percolador, por la presencia del limo formado junto al disco, así como también mediante un mecanismo análogo al de los lodos activos, por la presencia de la biomasa en suspensión

El efluente de la última etapa de los biodiscos fluye a un clarificador secundario tal y como se muestra en la Figura 4.12.

Si se establece una comparación entre los sistemas biológicos rotativos y el proceso convencional de lodos activos, pueden destacarse algunas ventajas de los primeros sobre el segundo:

1) Bajo consumo de energía y mantenimiento más sencillo

2) Ya que es posible en cada etapa un cultivo biológico diferente se cuenta con un grado adicional de flexibilidad en el proceso. Puede conseguirse bastante nitrificación desarrollando cultivos de bacterias nitrificantes selectivas en las últimas etapas.

3) La biomasa presenta en general buenas características de sedimentación con lo que se disminuye el coste de la clarificación secundaria.

4) No se necesita reciclado de la biomasa.

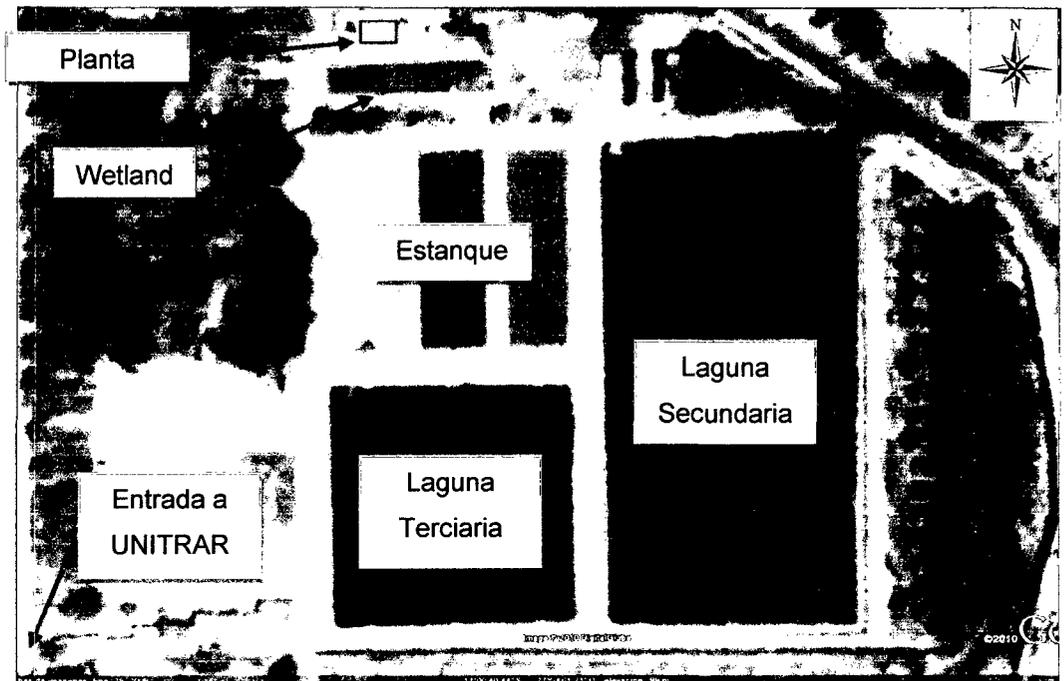
Para finalizar, debe mencionarse una desventaja, que es la presencia de una pequeña película líquida de gran superficie sobre la zona húmeda de los discos expuesta al aire ambiente, lo que lleva al peligro de congelación en el caso de operación en climas fríos. En tales casos las unidades de tratamiento deben alojarse en un edificio cerrado lo que incrementa el coste del inmovilizado.

CAPITULO 5

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 UBICACIÓN DE PLANTA PILOTO

La investigación se desarrolló en una planta piloto a escala, la cual consta principalmente de dos lagunas idénticas, estas simularán un sistema de lodos activados y estarán ubicadas en un área colindante a los humedales (Wetland), en dirección Norte de la entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UNI – UNITRAR (Ver Fotografía N° 5.1).



Fotografía N° 5.1: Ubicación de Planta Piloto

5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA PILOTO

El tratamiento se realizó básicamente en un sistema de lodos activados a escala, conformado por dos espejos de agua, uno de ellos aireado y el otro usado como tanque de sedimentación; asimismo, para que el sistema funcione correctamente, se acondicionaron otras instalaciones, como: el sistema de captación de aguas residuales, el tanque de homogenización, el tanque de almacenamiento y un sistema controlador de caudal.



Fotografía N° 5.2: Vista de Planta Piloto

El sistema de captación consiste básicamente en un recipiente cilíndrico de aproximadamente 200lt, al cual llega el efluente del tanque séptico de UNITRAR, desde esta unidad, las aguas residuales son bombeadas hacia el siguiente sistema (Tanque de homogenización y tanque de almacenamiento).

Las aguas residuales provenientes del sistema de captación llegan a un embalse de aproximadamente 200lt (tanque de homogenización), desde

donde, las aguas residuales son bombeadas nuevamente hacia un tanque de almacenamiento de aproximadamente 200lt.

El efluente del tanque de almacenamiento pasa a través de un sistema de control de caudal para finalmente llegar al sistema de lodos activados.

Esta planta piloto fue construida en su totalidad de acrílico, y posee dos espejos de agua así como un sistema de canales que las interconecta, la primera de estas es una unidad aireada, la cual posee un sistema de aireación mecánica, la segunda, es una unidad de sedimentación secundaria, en esta se afina el efluente de la unidad aireada antes de su vertimiento final.

5.3 MATERIALES DE FABRICACIÓN DE LA PLANTA PILOTO

Los materiales usados se detallan a continuación:

➤ SISTEMA DE CAPTACION:

- ✓ Tanque cilíndrico de 200lt
- ✓ Válvula de pie de 1"
- ✓ Unión universal de 1"
- ✓ Tubería de PVC de 1"
- ✓ Tubería de PVC de 3/4"
- ✓ Codo de PVC de 1"
- ✓ Codo de PVC de 3/4"
- ✓ Tee de PVC de 1"
- ✓ Bomba de agua de 1/2 HP
- ✓ Reducción de 1" a 3/4"
- ✓ Tapón macho de 1"
- ✓ Niple roscado de 3/4"
- ✓ Unión entre tubería de PVC y Manguera de 3/4"
- ✓ Manguera de 3/4"

- ✓ Pegamento
- ✓ Cinta de teflón

➤ **SITEMA TANQUE DE HOMOGENIZACION - TANQUE DE ALMACENAMIENTO:**

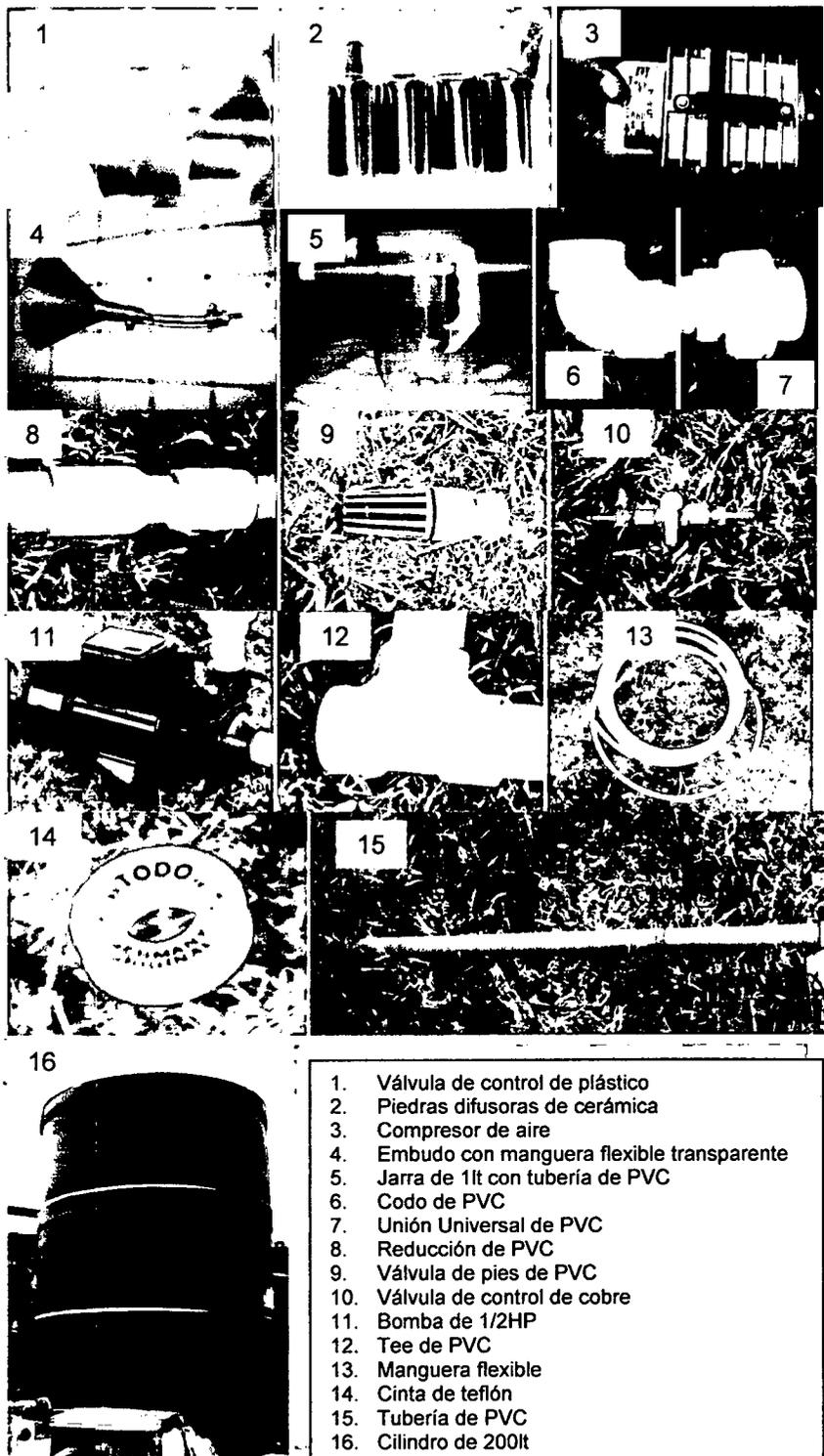
- ✓ Tanques Cilíndricos de 200lt
- ✓ Válvula de pie de 1"
- ✓ Unión universal de 1"
- ✓ Tubería de PVC de 1"
- ✓ Tubería de PVC de 3/4"
- ✓ Codo de PVC de 1"
- ✓ Codo de PVC de 3/4"
- ✓ Bomba de agua de 1/2 HP
- ✓ Reducción de 1" a 3/4"
- ✓ Tapón macho de 1"
- ✓ Pegamento
- ✓ Cinta de teflón

➤ **SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL**

- ✓ Tubería de PVC de 1/2"
- ✓ Codo de PVC de 1/2"
- ✓ Tee de PVC de 1/2"
- ✓ Tapón Hembra de PVC de 1/2"
- ✓ Válvula de control de PVC de 1/2"
- ✓ Jarra de plástico de 1lt
- ✓ Embudo de plástico
- ✓ Manguera 1/4"
- ✓ Válvula de control de 1/4"
- ✓ Pegamento
- ✓ Cinta de teflón

➤ SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

- ✓ Tanque de acrílico
- ✓ Tubería de PVC 1/2"
- ✓ Codo de PVC 1/2"
- ✓ Adaptador de plástico de 1/8"
- ✓ Manguera de 1/8"
- ✓ Pierda difusora de cerámica
- ✓ Válvula de control de plástico de 1/8"
- ✓ Unión entre tubería de PVC 1/2" y Manguera de 3/8"
- ✓ Manguera de 3/8"
- ✓ Compresor de aire
- ✓ Pegamento
- ✓ Cinta de teflón



Fotografía N° 5.3: Materiales usados en la fabricación de la Planta piloto

5.4 CRITERIOS DE DISEÑO

5.4.1 CRITERIOS ESTRUCTURALES

- ✓ Las unidades del sistema de lodos activados fueron fabricados de acrílico, debido a que para la investigación, es necesario un material resistente y transparente para poder facilitar la observación de los distintos procesos que se dan dentro del sistema, desde la puesta en marcha hasta el final de la investigación.

El uso de otros materiales fue descartado debido al costo o la fragilidad de estos, como el caso del vidrio, fibra de vidrio, etc.

- ✓ La estructura de soporte del tanque de almacenamiento fue construida íntegramente de acero, debido a que este tanque debía estar a una altura determinada para proporcionar la presión de agua necesaria para que el sistema funcione por gravedad.

5.4.2 CRITERIOS DE DISEÑO SANITARIOS

- Las dimensiones de las unidades del sistema de lodos activados, fueron dadas de acuerdo a un tiempo de retención hidráulica de 1 día aproximadamente, así como una forma rectangular y una relación largo ancho de 3 a 1 para logra un flujo hidráulicamente eficiente, es decir, minimizando los puntos muertos y los cortocircuitos.
- Se colocó la red de tuberías de inyección de aire en el fondo de las unidades, para lograr la distribución del aire en toda la masa de agua dentro de esta, asimismo se dio una pendiente de aproximadamente 1% a la red de distribución para lograr una repartición uniforme del flujo de aire a lo largo de esta.

- Se realizó pruebas de aireación para elegir el compresor de aire que logre proporcionar la cantidad de aire necesario para saturar el agua de oxígeno logrando de esta manera un ambiente óptimo para el desarrollo de la biomasa necesarias para el tratamiento.
- Se eligió los difusores de cerámica cilíndricos por producir un efecto muy similar a las usadas a escala real, estas fueron repartidas equitativamente en toda la red de tuberías de inyección de aire, en una cantidad tal que logre una aireación de toda la masa de agua en el espejo de agua.
- El sistema de control de caudal fue diseñado de tal manera que se mantenga una altura de agua constante, para así, lograr un caudal constante a la entrada de la unidad de lodos activados. Para esto se colocó una tubería perforada que funciona como rebose de dicho sistema, es decir que el sistema solo permitirá pasar un caudal predeterminado, el excedente fluirá por las perforaciones de la tubería de rebose, la cual descargará en el tanque de homogenización para su posterior reingreso al sistema.

5.4.3 CONSIDERACIONES DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

- ✓ El diámetro de 1/4" usado en la tubería de ingreso al sistema de lodos activados fue determinado de tal manera que facilite el ingreso de las aguas residuales sin que esta se obstruya con los sedimentos que pueda contener dichas aguas, así como para poder controlar un caudal pequeño (120 ml/min o 172.8 l/día).
- ✓ Fue imprescindible la realización de pruebas hidráulicas del sistema de lodos activados antes de su puesta en marcha durante un tiempo considerable para asegurar la hermeticidad de las lagunas así como la calibración del caudal de ingreso.

5.5 FLUJO DE AGUA A TRAVES DE LAS DIFERENTES UNIDADES EN LA PLANTA PILOTO

5.5.1 UNIDAD DE CAPTACIÓN

Las aguas residuales que se usaron como parte del tratamiento (para acondicionamiento del sistema y como dilución con el lixiviado) fueron captadas en una de las unidades de desagüe que tiene UNITRAR, dichas aguas residuales pasan previamente por un pre tratamiento (rejas gruesas y finas y un desarenador), así como por un tanque séptico, propios de UNITRAR, para luego llegar a la unidad de desagüe desde el cual se captó el agua residual a usar en la planta piloto.

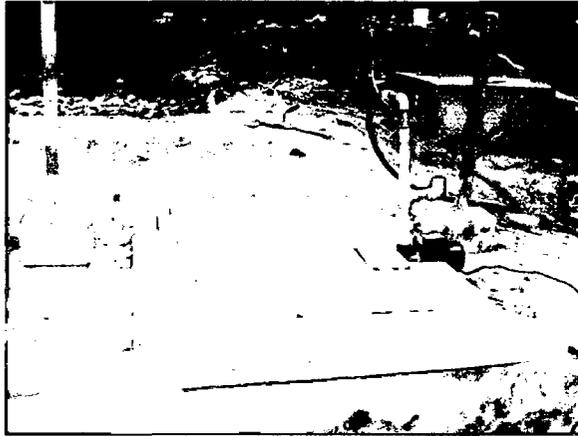


Fotografía N° 5.4: Unidad de Captación

Esta unidad cuenta con un cilindro de aproximadamente 200lt en el cual se almacenan las aguas residuales, también cuenta con un sistema de bombeo, el cual impulsara las aguas residuales hasta la siguiente unidad.

Este sistema de bombeo cuenta con una bomba de 1/2HP, una tubería de succión de PVC de 1" de diámetro, la tubería de

impulsión cuenta con 2 partes, una de PVC de 1" de diámetro y la otra es una manguera de 3/4" de diámetro.



Fotografía N° 5.5: Sistema de bombeo en Captación

5.5.2 TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN

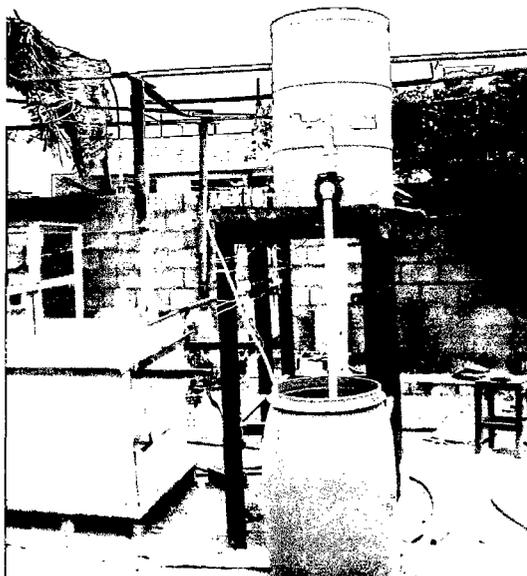
Las aguas provenientes de la unidad de captación llegan a un tanque de homogenización, el cual es básicamente un cilindro de 200lt aproximadamente, en este se realizara la mezcla entre el lixiviado y las aguas residuales.



Fotografía N° 5.6: Vista en planta de Tanque de Homogenización

Esta unidad cuenta también con un sistema de bombeo de 1/2HP, con una tubería de succión e impulsión de PVC de 1" de diámetro,

este sistema de bombeo impulsará las aguas residuales hasta la siguiente unidad (Tanque de Almacenamiento).



Fotografía N° 5.7: Vista del tanque de Homogenización

5.5.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El tanque de almacenamiento es un cilindro de 200lt aproximadamente, cuenta con un sistema de tuberías que distribuyen el caudal hacia la siguiente unidad (Unidad controladora de caudal).

A este llegan las aguas provenientes del tanque de homogenización, este tanque está ubicado en una mesa de acero de 1.70m de largo por 0.60m de ancho y 1.70m de altura aproximadamente, esto le dará la altura de presión necesaria para que el sistema funcione por gravedad.

Este tanque tendrá la capacidad de almacenar el agua residual por 1 día aproximadamente, y juntamente con la unidad

controladora de caudal proporcionar un caudal uniforme al sistema de lodos activados durante todo el tiempo que dure la investigación.



Fotografía N° 5.8: Tanque de Almacenamiento

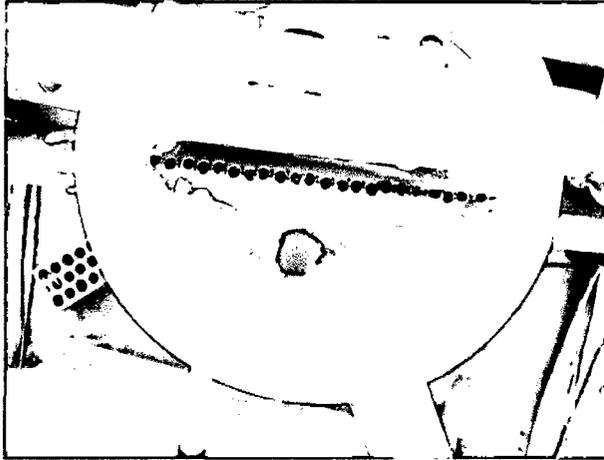
5.5.4 UNIDAD CONTROLADORA DE CAUDAL

Esta unidad fue hecha con materiales caseros, como son una jarra de 1lt y 1 embudo, como se aprecia en las fotos la jarra de plástico fue cortada en la parte inferior en la cual se pego el embudo, luego se colocó un niple de manguera delgada transparente para unir la boquilla del embudo con una manguera gruesa de 1/4" de diámetro, entre esta manguera se colocó un válvula de control de cobre de 1/4" de diámetro, con este se podrá graduar el caudal que se necesite, en la jarra se colocó un tubería de PVC perforada de 1/2" de diámetro la cual atraviesa este por la parte superior, esta tubería mantendrá una altura constante en la jarra, puesto que el agua excedente pasará a través de los orificios de la tubería impidiendo que se incremente

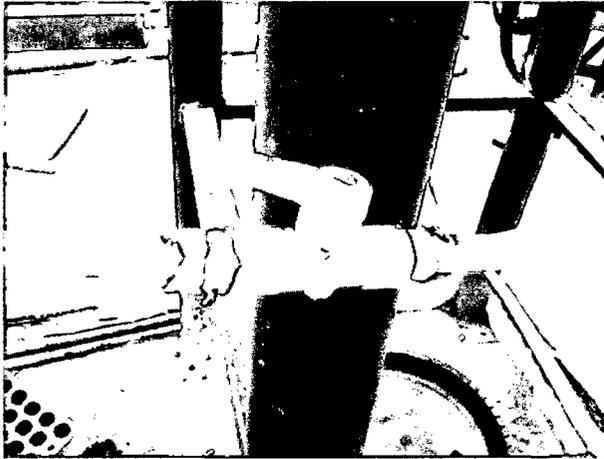
la altura de agua en este y así mantener una altura de presión constante y por consiguiente un caudal uniforme.



Fotografía N° 5.9: Vista del controlador de caudal



Fotografía N° 5.10: Vista de Sistema de Rebose



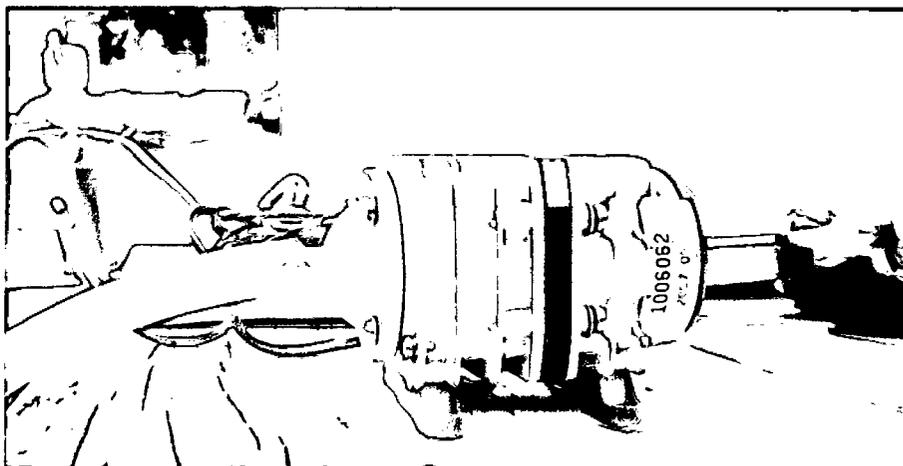
Fotografía N° 5.11: Llave reguladora de caudal



Fotografía N° 5.12: Vista durante la regulación del caudal

5.5.5 SISTEMA DE AIREACIÓN

Este sistema consta de un compresor de aire y una red de tuberías para distribuir el aire a lo largo de toda el área de la unidad aireada (lodos activados).



Fotografía N° 5.13: Compresor para suministro de aire



Fotografía N° 5.14: Adaptador de manguera a tubería PVC

La red de tuberías que distribuye el aire a lo largo de la unidad posee unos difusores cerámicos cilíndricos, estos simularan las salidas de aire en una laguna aireada, la cual proporciona el oxígeno necesario al sistema a través de burbujas de aire (parte de estas contiene oxígeno) muy pequeñas.



Fotografía N° 5.15: Red de Tuberías

Esta red está ubicada en el fondo de la unidad aireada y posee una pendiente de aproximadamente 1% para distribuir uniformemente el aire en cada difusor (la pendiente fue revisada diariamente y ajustada de acuerdo al estado de los difusores), logrando de esta manera una aireación uniforme en todo el volumen de agua a tratar.



Fotografía N° 5.16: Red de Tuberías con difusores

5.5.6 UNIDAD DE LODOS ACTIVADOS

La unidad aireada fue hecha de acrílico, este material es muy resistente y transparente permitiéndonos observar todos los distintos procesos que se realizan durante el tratamiento.

Dicha unidad tiene las siguientes dimensiones: 0.40m de ancho por 1.20m de largo, 0.68m de altura útil y una altura total de 0.80m. En esta se realizara la degradación de la materia orgánica y el crecimiento y desarrollo del lodo activado.

El efluente de esta pasa por un canal del mismo material que interconecta la unidad aireada con la unidad de sedimentación.

Esta unidad posee un desnivel de 2cm entre el panel de entrada y de salida, para mantener la gradiente hidráulica suficiente para que funcione por gravedad.



Fotografía N° 5.17: Vista en planta de Reactor Aerobio

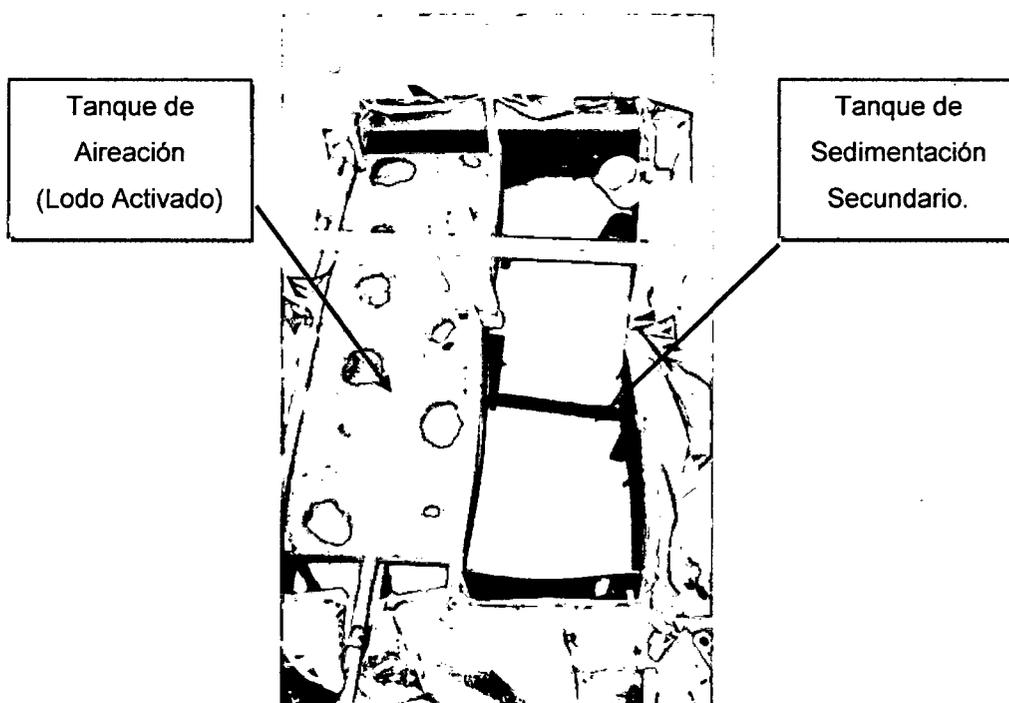


Fotografía N° 5.18: Vista lateral de Reactor Aerobio

5.5.7 TANQUE DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIO

Este tanque fue hecho del mismo material que la unidad aireada con unas dimensiones de 0.40m de ancho por 1.20m de largo, tiene una altura útil de 0.64m.

Este tanque sirve de afinamiento, ya que en este sedimentara las partículas de lodo que puedan pasar de la unidad aireada.



Fotografía N° 5.19: Tanque de Sedimentación Secundario (Lado Derecho)

5.6 PRUEBAS REALIZADAS

De acuerdo al emplazamiento en el que tuvieron lugar las distintas pruebas, se han clasificado en el siguiente orden:

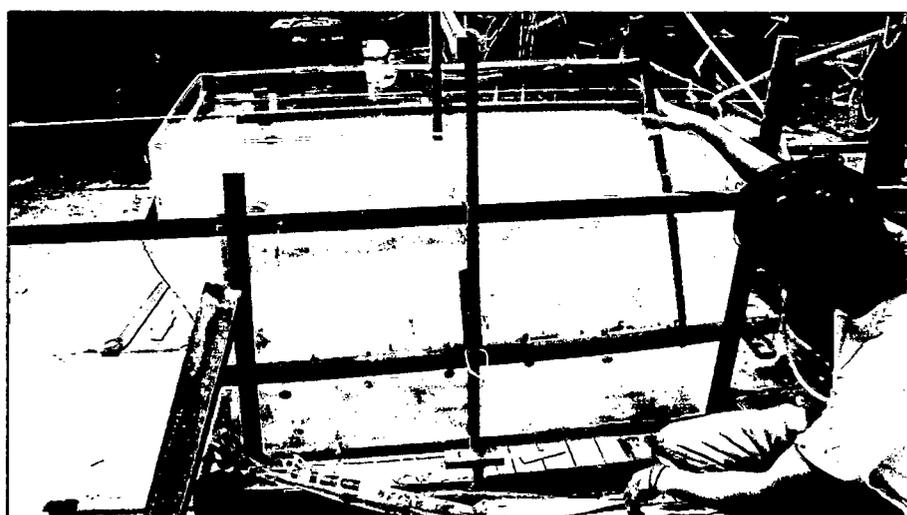
5.6.1 PRUEBAS DE CAMPO

Están referidas a aquellas que tuvieron lugar en los ambientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la UNI - UNITRAR

A) Prueba Hidráulica:

Esta prueba fue realizada a fin de determinar el grado de hermeticidad en paredes e interconexiones de la estructura de las celdas piloto y así garantizar la minimización de perdidas en el volumen de agua a tratar.

Para la realización de esta prueba, se llenaron las celdas piloto con agua por un lapso de dos días, comprobando así la funcionalidad hermética de las estructuras contraídas.

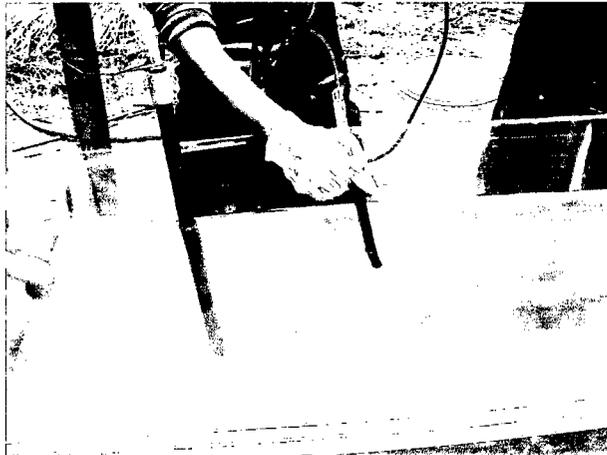


**Fotografía N° 5.20: Inspección de los tanques con agua
limpia**

B) Determinación de Ph y Temperatura:

Estas magnitudes, han sido determinadas mediante el uso de un peachímetro y un termómetro, durante la realización de la recolección de las muestras previo a su análisis en el laboratorio.

El monitoreo de estos parámetros ha sido realizado 3 veces por día (mañana, medio día y tarde) durante todo el tiempo que duro la investigación



Fotografía N° 5.21: Medición de pH y Temperatura

C) Determinación de la Oxígeno Disuelto:

Este parámetro se midió por medio de un oxímetro, 3 veces al día durante todo el tiempo que duro la investigación



Fotografía N° 5.22: Medición de Oxígeno Disuelto

B) Determinación de Turbiedad

La turbiedad, así como los otros parámetros antes mencionados, fue medido 3 veces al día durante todo el tiempo que duro la investigación.



Fotografía N° 5.23: Equipo para medición de turbiedad

5.6.2 PRUEBAS DE LABORATORIO:

Están referidas a aquellas que tuvieron lugar en los ambientes del Laboratorio N° 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI, entre los que mencionamos:

A) Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O5):

La DBO5, se define usualmente como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras reestabiliza la materia orgánica putrescible bajo condiciones aeróbicas.

La determinación de este parámetro ha sido realizado a través de resultados preliminares de oxígeno disuelto, mediante el método de Winkler.

Esta prueba depende del factor que el oxígeno oxida Mn^{++} a un alto estado de valencia bajo condiciones alcalinas y que el Mn en alto de valencia es capaz de oxidar I- a I2 libre, bajo condiciones ácidas. Así la cantidad de I2 libre liberado es equivalente al OD originalmente presente disuelto en la sustancia líquida. El Yodo libre se titula con una solución valorada de tiosulfato de sodio empleando almidón como indicador.

Se ajusta la normalidad del tiosulfato para que 1ml equivalga a 1mg/lt de OD, cuando se titula 200 ml de la muestra.

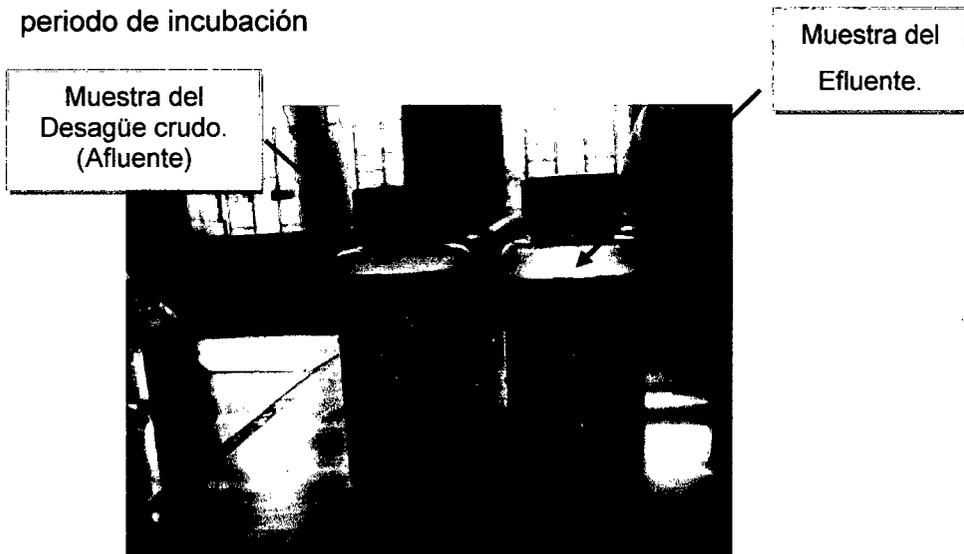
Obtenidos los resultados de oxígeno disuelto requeridos al inicio y final de un periodo de incubación de cinco días, la DBO5 es obtenida mediante:

$$DBO5 \text{ (mg/lt)} = ((ODb - ODi) \cdot (Vol. \text{ de botella/ml de }))$$

Donde:

OD_b = Oxígeno disuelto del blanco, a fin del periodo de incubación

OD_i = Oxígeno disuelto en la dilución de muestra al fin del periodo de incubación



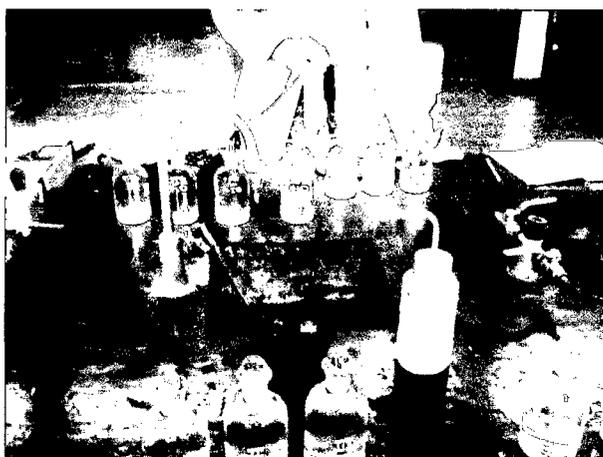
Fotografía N° 5.24: Muestras de desagüe crudo y efluente



Fotografía N° 5.25: Reactivos usados durante el laboratorio



Fotografía N° 5.26: Botellas Winkler



Fotografía N° 5.27: Medición de OD

B) Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.)

La DQO, es la medida del oxígeno equivalente a la porción de materia orgánica de la muestra susceptible a oxidación por una oxidante químico fuerte, sin la intervención de organismos vivos.

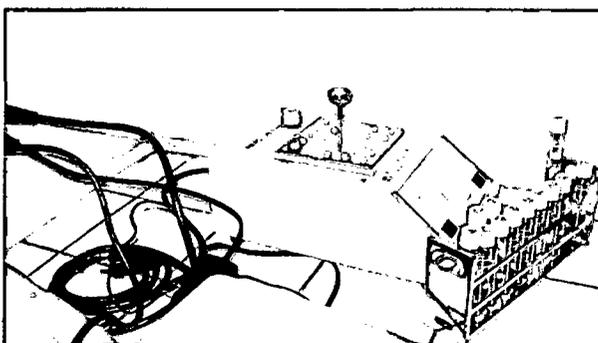
En el presente estudio la determinación se ha realizado en función a diluciones debido a las características de la muestra por presentar elevada fracción orgánica y a través de sustancias reductoras contenidas en los denominados viales de alto rango.

Un mililitro de la muestra diluida se coloca al interior de los viales a fin de promover la reacción que tornará a la sustancia a un color celeste para luego de dos horas dar la lectura con el equipo de espectrofotometría.

El cálculo de la DQO, resulta del producto entre del factor de dilución y la lectura obtenida del equipo después de dos horas.



Fotografía N° 5.28: Viales para DQO



Fotografía N° 5.29: Espectrofotómetro

C) Determinación de Sólidos

Sólidos Totales (ST): La determinación de sólidos totales ha sido realizada por evaporación y secado de una muestra medida en una cápsula de porcelana previamente tarada. Estrictamente a este parámetro le corresponde toda la materia exceptuando el agua contenida en materiales líquidas.

Sólidos Disueltos (SD): Este componente de los sólidos esta constituido principalmente por sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos.

Sólidos Suspendidos (SS): Esta determinación es de gran valor en los análisis de aguas poluídas. Es uno de los mayores parámetros usados para evaluar la concentración de desagües y para determinar la eficiencia del tratamiento aplicado al tratamiento. Este parámetro es considerado plenamente tan significativo como la DBO5.

Los sólidos suspendidos son determinados mediante filtración usando papel filtro y pasando a través de este 50ml o menos de la muestra en estudio.

El filtrado es recibido en un crisol Goch y es sometido a evaporación.

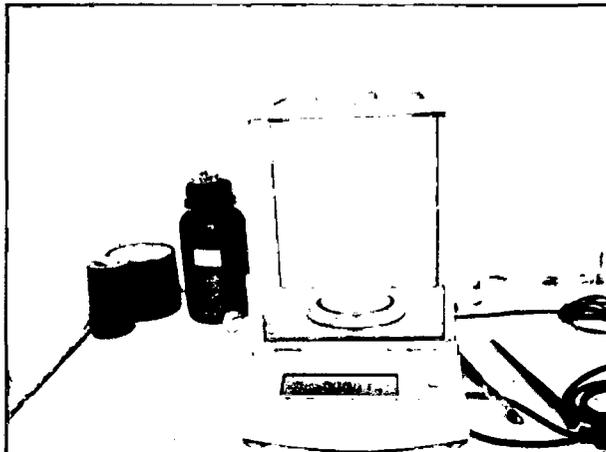
Los sólidos suspendidos resultan de la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos contenidos en el filtrado.

Sólidos Fijos y Volátiles: El principal objetivo que se persigue al realizar la determinación de sólidos en desagües, es obtener una medida de la cantidad orgánica presente. Esta prueba es realizada por combustión, en el que la materia orgánica es convertida en anhídrido carbónico y agua, mientras que la temperatura es controlada para prevenir la descomposición y volatilización de las sustancias inorgánicas tanto como sean consistentes con oxidación completa de la materia orgánica. La pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica.

El procedimiento normal es el de llevar la ignición a 600 °C, esta es la menor temperatura cerca al cual la materia orgánica, particularmente residuos de carbón resultan de la descomposición química por el calor de carbohidratos y otras materias orgánicas.



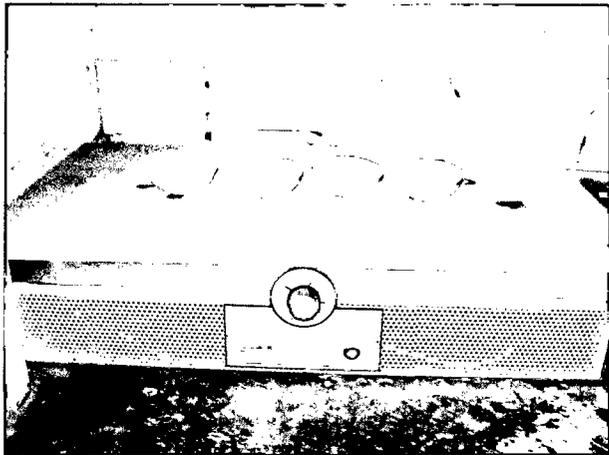
Fotografía N° 5.30: Medición de sólidos



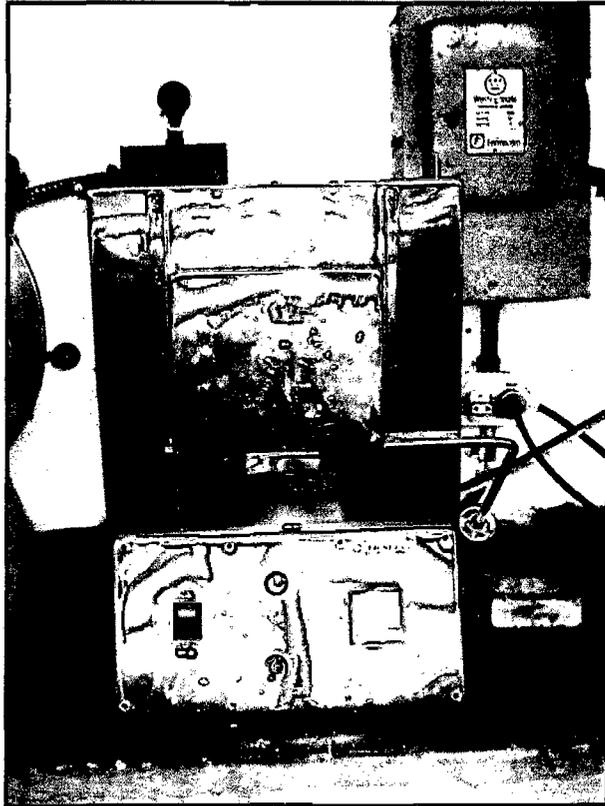
Fotografía N° 5.31: Balanza utilizada en el Laboratorio



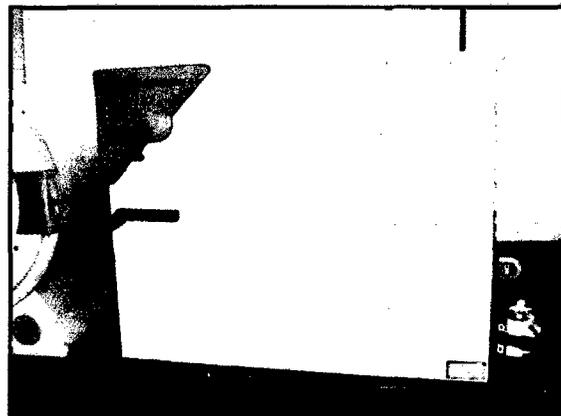
Fotografía N° 5.32: Deseccadores.



Fotografía N° 5.33: Estufa utilizado durante la medición



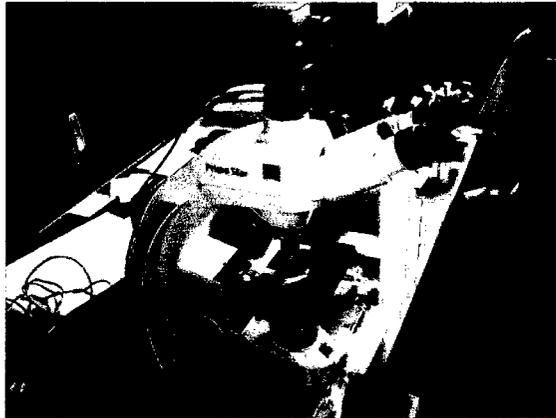
Fotografia N° 5.34: Muffla



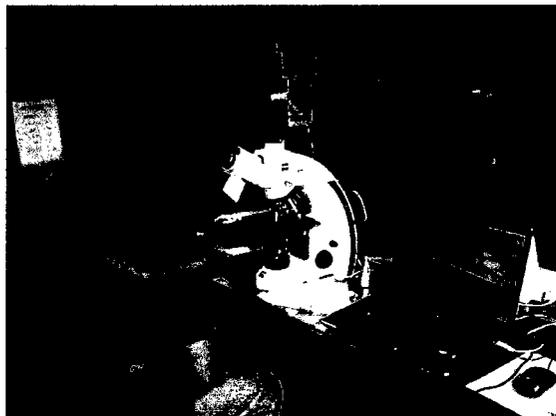
Fotografia N° 5.35: Horno

D) Determinación de Microorganismos

Los microorganismos que se formaron durante el proceso de tratamiento fueron observados a través de un microscopio.



Fotografía N° 5.36: Microscopio



Fotografía N° 5.37: Vista de Microscopio y Computadora

CAPITULO 6

PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS

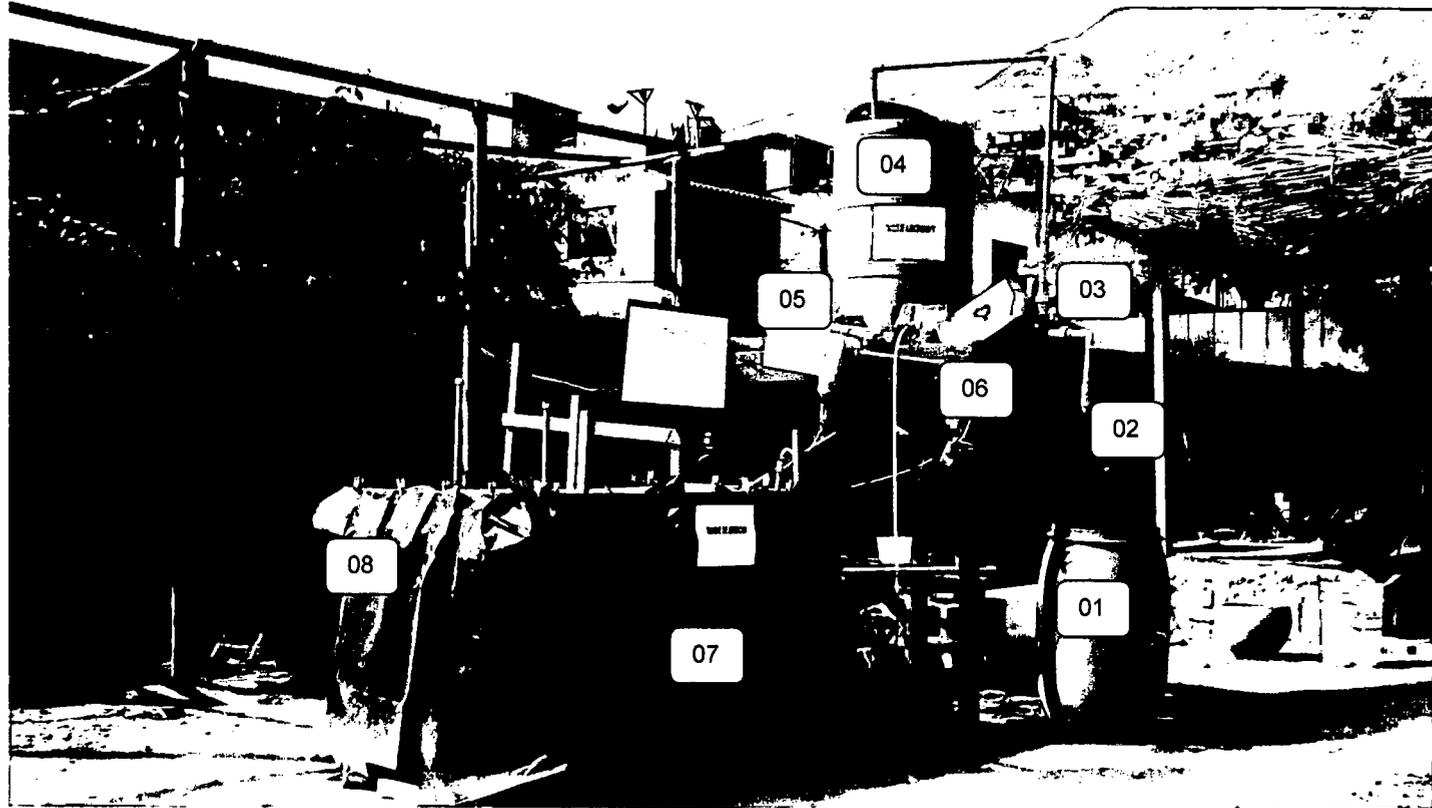
Para que el Sistema de Tratamiento a escala entre en funcionamiento se tuvo que realizar unos trabajos previos de implementación de las distintas unidades del sistema para luego dar inicio a la puesta en marcha de las dos etapas de la investigación.

6.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO:

Para que el sistema de tratamiento funcione eficientemente y se logre eficiencias máximas de remoción, las unidades que la componen deben estar en condiciones óptimas de funcionamiento, por lo que se realizó un trabajo de implementación de estas previo a la puesta en marcha del sistema, verificando si dichas unidades logren proporcionar las condiciones necesarias para que el sistema de tratamiento funcione adecuadamente.

Para esto se eligió las dimensiones más apropiadas de los componentes de las unidades del sistema de tratamiento para evitar falencias en cuanto a caudal, aireación del sistema, volumen de almacenamiento, etc.

La implementación de cada unidad del sistema de tratamiento se detalla a continuación:



Fotografía N° 6.1: Sistema de Tratamiento de Lodos Activados

Leyenda:

01: Tanque de Homogenización

02: Tubería de Impulsión (3/4")

03: Bomba de ½ Hp

04: Tanque de Almacenamiento

05: Dosificador de Caudal

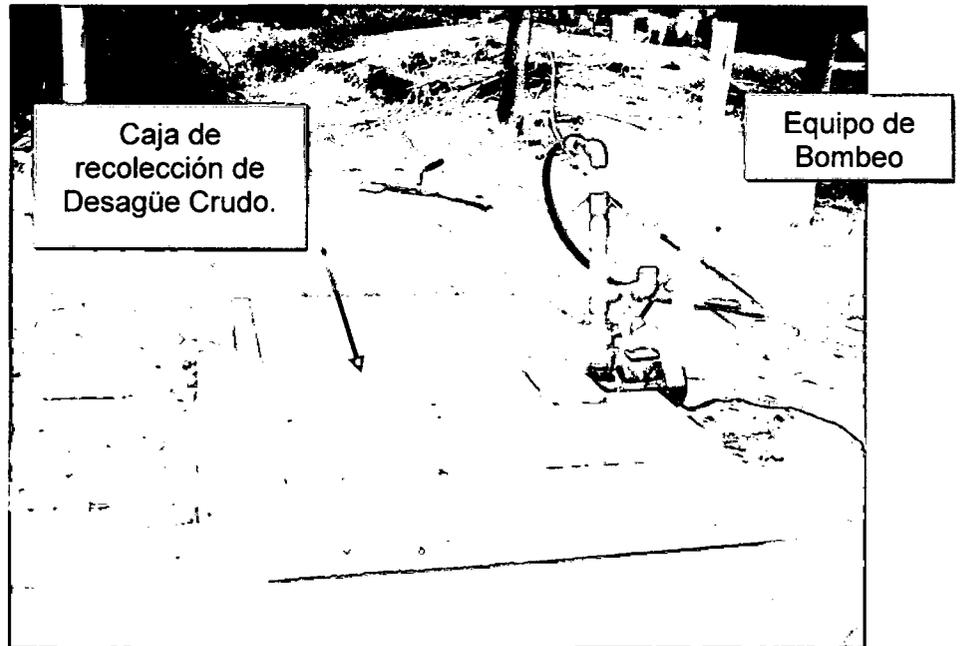
06: Compresor de Aire

07: Tanque de Aireación

08: Tanque de Sedimentación

6.1.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE CAPTACIÓN

Para lograr llevar las aguas residuales desde el punto donde estas serán captadas hasta el tanque de homogenización, se uso un sistema de bombeo, puesto que existe un desnivel, entre estos puntos, de aproximadamente de 3m.



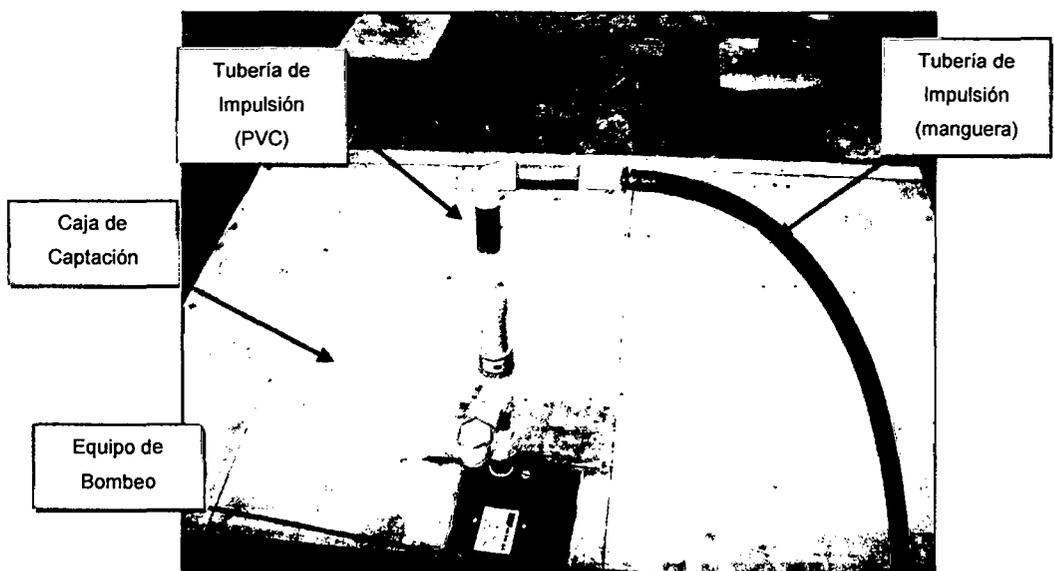
Fotografía N° 6.2: Unidad de Captación

Para ello el sistema de bombeo conto con una electrobomba periférica de 1/2HP Modelo QB-60 el cual logra bombear el agua a 35m de altura y un caudal de 35 l/min logrando llenar el tanque de homogenización de 200lt en 6 minutos aproximadamente, así mismo, dicha bomba tiene una capacidad de succión de 9m lo cual es suficiente puesto que el desnivel entre el fondo de la captación hasta la bomba es de aproximadamente 1.50m.



Fotografía N° 6.3: Vista interna de la Unidad de Captación

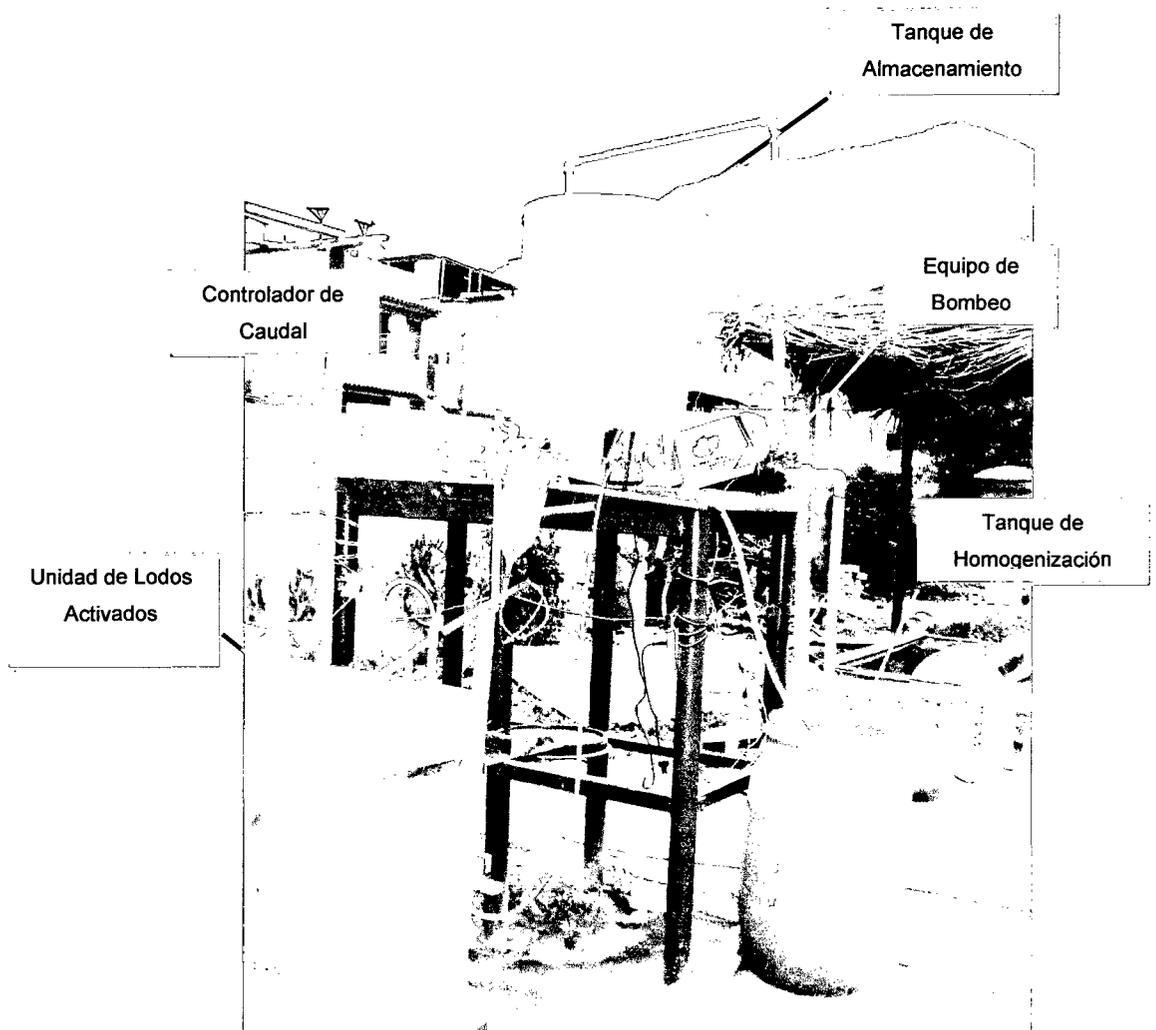
La tubería de succión es de PVC de 1" de diámetro, mientras que la tubería de impulsión posee 2 tramos, el primero (1.0m aprox.) de PVC de 1" de diámetro, el segundo, que abarca casi toda la extensión de la tubería de impulsión (10m aprox.), es de manguera flexible de 3/4" de diámetro, este material fue elegido por su flexibilidad, dando mayor facilidad en la operación del sistema.



Fotografía N° 6.4: Vista del Sistema de Bombeo de la Unidad de Captación

6.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN – TANQUE DE ALMACENAMIENTO

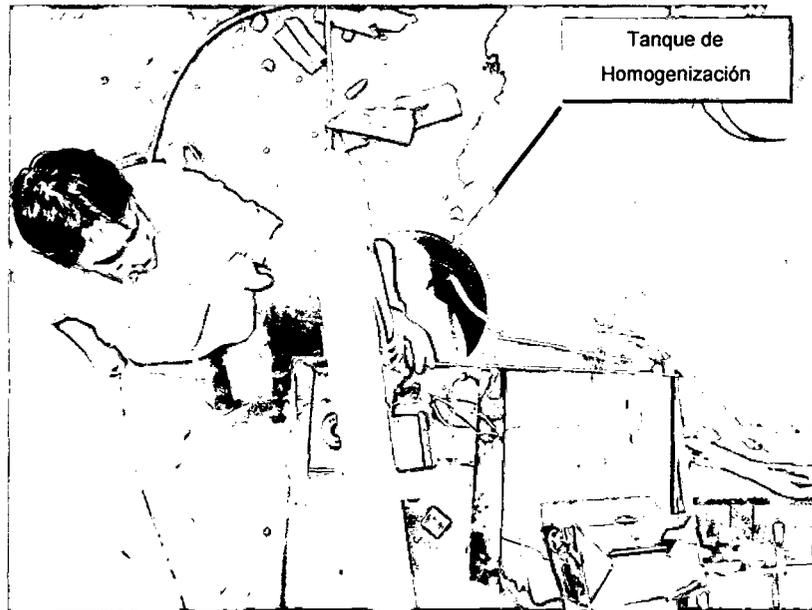
El volumen de estos dos tanques (Homogenización y Almacenamiento) es de 200lt cada uno, dicho valor fue elegido pues el volumen aproximado de agua a tratar en 1 día por el sistema de tratamiento.



Fotografía N° 6.5: Vista del Tanque de Homogenización y el Tanque de Almacenamiento

El tanque de almacenamiento se encuentra a una altura de 1.70m por encima del tanque de homogenización, para lograr, de esta

manera, una altura suficiente para que la unidad de lodos activados funcione por gravedad.



Fotografía N° 6.6: Vista del Tanque de Homogenización

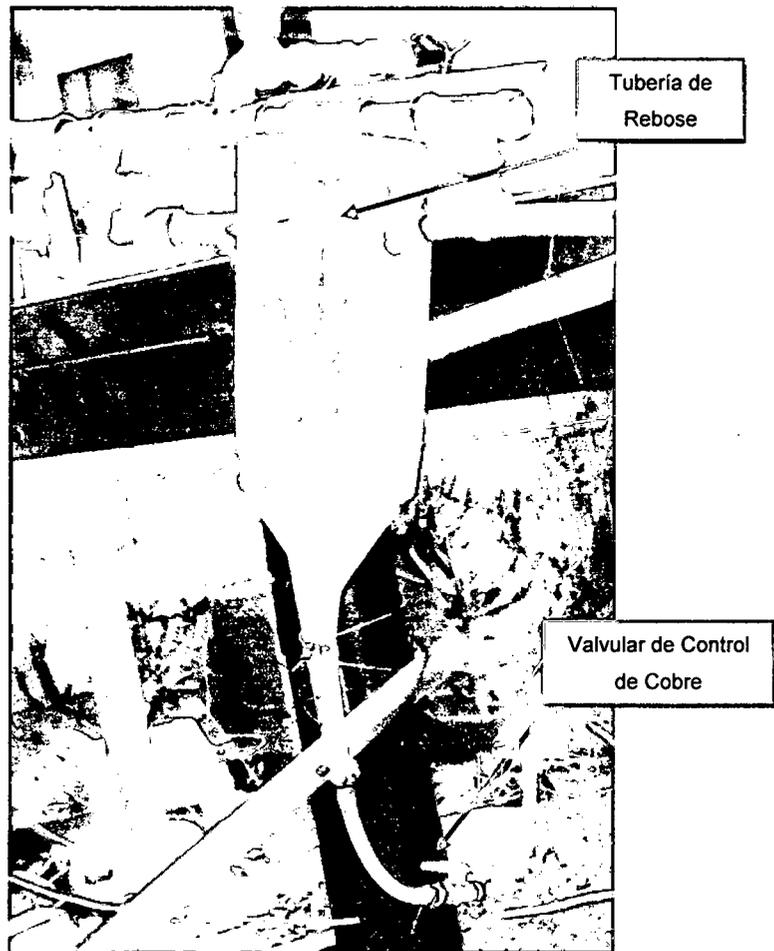
Para llevar las aguas residuales desde el tanque de homogenización al tanque de almacenamiento, se uso una electrobomba periférica de 1/2HP modelo QB-60 el cual logra bombear el agua a 35m de altura y un caudal de 353 l/min logrando llenar el tanque de homogenización de 200lt en 6 minutos aproximadamente.



Fotografía N° 6.7: Equipo de Bombeo (instalación de accesorios de succión e impulsión)

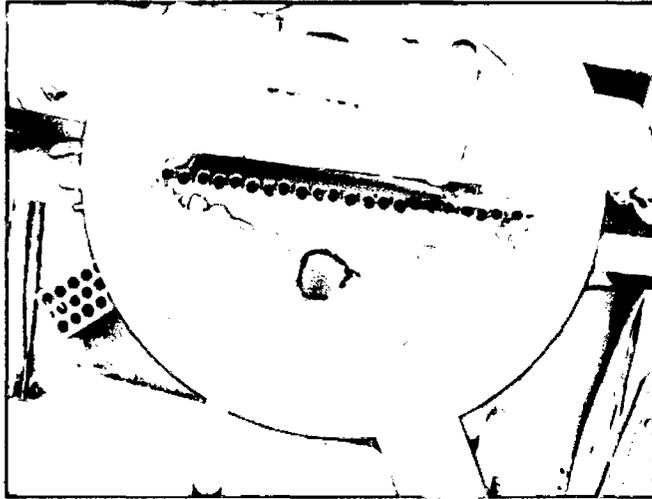
6.1.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA UNIDAD DE CONTROL DE CAUDAL

Uno de los peores inconvenientes fue mantener un caudal constante durante toda la investigación, puesto que el caudal que ingresaba a la unidad de lodos activados, el cual era muy pequeño (120ml/min o 172.8 l/día), sufría de una variación muy elevada durante el día, ya que la altura de presión (nivel del agua en el tanque de almacenamiento) variaba 1.50m desde el nivel máximo (tanque lleno) hasta el nivel mínimo (tanque vacío), lo cual provocaba dichas variaciones en el caudal.



Fotografía N° 6.8: Unidad Controladora de Caudal

Para mantener el caudal constante, se uso un sistema muy simple, que consistía básicamente en un recipiente con un rebose en la parte superior, el caudal excedente ingresaba al rebose y se redirigía hacia el tanque de homogenización para su posterior reutilización.



Fotografía N° 6.9: Vista del Canal de Rebose de la Unidad Controladora de Caudal

El rebose utilizado fue una tubería que atravesaba el recipiente por la parte superior, dicha tubería tenía una canal pequeño a lo largo de esta, que funcionaba como un canal central en el recipiente, por el cual rebosaba el caudal excedente.

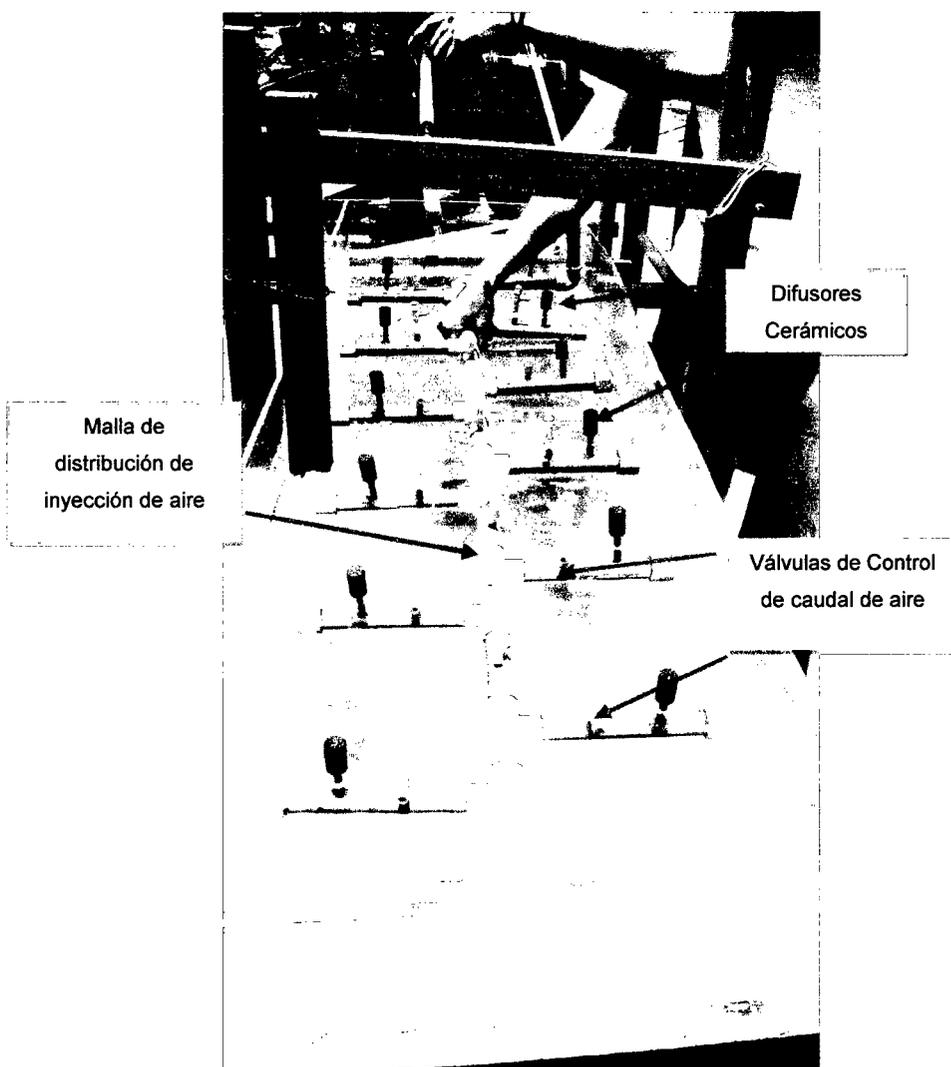


Fotografía N° 6.10: Válvula de Control de cobre

Asimismo se instaló una válvula de control de cobre para graduar el caudal de ingreso a la unidad de lodos activados.

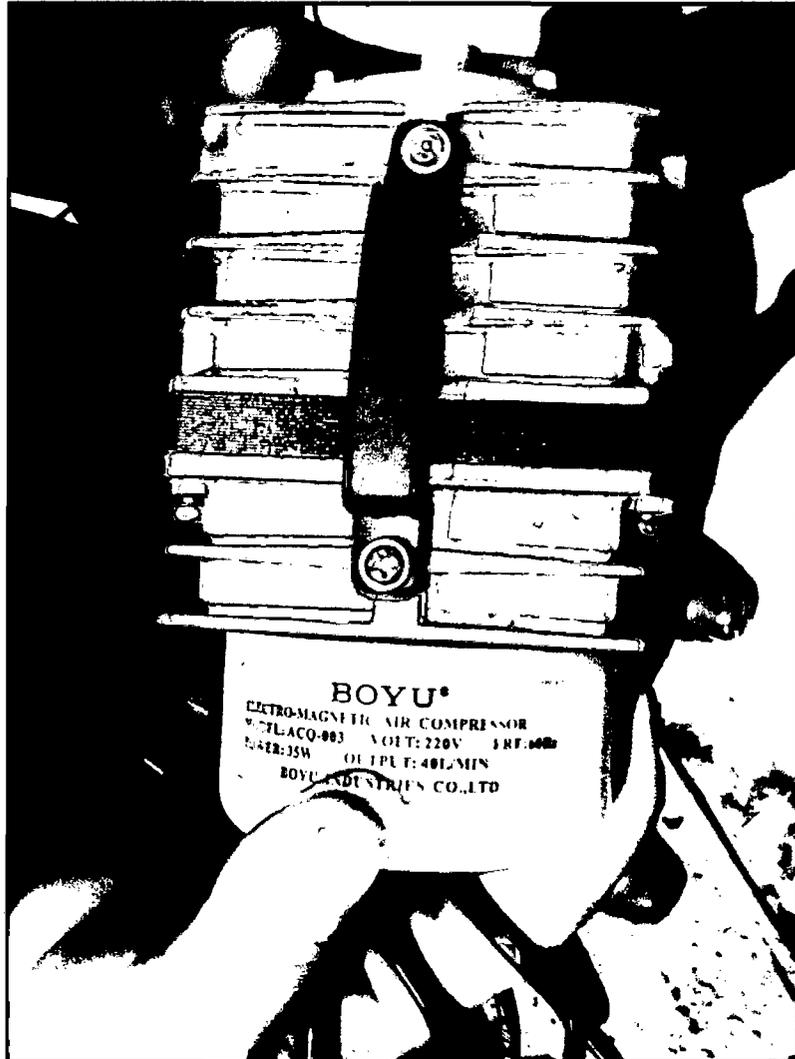
6.1.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE AIREACIÓN

Otro de los peores inconvenientes durante la investigación fue simular a escala el sistema de aireación usadas en las lagunas aireadas (lodos activados), la solución a este problema fue usar una compresora de aire, así mismo una red que distribuya uniformemente el aire a lo largo de toda el ara de la laguna y el uso de "difusores cerámicos" para formar el tamaño de burbujas de aire deseadas para el tratamiento.



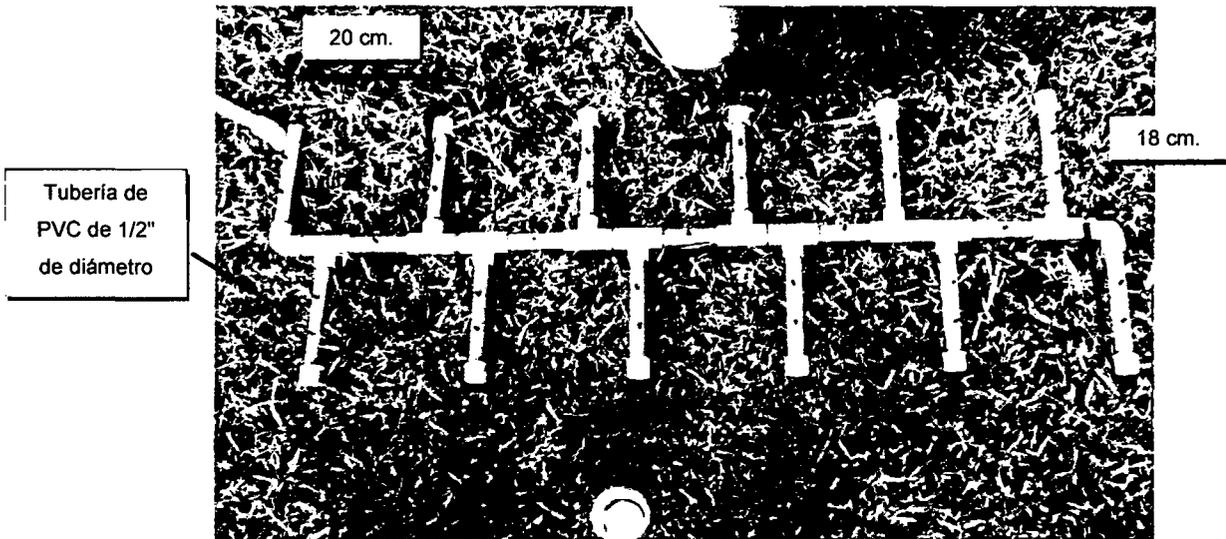
Fotografía N° 6.11: Sistema de Aireación

El compresor de aire usado fue un compresor electro-magnético de aire Marca BOYU, modelo ACQ-003 con una capacidad de aireación de 40l/min.



Fotografía N° 6.12: Compresor de Aire

La red posee fue fabricada de tuberías y accesorios de PVC de 1/2", esta red se conectaba a la bomba difusora a través de una manguera de 3/8", así mismo dicha red poseía unos difusores cerámicos cilíndricos distribuidos uniformemente en toda la red.



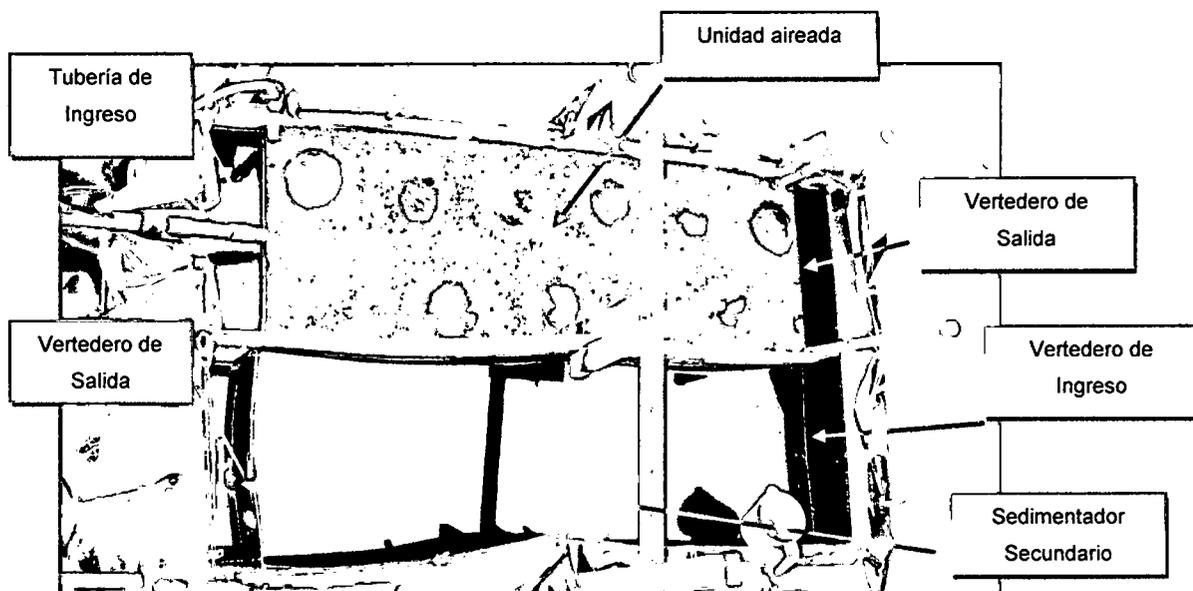
Fotografía N° 6.13: Red de Distribución de Aire (Ver plano)



Fotografía N° 6.14: Difusores Cerámicos

6.1.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Para la implementación del sistema de lodos activados se construyeron dos tanques de acrílico (tanto la unidad aireada como la de sedimentación), puesto que este materia es muy resistente y a la vez transparente, lo cual permite observar los distintos procesos que ocurren durante el tratamiento y asegurar una durabilidad de dichas unidades durante todo el tiempo que dure la investigación.



Fotografía N° 6.15: Vista superior del Sistema de Lodos Activados

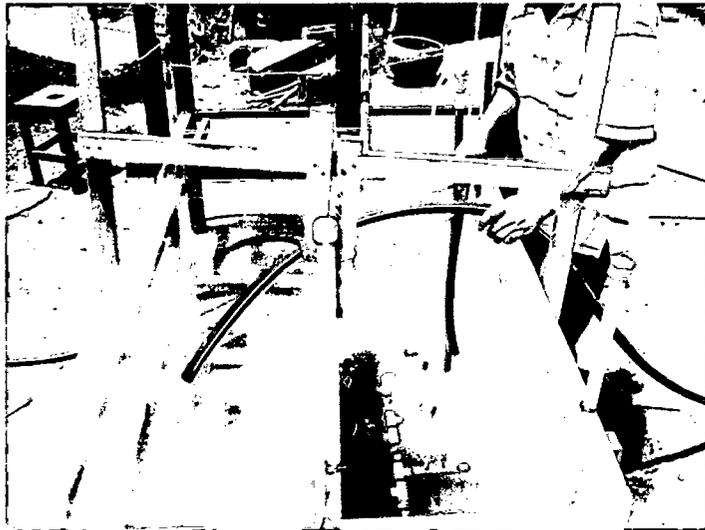
6.2 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La puesta en marcha del sistema de tratamiento será en dos etapas, la primera con aguas residuales y la segunda con la mezcla de lixiviados y aguas residuales

Dichas etapas se describen a continuación:

6.2.1 PUESTA EN MARCHA CON AGUAS RESIDUALES

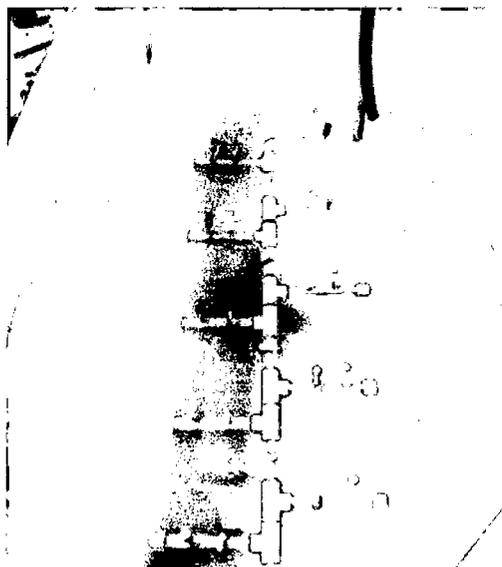
La primera etapa de la puesta en marcha del sistema de tratamiento, consta básicamente del llenado del tanque de aireación con aguas residuales, y al mismo tiempo el del tanque de sedimentación con agua limpia, para evitar posibles fallas por diferencia de presión en las dos lagunas.



Fotografía N° 6.16: Llenado del tanque de aireación y del tanque de sedimentación

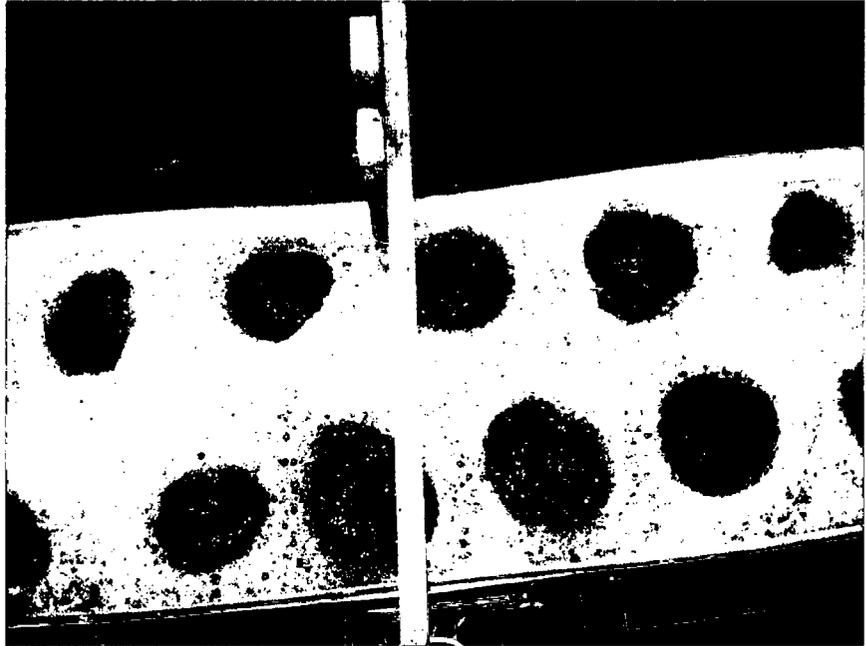
En esta etapa se formaran los microorganismos típicos de una unidad de lodos activados, este conjunto de microorganismos son responsables del tratamiento en el sistema, su formación es vital

para que el sistema funcione eficientemente, es por eso que esta etapa es una de las más importante durante la investigación, debiendo tener mucho cuidado en el control de los distintos parámetros de funcionamiento, ya sea caudal, cantidad de aireación, etc.



Fotografía N° 6.17: Vista del Llenado del tanque de aireación

Para saber el tiempo de duración de esta etapa, se realizaron monitoreos continuos de distintos parámetros, siendo el más importante la medición de DBO_5 (este parámetro se midió 2 a 3 veces por semana), el cual serviría de indicador del final de esta etapa.



Fotografía N° 6.18: Vista del tanque de aireación en operación

La primera etapa culmina cuando la eficiencia en remoción de DBO5 llega a un máximo valor (alrededor del 95%) y este valor se mantiene constante, es decir cuando los resultados de la DBO5 ya no fluctúan significativamente.

6.2.2 PUESTA EN MARCHA CON LIXIVIADO DILUIDO CON AGUAS RESIDUALES

La segunda y última etapa de la puesta en marcha del sistema, es la introducción a este de lixiviado diluido en diferentes concentraciones, esta etapa es muy importante puesto que “es en si la investigación a realizar”.



Fotografía N° 6.19: Medición del lixiviado a diluir con agua residual

En esta etapa se introducirán diluciones cada vez más concentradas de lixiviado al sistema comenzando con 1% y aumentando paulatinamente cada semana hasta que la eficiencia del sistema (en remoción de DBO5) se afecte significativamente.



Fotografía N° 6.20: Vista del proceso de dilución del lixiviado con agua residual en el tanque de homogenización

CAPITULO 7

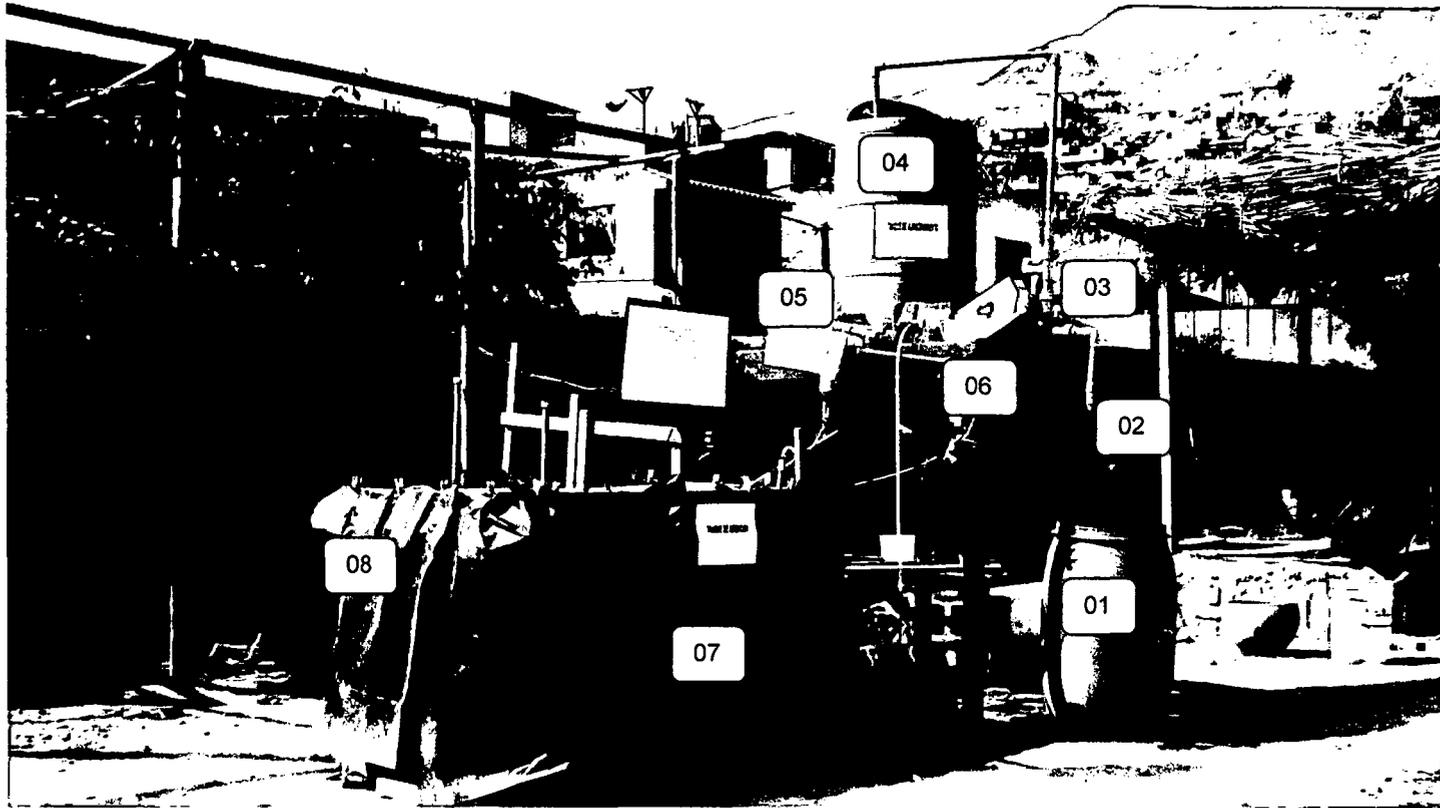
RESULTADOS OBTENIDOS

7.1 PLANTA PILOTO DE LODOS ACTIVADOS

El sistema de lodos activados a nivel piloto, se menciona en la metodología de investigación, se mantuvo en forma continua durante 75 días, trabajando las 24 horas, con un caudal continuo.

Para el control de la operación, se realizaron mediciones en distintos puntos del Sistema de Tratamiento por Lodos Activados.

Los parámetros monitoreados son los siguientes: Caudal, pH, Temperatura, Turbiedad, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Disueltos, Sólidos Fijos, Sólidos Totales, Oxígeno Disuelto, DBO_{5s}.



Fotografía N° 7.1: Sistema de Tratamiento de Lodos Activados

Leyenda:

01: Tanque de Homogenización

02: Tubería de Impulsión (3/4")

03: Bomba de ½ Hp

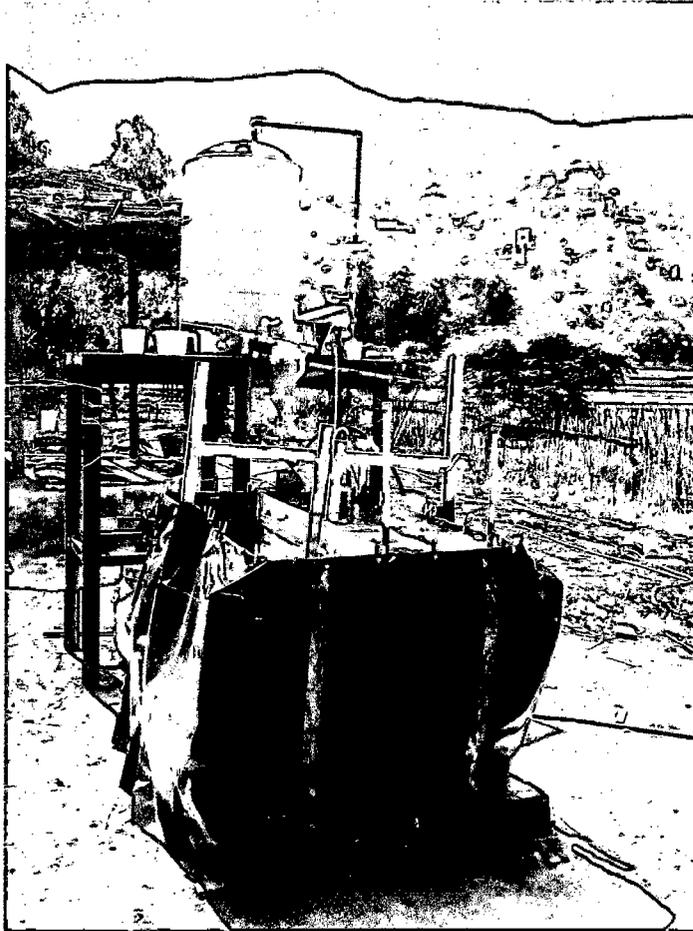
04: Tanque de Almacenamiento

05: Dosificador de Caudal

06: Compresor de Aire

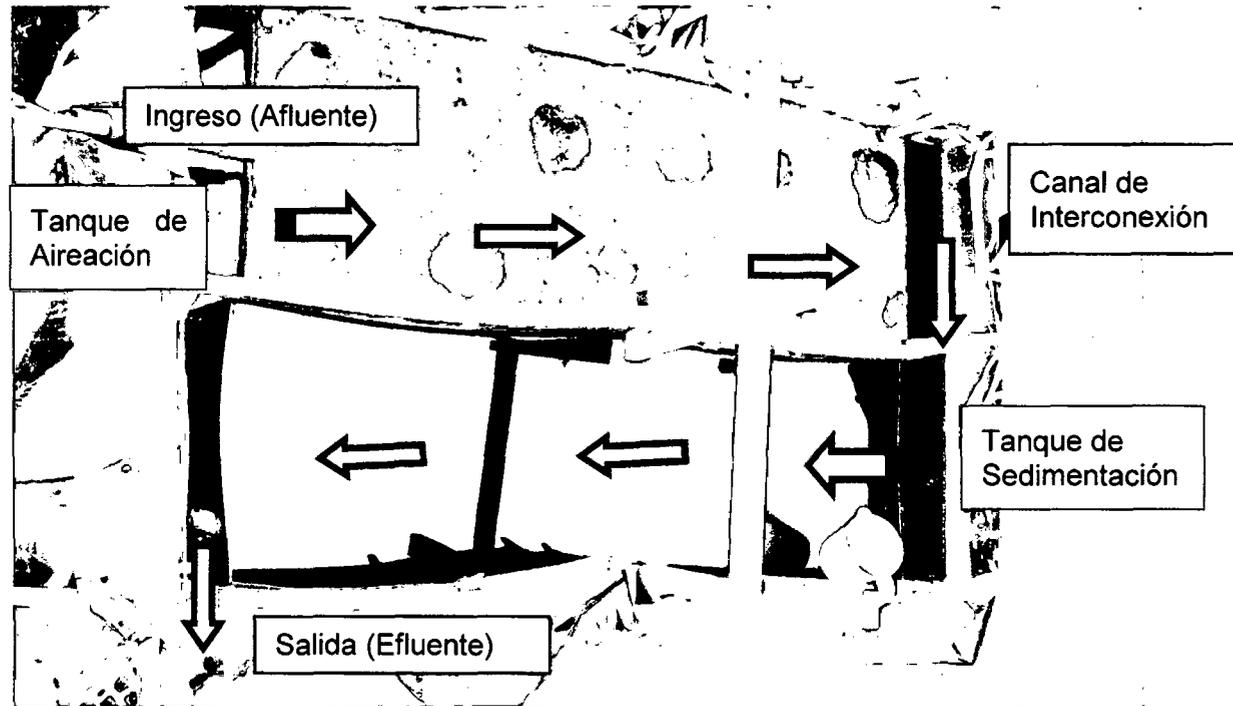
07: Tanque de Aireación

08: Tanque de Sedimentación



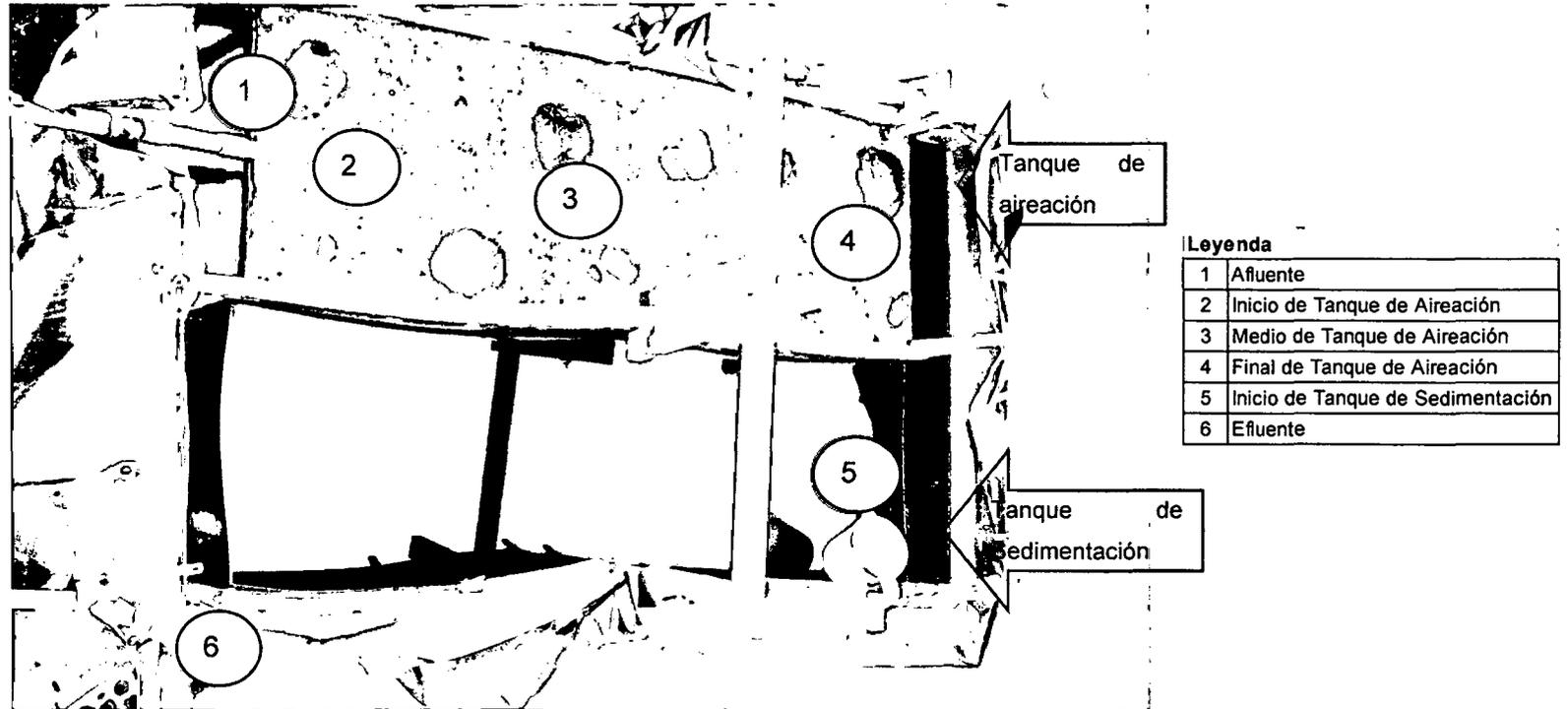
Fotografía N° 7.2: Vista del Sistema de Tratamiento de Lodos Activados

En la presente Fotografía N°7.2, se muestra la otra vista del sistema utilizado para la investigación.



Fotografía N° 7.3: Vista Superficial de Tanques de Aireación y Sedimentación.

En la presente Fotografía N°7.3, se muestra la vista en planta de conformado por el tanque de aireación y sedimentación, se puede apreciar el sentido del flujo, el ingreso es primero en el tanque de aireación, luego el efluente de este pasa a través de un canal de interconexión, luego es conducido al tanque de sedimentación, donde se termina el tratamiento.



Fotografía N° 7.4: Puntos de Monitoreo N°01,02, 03, 04 y 05.06.

En la presente Fotografía N°7.4, se muestra los puntos donde se realizaron los monitoreos respectivos, para verificar la eficiencia del sistema. Durante la operación, siempre se mantuvo el caudal constante siendo esta de 172.80 l/día y un tiempo de retención hidráulico de 1 día.

7.2 RESULTADOS DE MEDICIONES

A continuación presentamos los resultados de los parámetros que se monitorearon durante la realización de la presente investigación:

7.3 RESULTADOS DE MEDICIONES DE DBO5

La muestra para la medición de la DBO5, se realizó antes del ingreso al sistema de aireación (Punto N° 01) y al final del sistema de aireación (Punto N° 03) y a la salida del sistema de sedimentación (Punto N° 06).

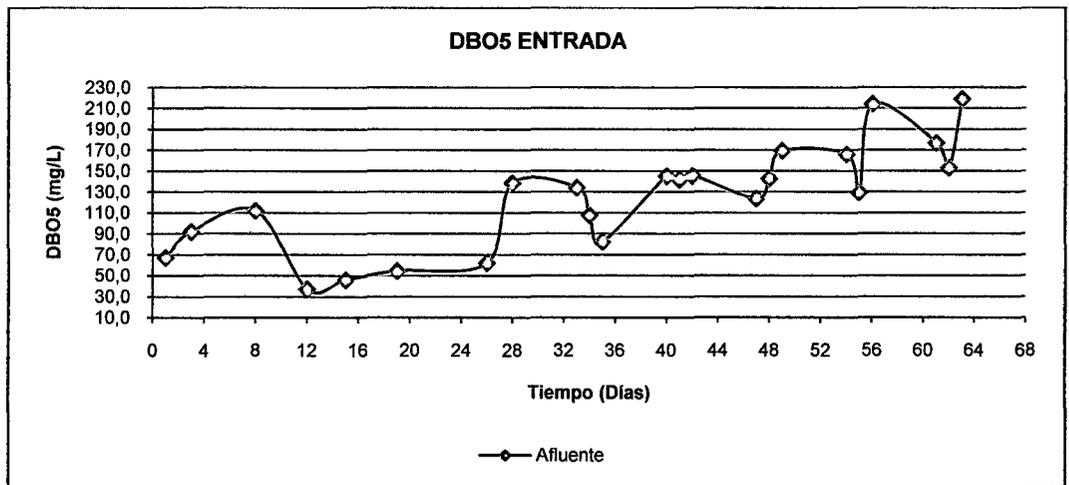


Gráfico N° 7.1: DBO5 a la entrada del Sistema de Tratamiento

Según lo mostrado en la Gráfica N° 7.1, cabe resaltar que la el valor de la DBO5, a aumentando gradualmente (desde valores de 35mg/l hasta 219mg/l), debido al aumento de la dosis en la dilución, es decir los porcentajes de lixiviado en la dilución fueron aumentando.

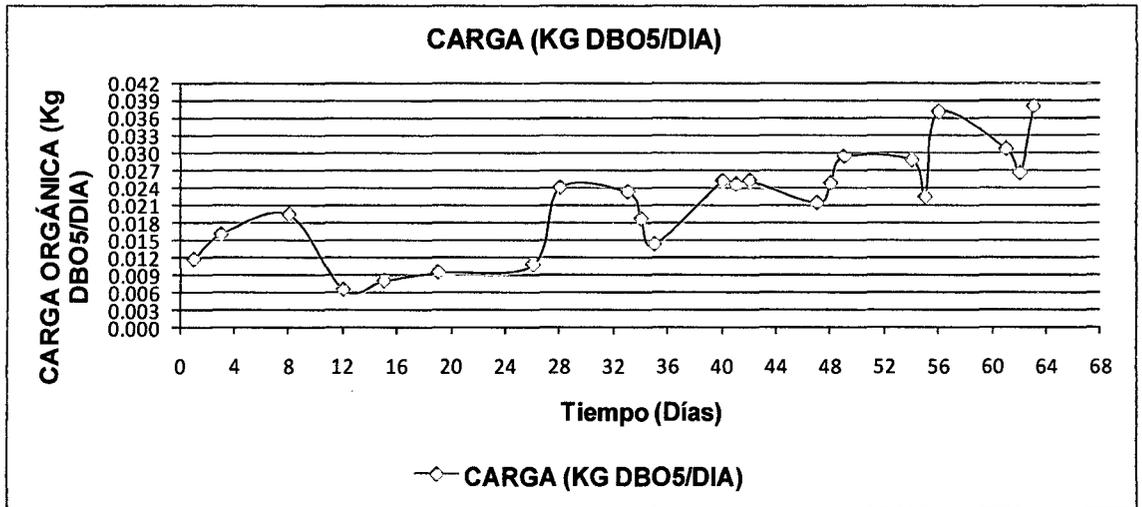


Gráfico N° 7.2: Carga en Kg DBO5/DIA a la entrada del Sistema de Tratamiento

En la gráfica N° 7.2, se observa la carga de entrada (Kg de DBO₅/DIA) , durante todo el tiempo que duro la investigación, este valor fluctuó entre 0.006 y 0.037Kg DBo5/dia.

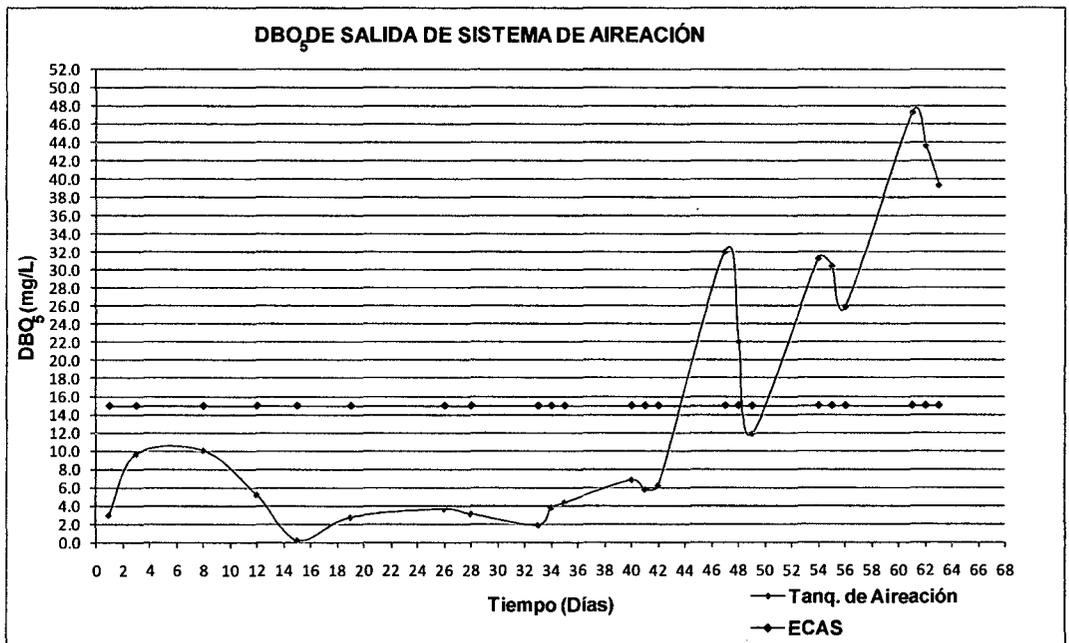


Gráfico N° 7.3: DBO5 a la Salida del Tanque de Aireación

En la Gráfica N° 7.3, se muestra los valores de la DBO₅, a la salida del sistema de aireación (estos varían desde 0.1 hasta 48mg/l), donde nos

muestra que la carga baja notablemente con respecto a la entrada, esto nos garantiza la buena operación del Sistema.

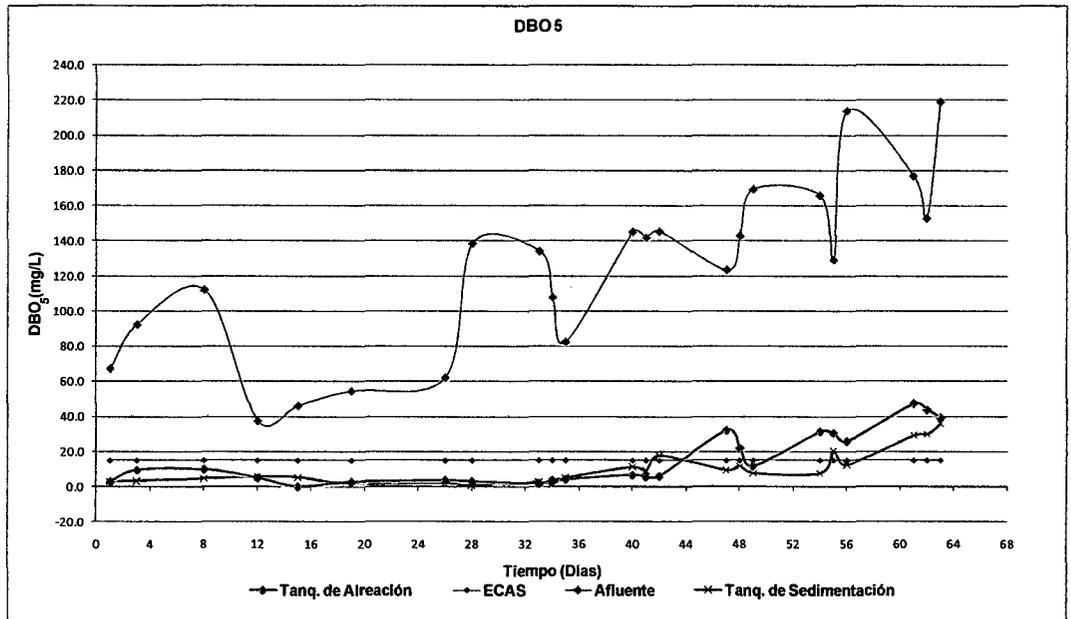


Gráfico N° 7.4: Comparación de la DBO5 en el Sistema.

En la Gráfica N° 7.4, se muestra la variación de la DBO5 a la entrada y salida y también comparándolo con los límites máximos permisibles, de conformidad con los ECAs. Se muestra una notable disminución de la DBO5.

Cabe recalcar que el afluente en los primeros días de monitoreo es puro desagüe crudo que ingresa de la salida del tanque séptico que se encuentra en la Planta de Tratamiento de la UNI.

7.4 EFICIENCIA DEL SISTEMA

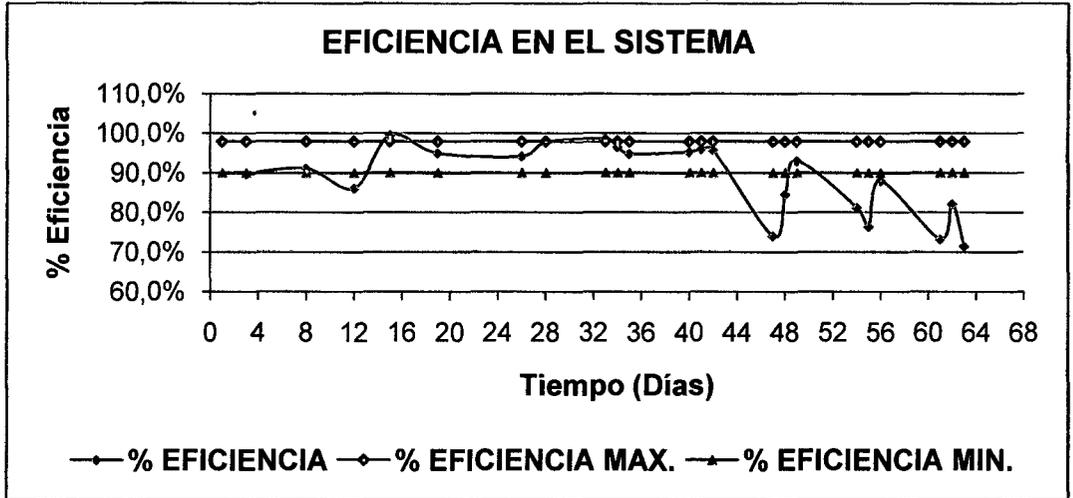


Gráfico N° 7.5: Eficiencia del Sistema.

En la Gráfica N° 7.5, se muestra la eficiencia del sistema, como se podrá notar la eficiencia se mantiene entre 90% a 99% aprox, el cual nos indica que el sistema está operando muy bien, cabe señalar que a partir del monitoreo N° 48, la eficiencia empieza a disminuir, esto debido al efecto que causa el incremento de la dosis de lixiviado, en este caso los primeros monitoreos se realizaron cuando solo el sistema operaba con desague crudo, luego se fue agregando el lixiviado en porcentajes bajos como 1%, 3%, 4% y 5%.

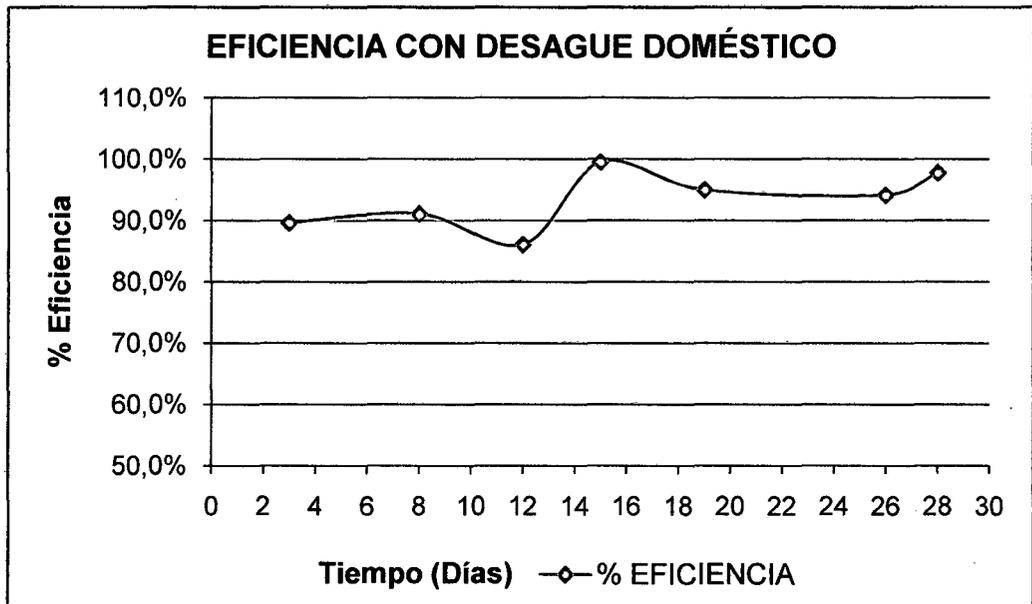


Gráfico N° 7.6: Eficiencia con desagüe doméstico crudo.

En la Gráfica N° 7.6, se muestra la eficiencia del sistema utilizando solo desagüe doméstico, es decir el efluente proveniente del Tanque Séptico, se utilizo esto inicialmente para poder hacer que la planta llegue a su eficiencia óptima, como se observara en la Gráfica N°7.6, se muestran valores de 90% a 99% de eficiencia, esto nos garantiza la buena operación del sistema.

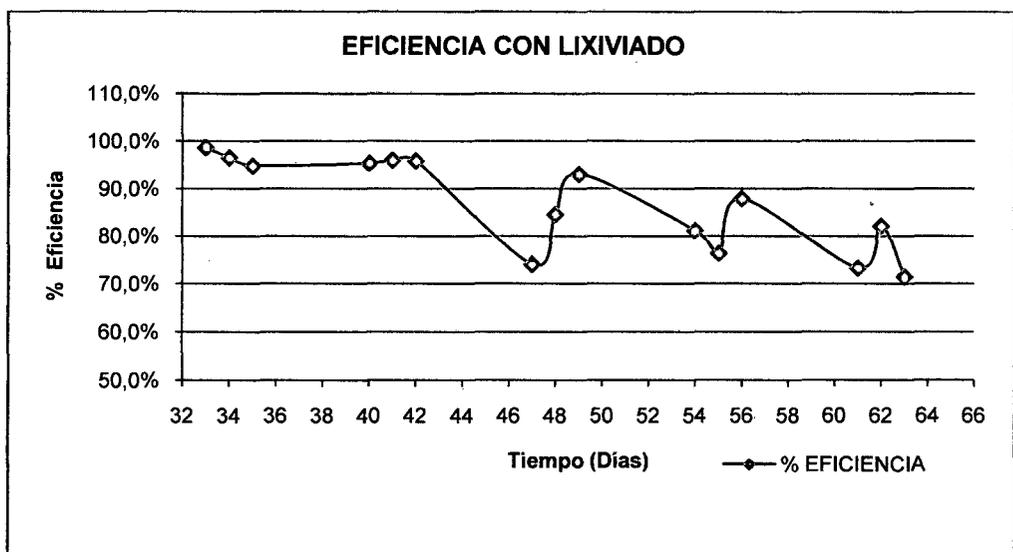


Gráfico N° 7.7: Eficiencia con desagüe doméstico crudo+ lixiviado

En la Gráfica N° 7.7, se muestra la eficiencia en el sistema cuando ya se agrego el lixiviado, es decir luego que se trabajo el sistema solo con desagüe crudo, se agrego el lixiviado en dosis de forma gradual, 1%, 3% 4% y 5%.

Podemos observar que el lixiviado afecta en la eficiencia del sistema ya que conforme agregamos más cantidad de dosis de lixiviado la eficiencia va disminuyendo, y no se restablece a lo inicial.

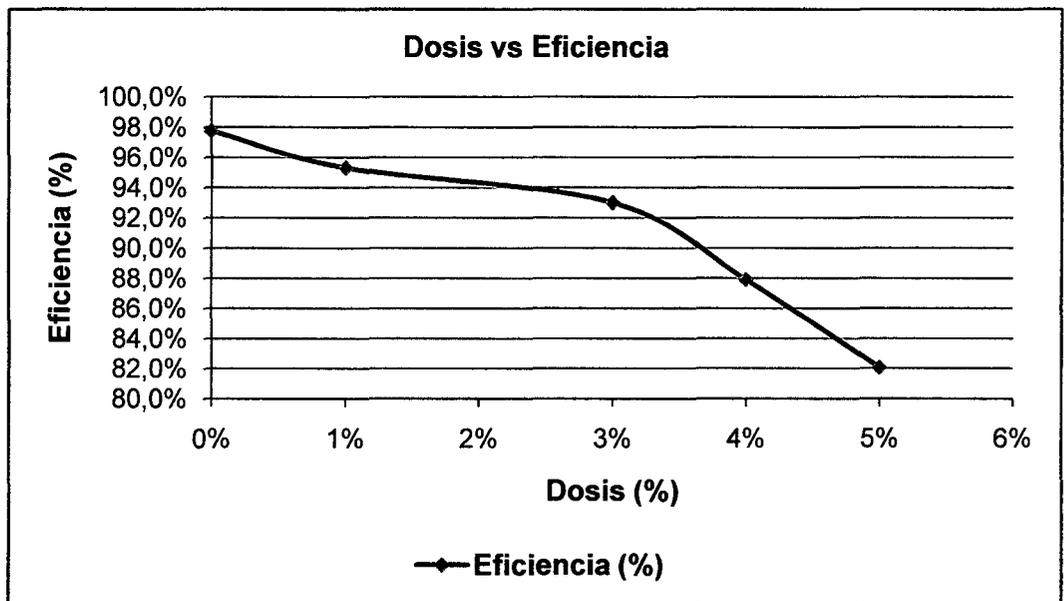


Gráfico N° 7.8: Dosis vs Eficiencia en el Sistema

En la Gráfica N° 7.8, se muestra la variación de la eficiencia en función a la dosis de lixiviado aplicada que en este caso se uso; 1%, 3%, 4% y 5%. Cabe recalcar que en 0%, se está considerando como si estuviera trabajando solo con desagüe doméstico, es decir es el punto hasta donde se estabilizo el sistema con esta muestra.

Como se podrá notar la eficiencia disminuye gradualmente.

Dosis Óptima	Eficiencia (%)	Variación
0%	97.76%	
1%	95.32%	-2.44%
3%	93.01%	-4.75%
4%	87.90%	-9.86%
5%	82.07%	-15.69%

Cuadro N° 7.1: Dosis vs Eficiencia.

En el Cuadro N° 7.1, se observa cuanto disminuye la eficiencia cuando le agregamos diferentes dosis.

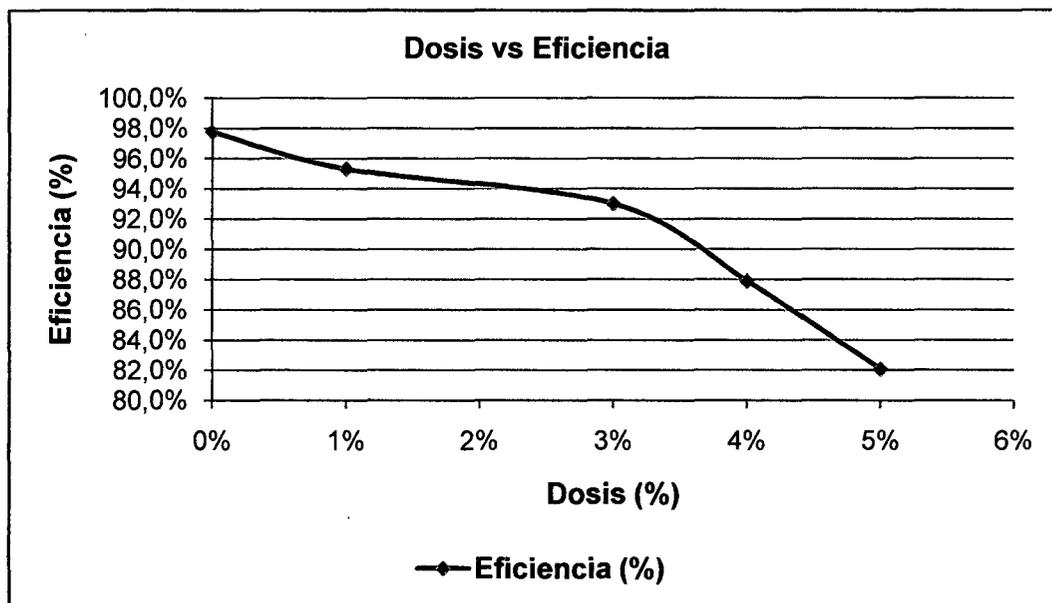


Gráfico N° 7.9: Curva de Dosis Óptima

En la Gráfica N° 7.9, se muestra la curva de dosis óptima en cuanto a eficiencia del sistema, la finalidad de la curva es saber cuánto varía la eficiencia del sistema en función a la dosis que se le aplica.

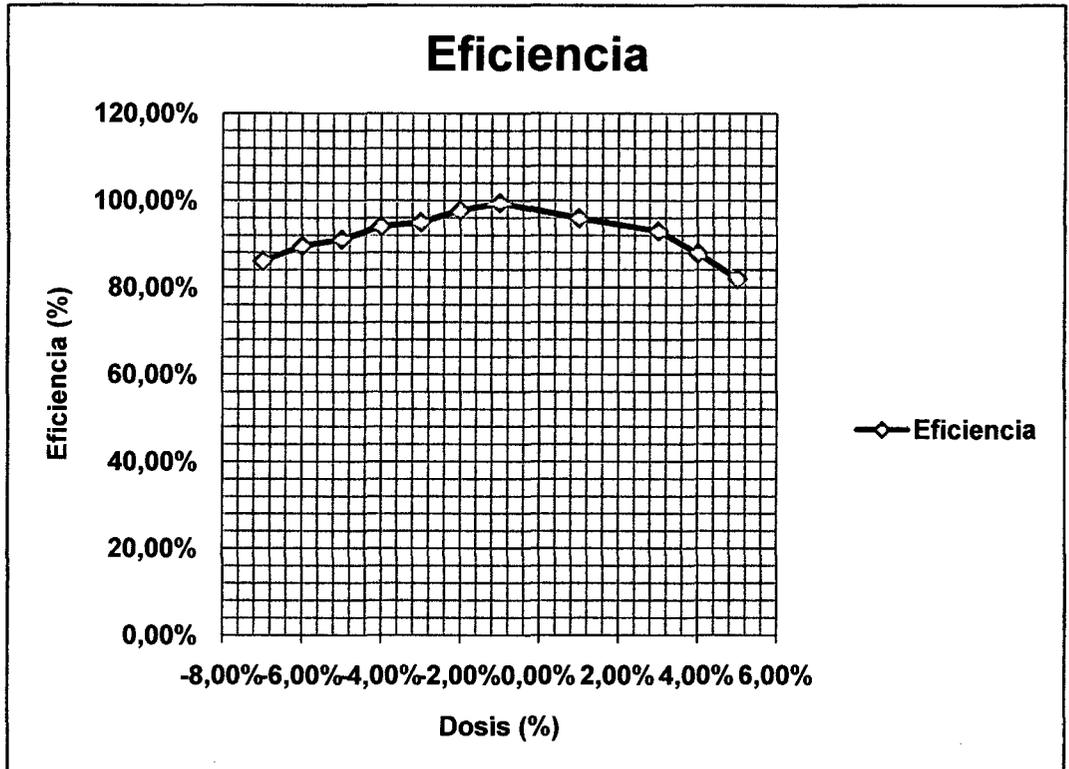


Gráfico N° 7.10: Curva de Eficiencia vs Dosis Óptima

En el gráfico 7.10, se muestra la variación de la eficiencia en el sistema desde el inicio de operación hasta el final de la operación, los valores negativos de porcentajes de dilución son cuando se trabajo con puro desague doméstico crudo(sin lixiviado), como se podra notar la eficiencia fue aumentando, hasta llegar a un valor aproximado de 99.00%, a partir de cuando el sistema se estabilizo, se empezo a dosificar de manera gradual el lixiviado, es decir con 1%, 3%, 4% y 5%, como se notara en la Gráfica N° la eficiencia disminuye gradualmente.

7.5 RESULTADOS DE MEDICIONES DE TURBIEDAD

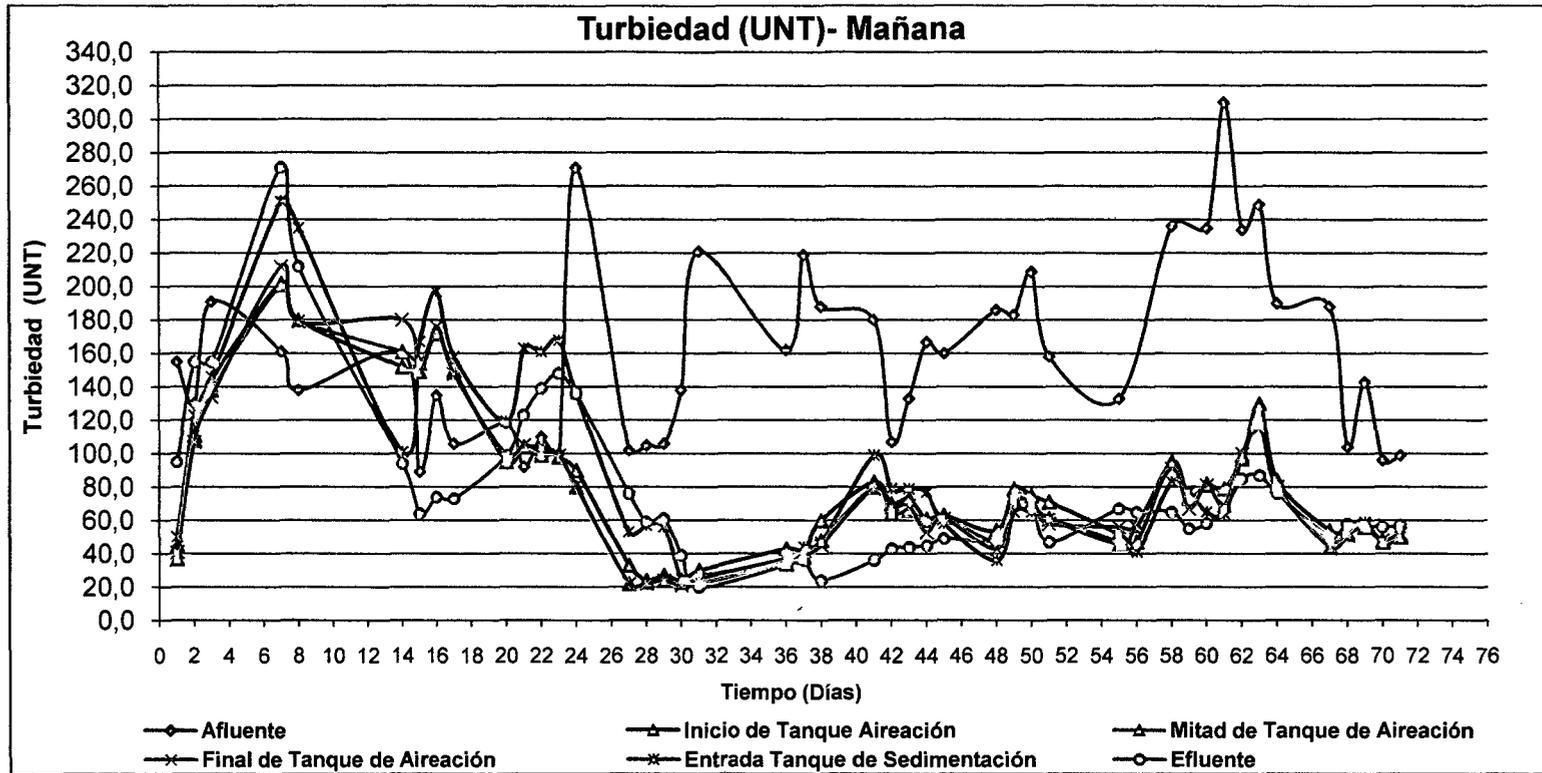


Gráfico N° 7.11: Valores de Turbiedad medidos en la mañana

En la Gráfica N°7.11 presente, se puede apreciar los resultados de los valores de turbiedad, que fueron monitoreados en el sistema, según se aprecia, existen disminuciones notables del valor de turbiedad dentro del sistema con respecto a los valores de entrada, dentro del reactor se mantiene valores de turbiedad iguales, por la mezcla completa que existe dentro del reactor.

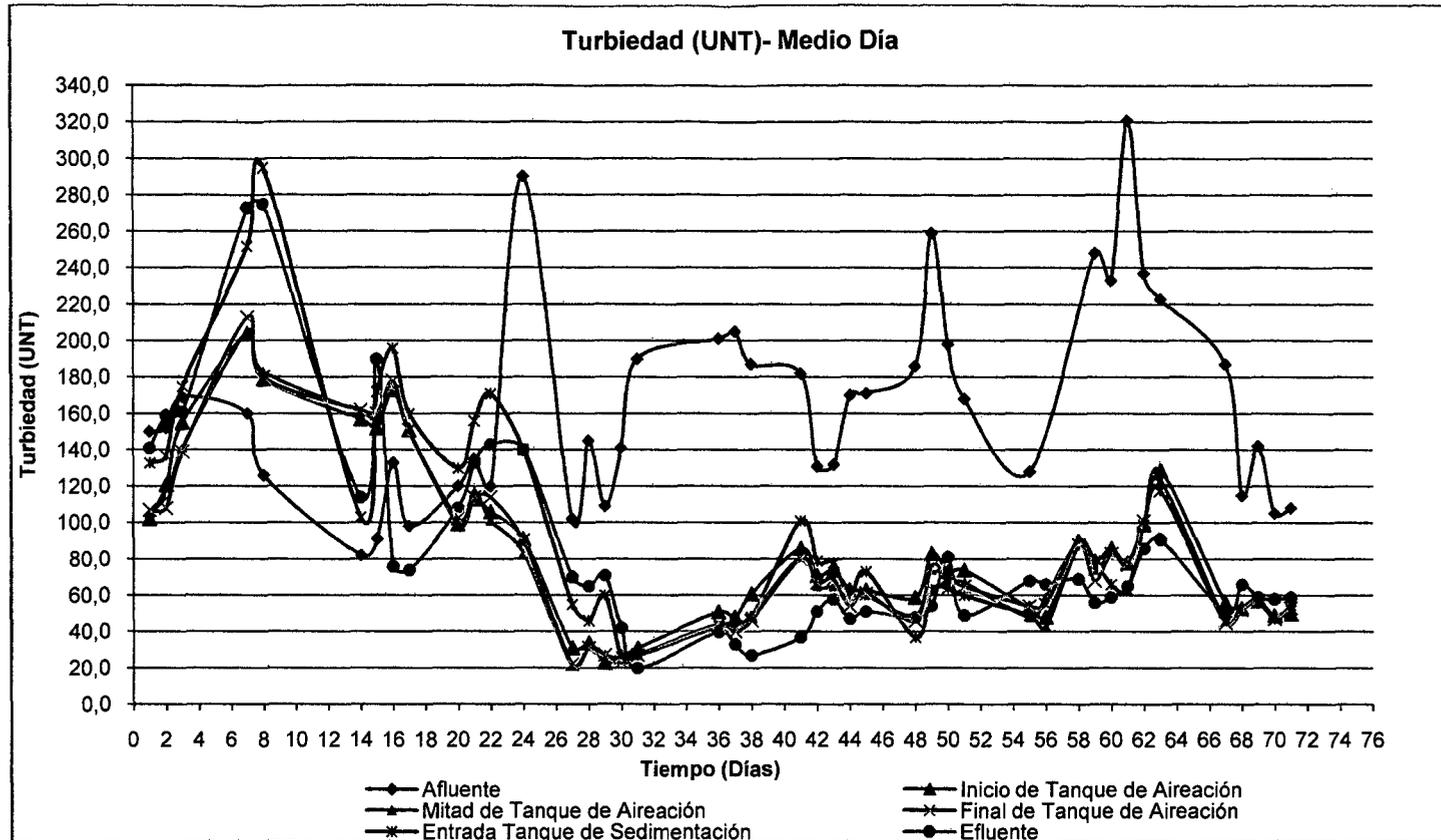


Gráfico N° 7.12: Valores de Turbiedad medidos a medio día

Al igual que la Gráfica N°7.11, anterior se puede apreciar que los resultados obtenidos al medio día son similares o mantienen la misma tendencia con respecto a los monitoreados en la mañana.

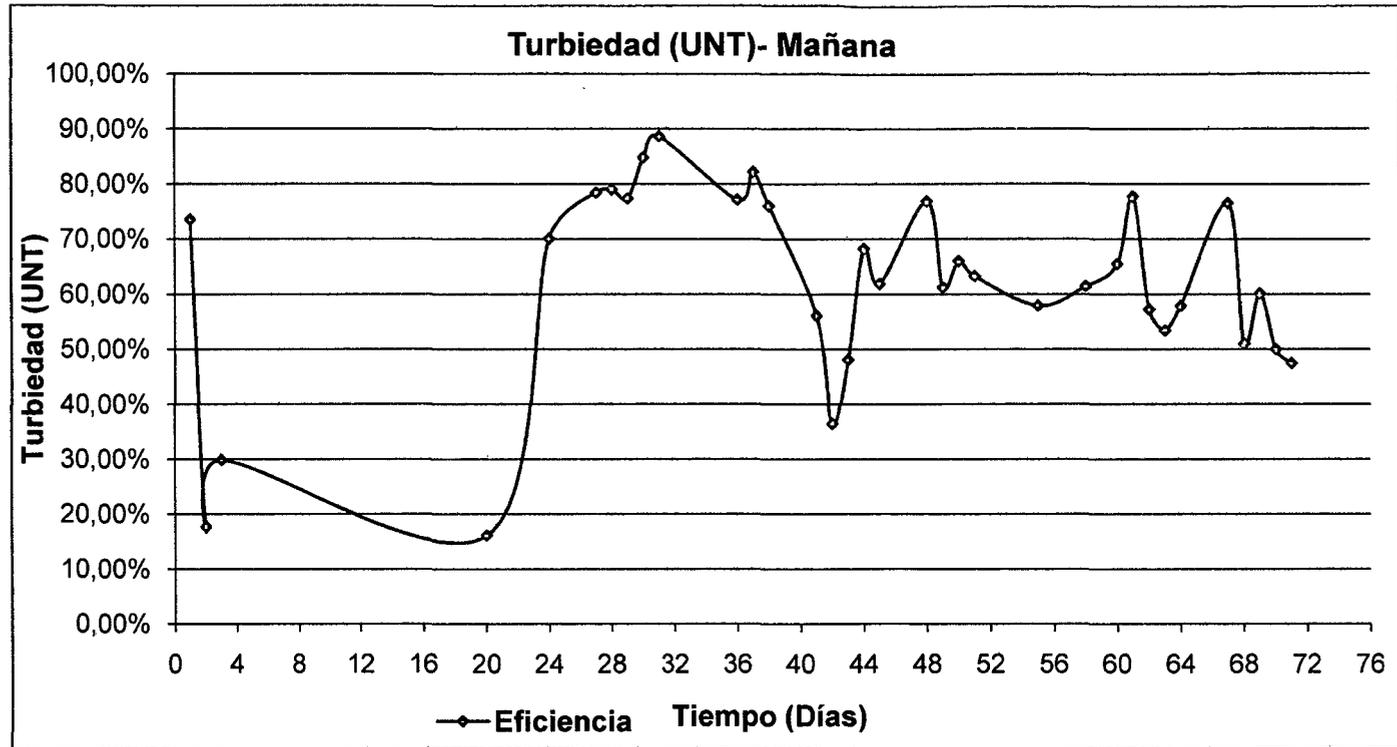


Gráfico N° 7.14: Eficiencia de Turbiedad en el Sistema de Aireación. (Mañana)

En la Gráfica N°7.14 mostrada, se aprecia la eficiencia en la disminución de la turbiedad por la mañana, en el tanque de aireación, estas eficiencias están en los rangos de 40 – 90%, cuando el tiempo de operación es mayor se mantiene la eficiencia entre 50 a 70%, inicialmente la eficiencia fue de 10 a 30%, en los primeros días de operación del sistema.

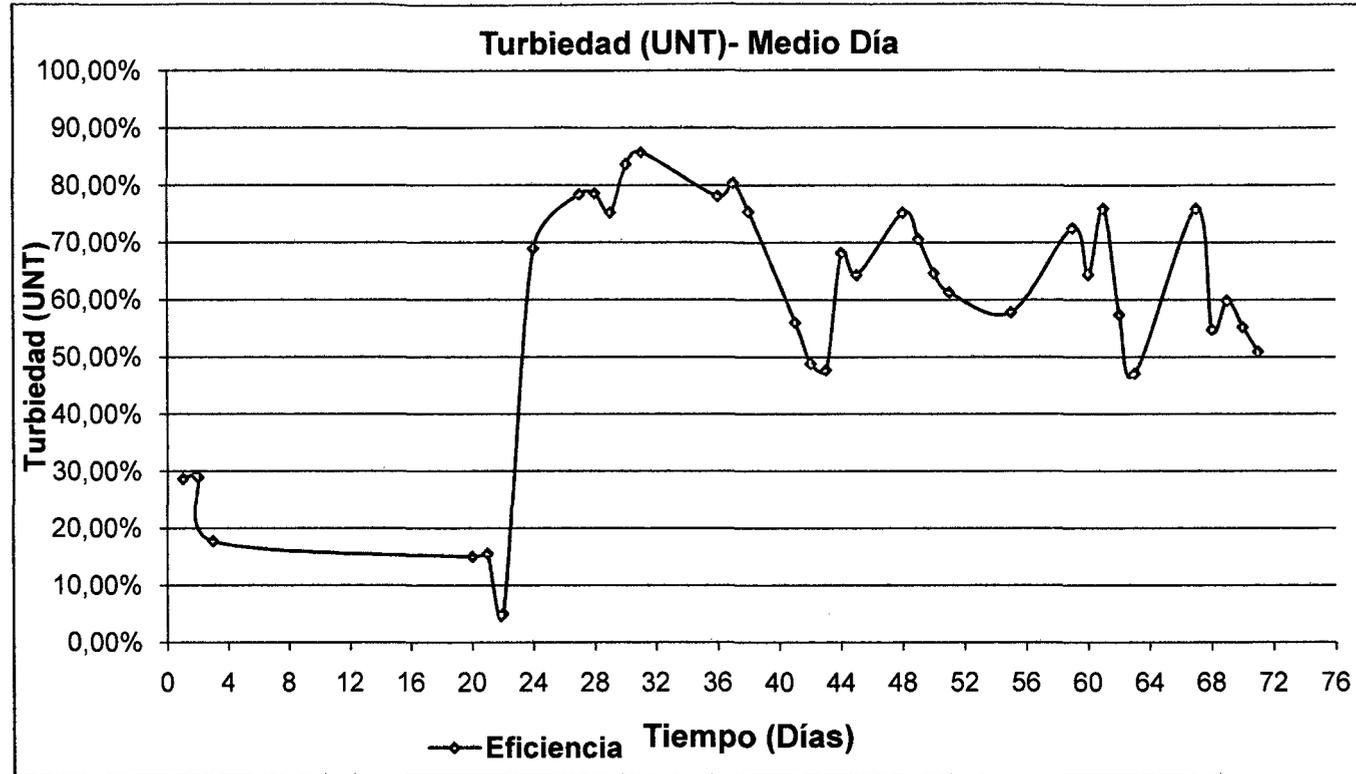


Gráfico N° 7.15: Eficiencia de Turbiedad en el Sistema de Aireación.(Medio Día)

Según la Gráfica N°7.15 mostrada, las eficiencias obtenidas al medio día en cuanto a turbiedad, indican que se mantuvo entre 50 a 80%, inicialmente este valor de eficiencia fue de 5 a 30%, los primeros días de operación del sistema.

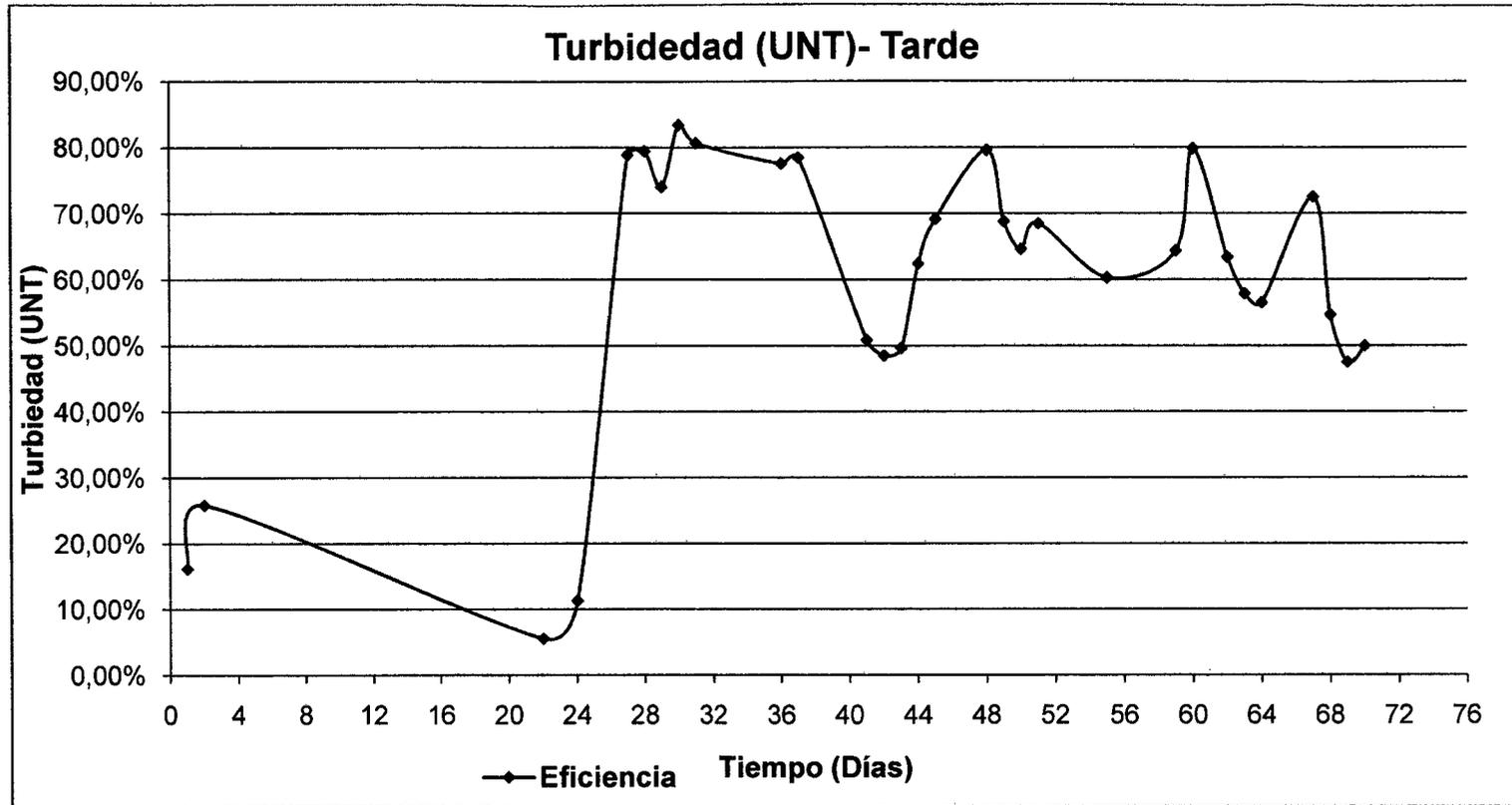


Gráfico N° 7.16: Eficiencia de Turbiedad en el Sistema de Aireación. (Tarde)

Según la Gráfica N°7.16 mostrada, las eficiencias obtenidas durante la tarde en cuanto a turbiedad, indican que se mantuvo entre 50 a 80%, inicialmente este valor de eficiencia fue de 5 a 30%, los primeros días de operación del sistema, la tendencia en cuanto a eficiencia se mantuvo en durante todo el día de operación en el sistema.

7.6 VALORES DIARIOS DE TURBIEDAD

A continuación presentaremos los gráficos de Turbiedad, obtenidos diariamente durante el proceso de tratamiento que se llevo en el Sistema Piloto. Cabe destacar que los monitoreos de Turbiedad se realizaron tres veces al día (Mañana, Medio Día, Tarde), y se realizaron en todos los puntos de monitoreo, mostrados en la Fotografía N° 7.3.

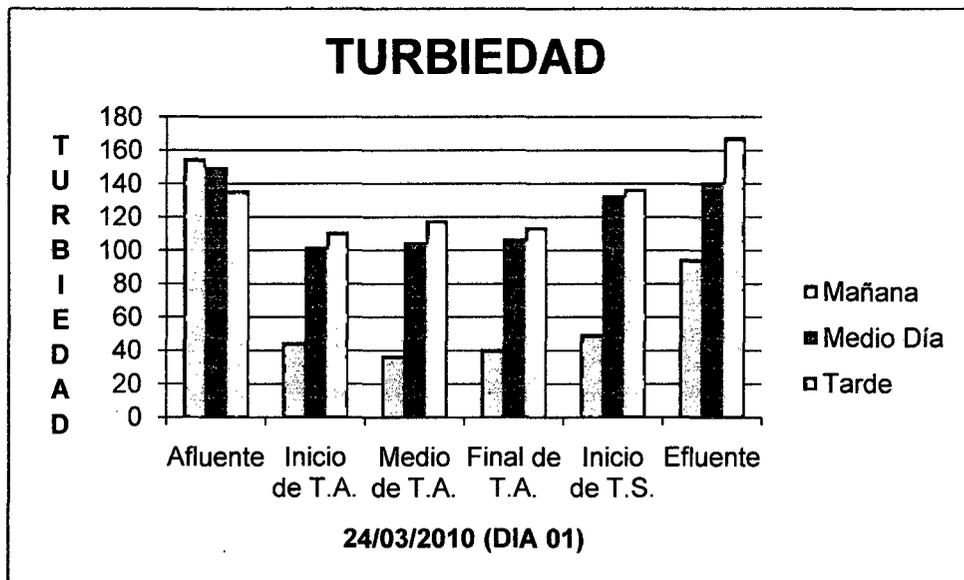


Gráfico N° 7.17: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.17, se puede apreciar que los valores de turbiedad medidos durante la mañana son menores a los obtenidos durante el medio día y en la tarde, estos valores son tomados solo con agua residual.

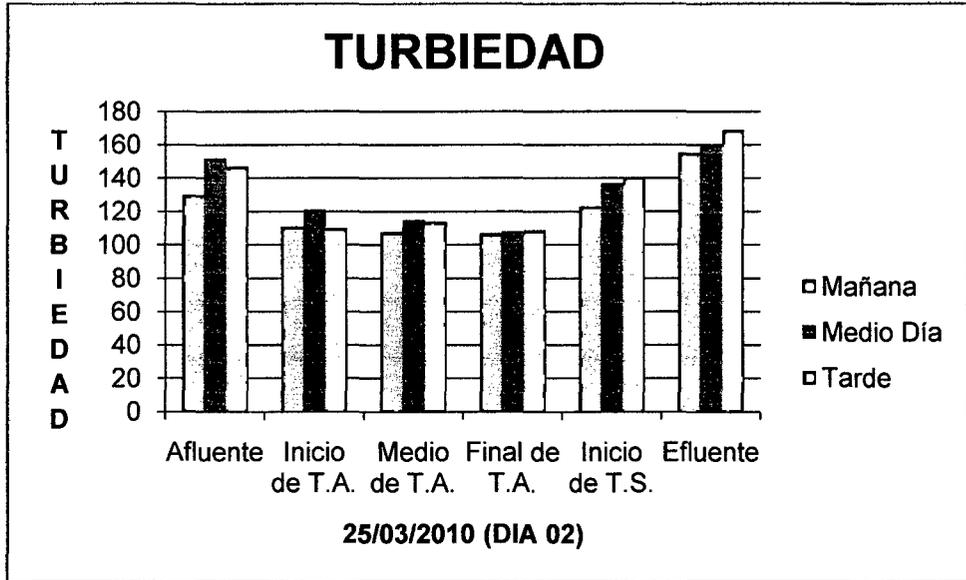


Gráfico N° 7.18: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.18, se muestra valores de turbiedad que baja y sube a la vez , baja al momento de que ingresa al sistema de aireación y sube en el tanque de sedimentación, esto debido a que en este tanque se acumulan mosquitos en el espejo de agua.

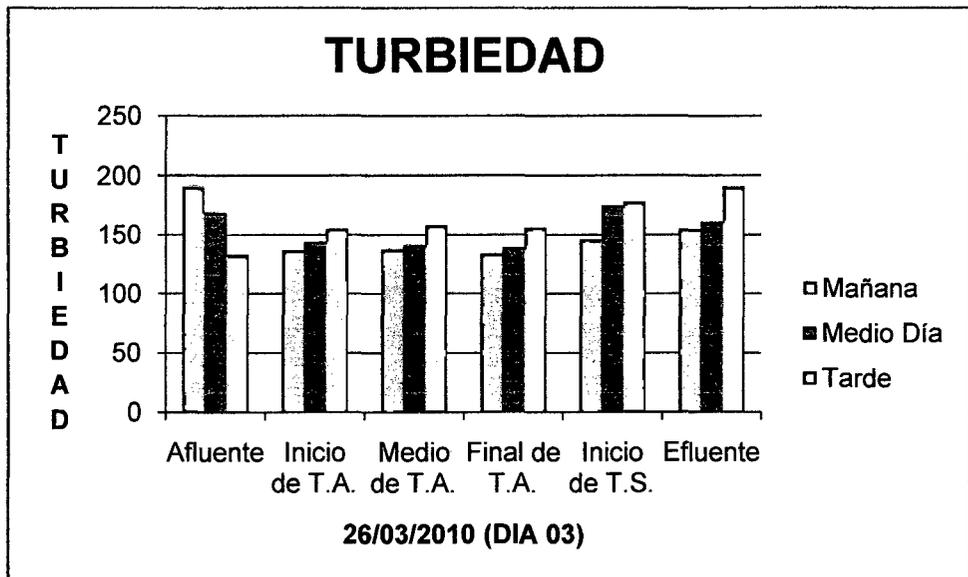


Gráfico N° 7.19: Variación de la Turbiedad

Según la Gráfica N° 7.19, mostrada se puede apreciar que los valores de turbiedad aumentan al medio día y en la tarde.

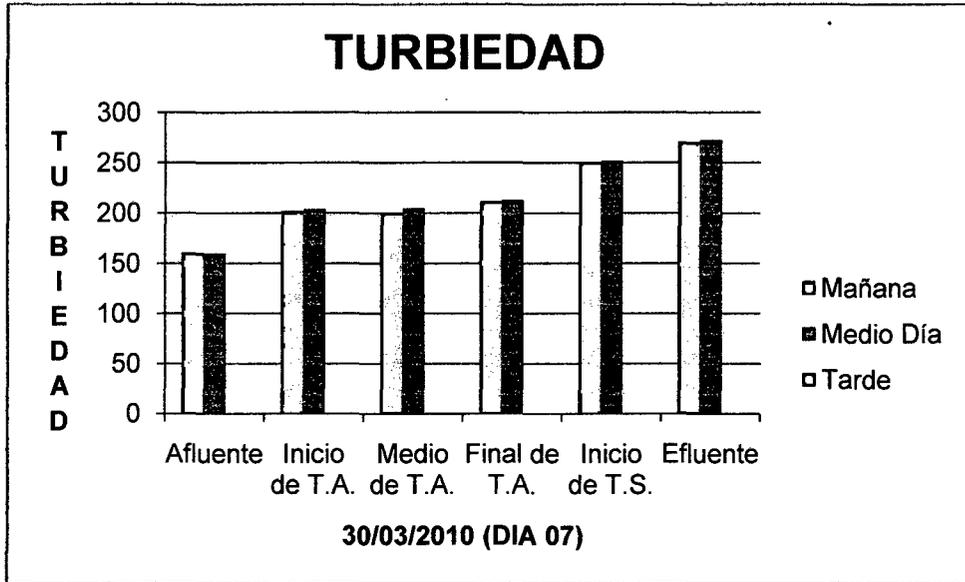


Gráfico N° 7.20: Variación de la Turbiedad

En esta Gráfica N° 7.20 se puede apreciar que el valor de la turbiedad se incrementa con respecto al que ingresa, esto debido principalmente a que en el tanque de sedimentación existe acumulación de partículas debido a la presencia de mosquitos en la parte superficial del agua.

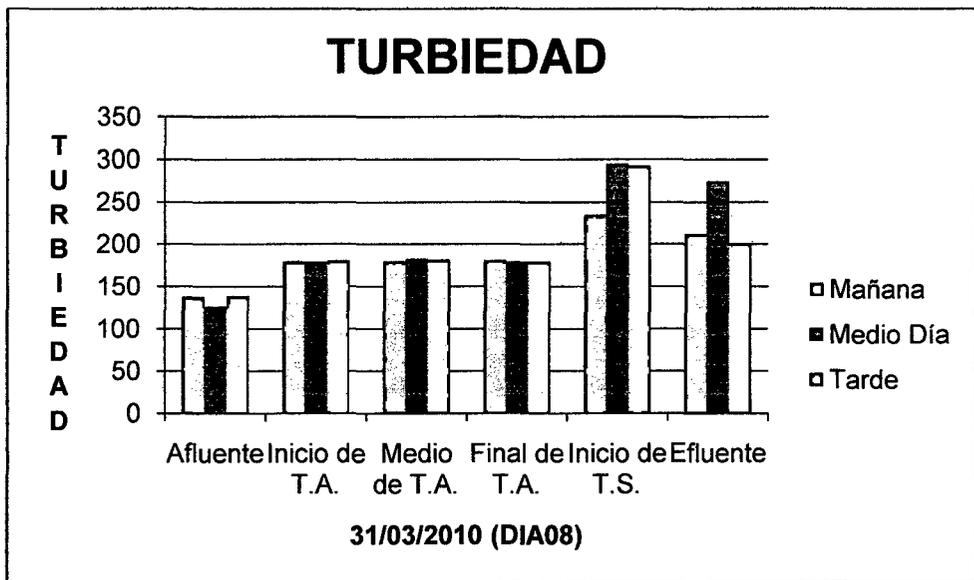


Gráfico N° 7.21: Variación de la Turbiedad

En esta Gráfica N° 7.21 se puede apreciar que el valor de la turbiedad aumenta en el tanque de sedimentación, esto principalmente a que se acumulan larvas de mosquitos dentro del tanque.

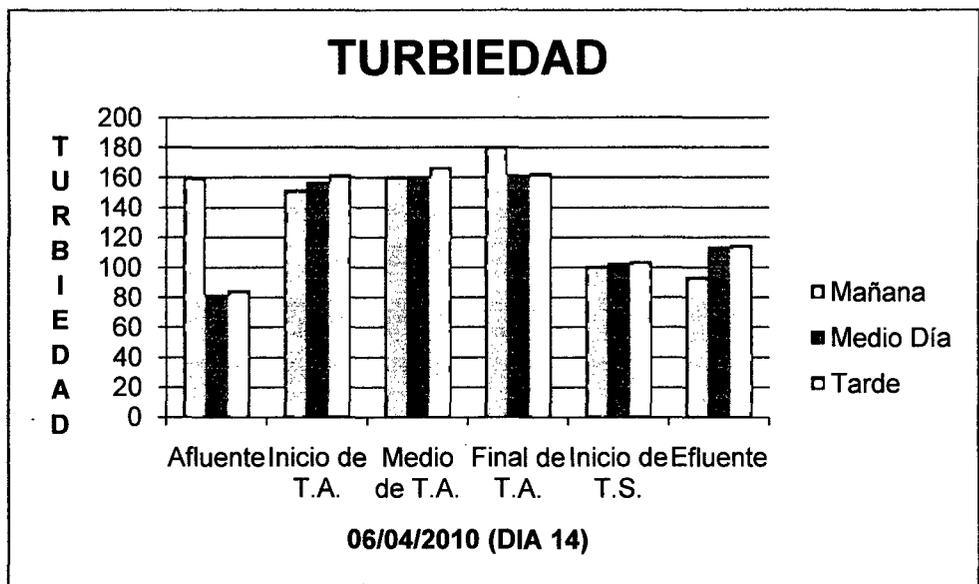


Gráfico N° 7.22: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.22, se muestra valores de turbiedad que son altos en el tanque de aireación, y disminuye en la salida del sistema.

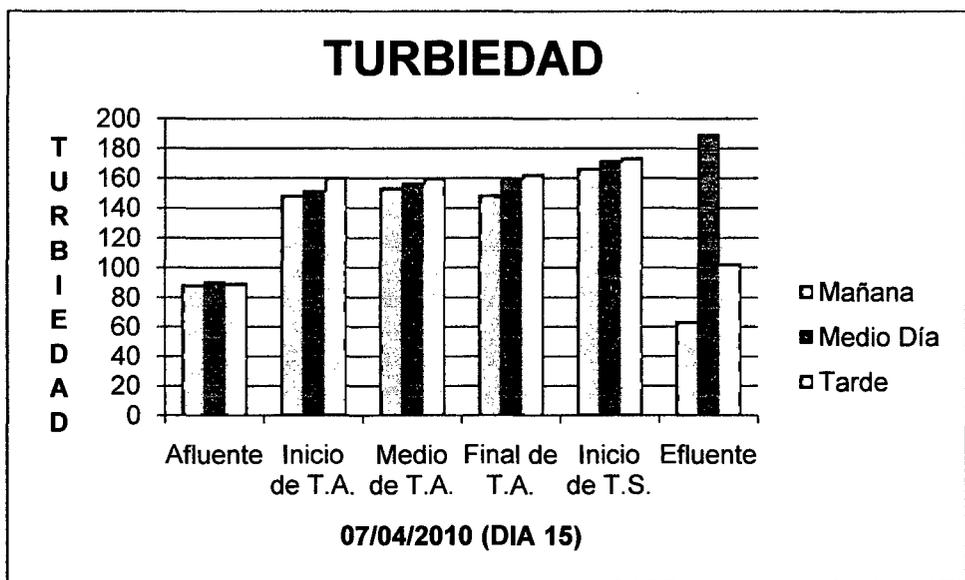


Gráfico N° 7.23: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.23, se puede apreciar que la turbiedad aumenta dentro del tanque de aireación, con respecto a los valores de entrada, y también se muestra que los valores del efluente son bajos.

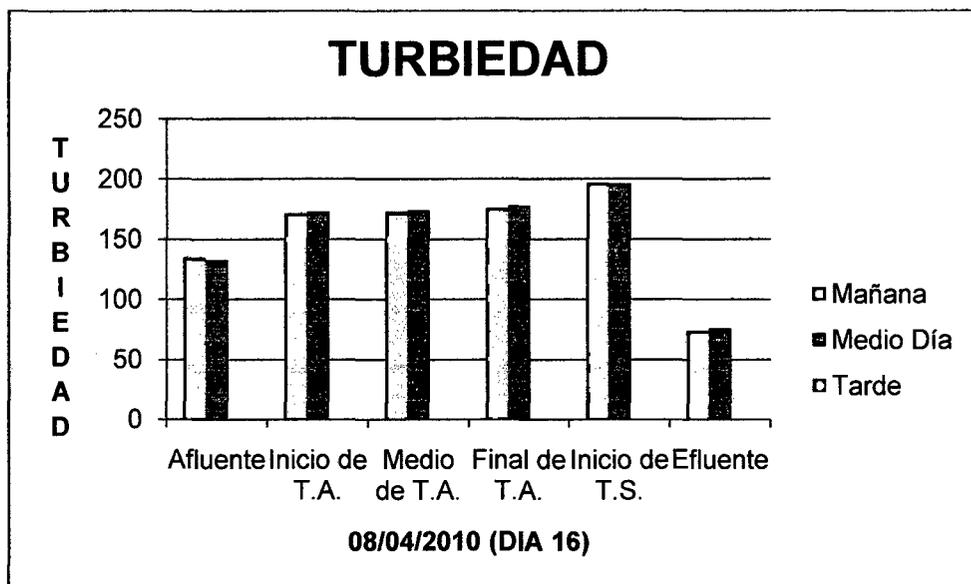


Gráfico N° 7.24: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.24 se muestra que los valores de la turbiedad aumentan en el tanque de aireación y a la salida del tanque de sedimentación este baja.

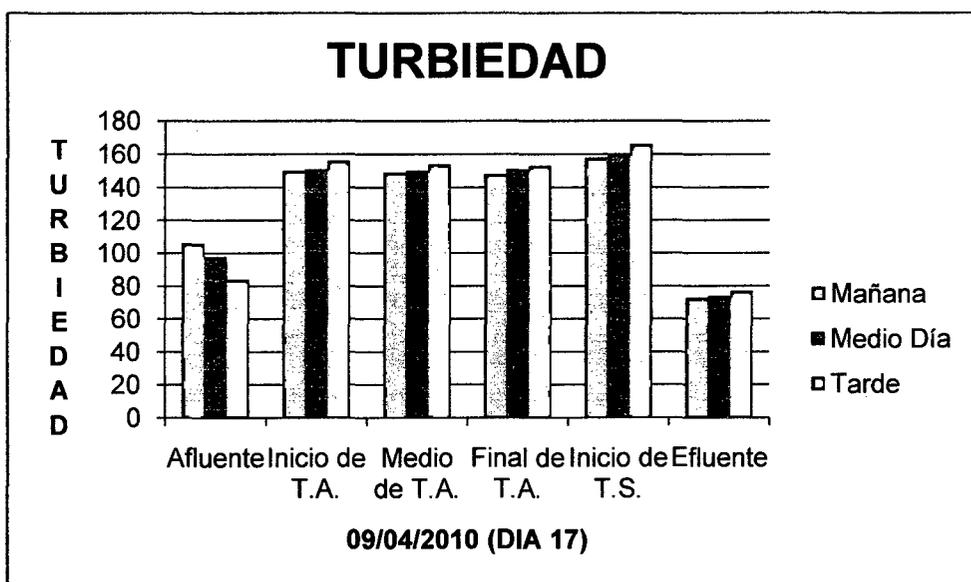


Gráfico N° 7.25: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.25, se aprecia que la turbiedad incrementa en el tanque de aireación y en el tanque de sedimentación, pero el valor final de salida del sistema es menor al valor que ingresa.

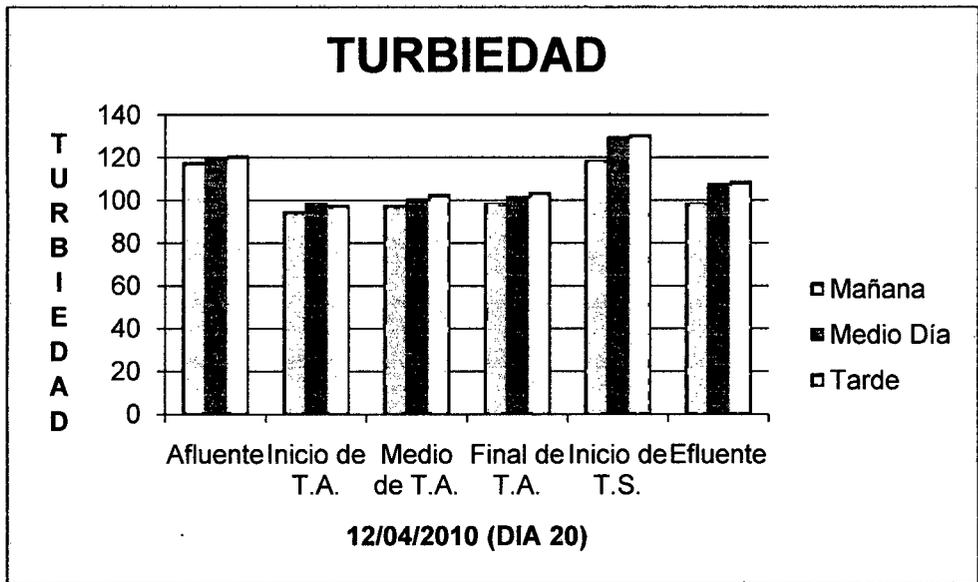


Gráfico N° 7.26: Variación de la Turbiedad

En la Gráfica N° 7.26, se puede apreciar que la turbiedad medido durante el día (mañana ,medio día, tarde), se mantien constante.

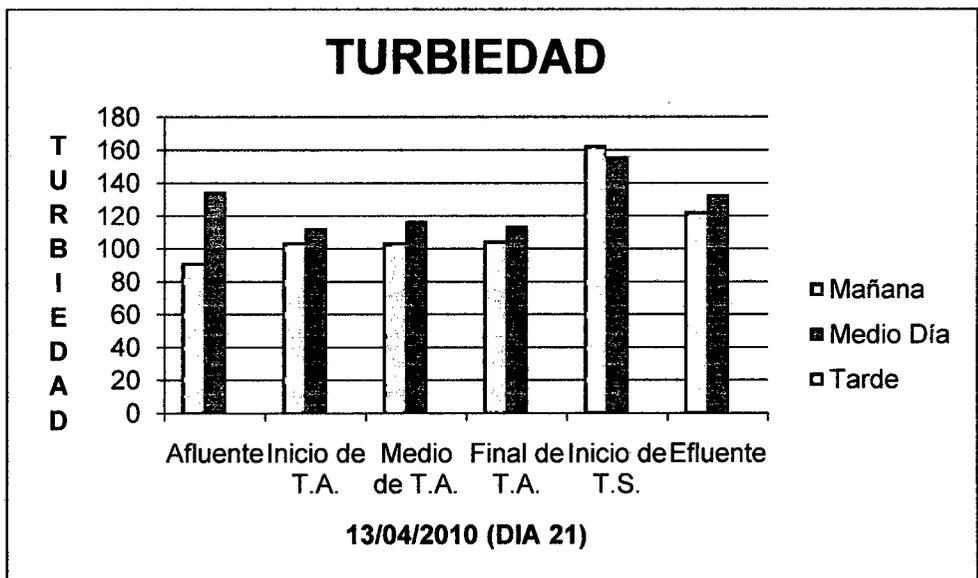


Gráfico N° 7.27: Variación de la Turbiedad

Se puede apreciar en la presente Gráfica N° 7.27, que la turbiedad ha aumentado a la salida del sistema debido a que en la superficie del tanque de sedimentación existen particulas generadas por la presencia de larvas.

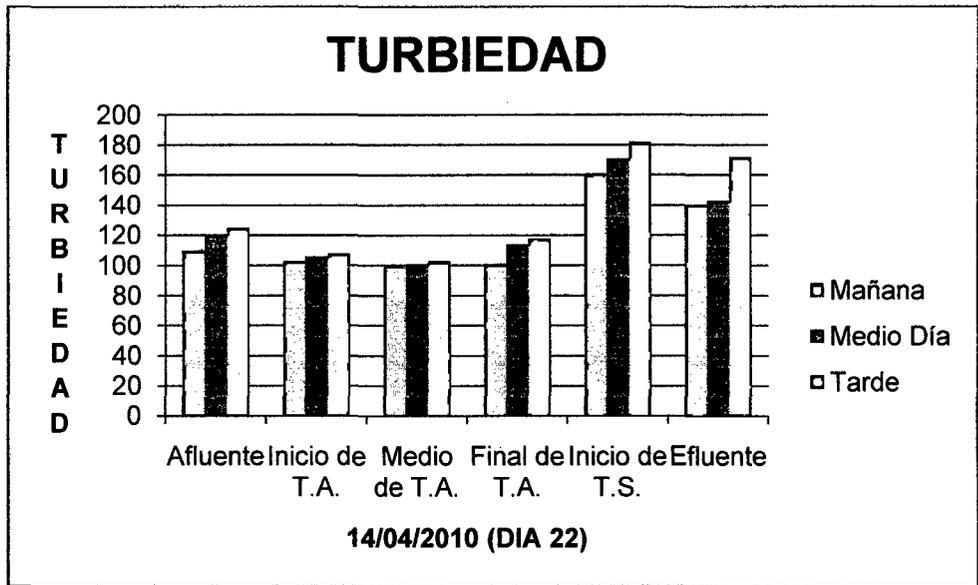


Gráfico N° 7.28: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.28, se muestra que la turbiedad se ha incrementado, esto debido a que en la salida del tanque de sedimentación se formaron partículas debido a la acumulación de larvas.

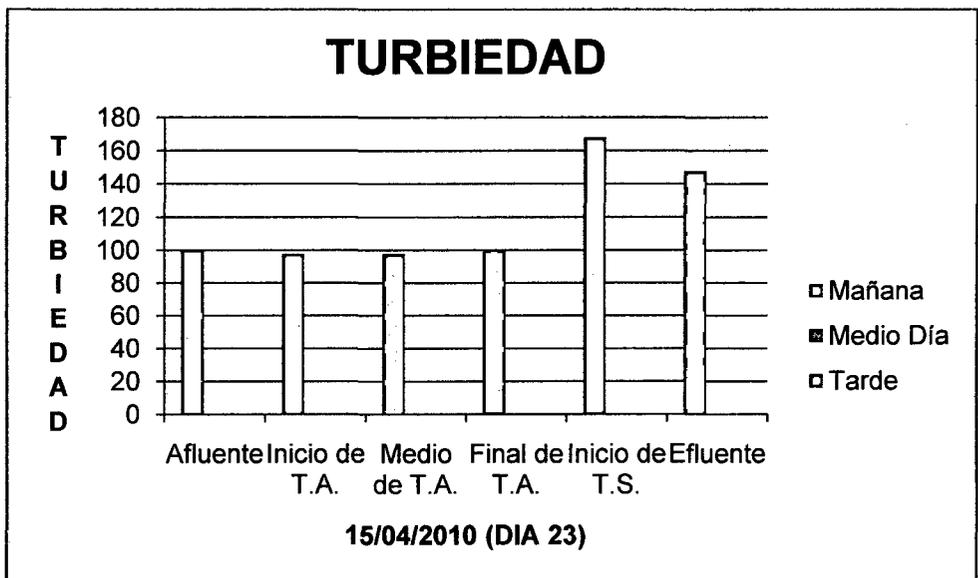


Gráfico N° 7.29: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.29, se tomó solo durante la mañana, se muestra que la turbiedad se ha incrementado, esto debido a que en la salida del tanque de sedimentación se formaron partículas debido a la acumulación de larvas.

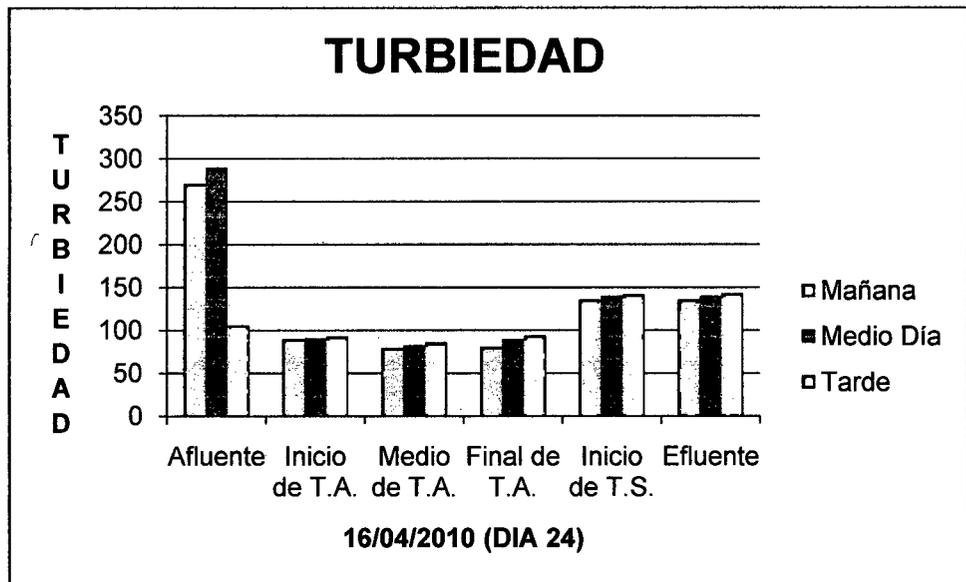


Gráfico N° 7.30: Variación de la Turbiedad

En este gráfico se observa que en el sistema hay una mezcla completa y la turbiedad disminuye considerablemente, pues el líquido se muestra mas claro en el reactor aerobio, se puede apreciar que en el reactor aerobio baja considerablemente.

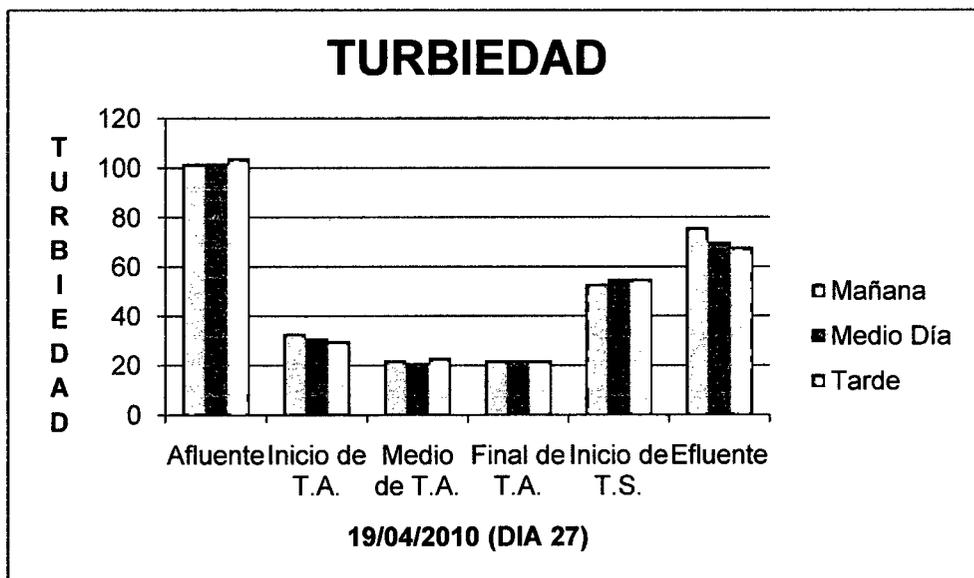


Gráfico N° 7.31: Variación de la Turbiedad

Al igual que el gráfico anterior, se muestra una disminución importante de la turbiedad dentro del reactor aerobio, y un incremento a la salida del tanque de sedimentación.

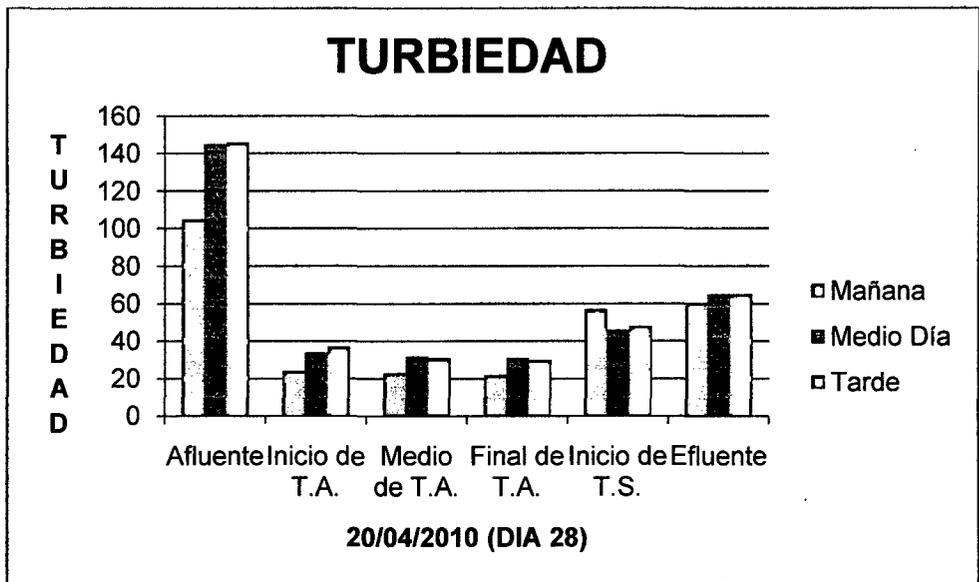


Gráfico N° 7.32: Variación de la Turbiedad

En el gráfico mostrado, se muestra una disminución considerable una vez ingresado el afluente al tanque de aireación.

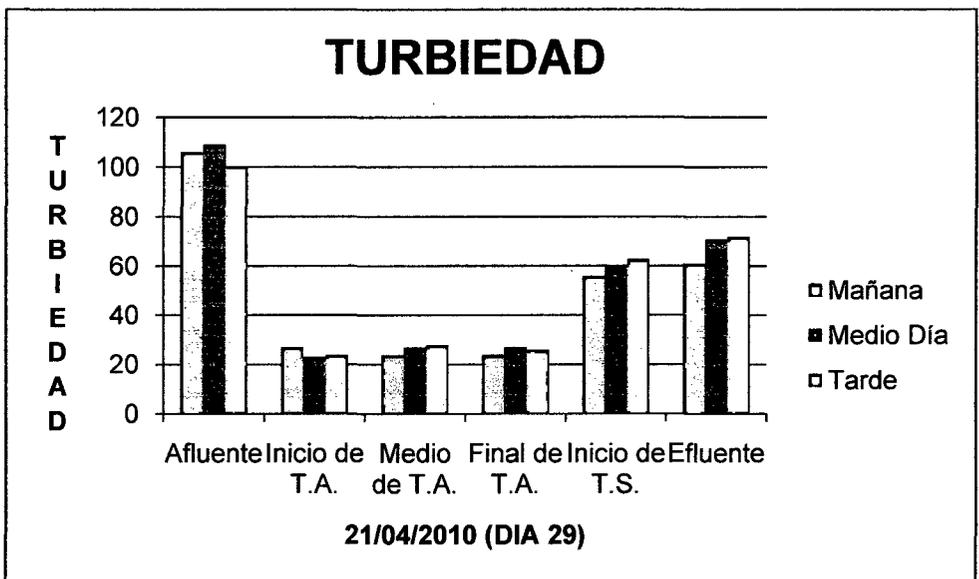


Gráfico N° 7.33: Variación de la Turbiedad

Se puede apreciar en el gráfico, una disminución importante de la turbiedad, debido a que estas partículas son removidas rápidamente dentro del tanque de aireación.

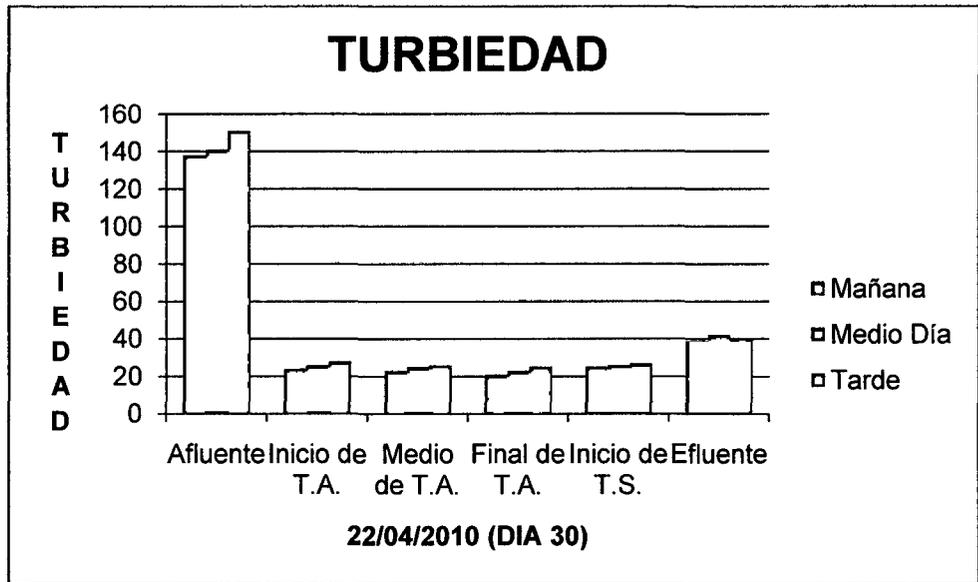


Gráfico N° 7.34: Variación de la Turbiedad

En este gráfico, se puede apreciar que existe una alta disminución de la turbiedad en el tanque de aireación, es decir estas partículas que forman la alta turbiedad al ingresar al tanque, son rápidamente removidas.

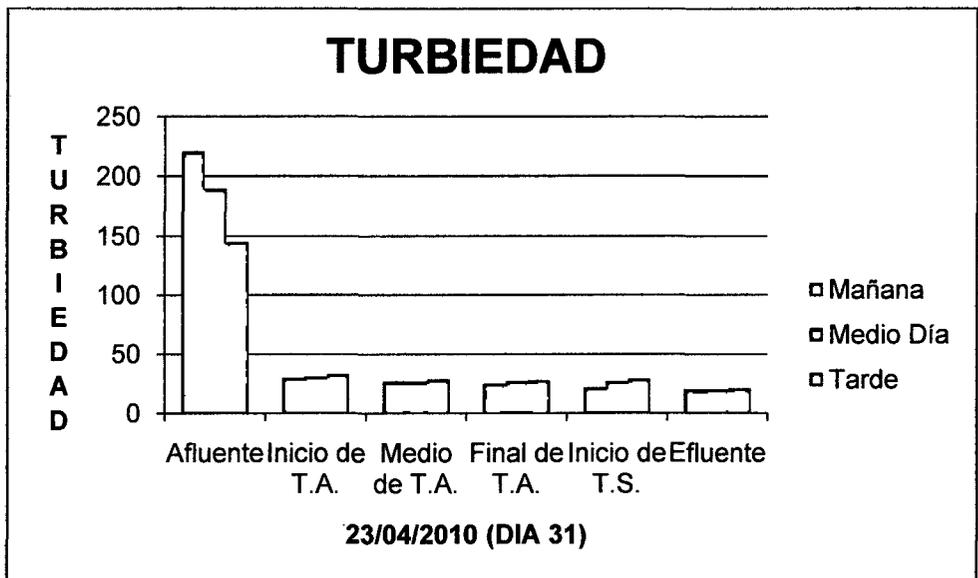


Gráfico N° 7.35: Variación de la Turbiedad

El presente gráfico, muestra altas disminuciones de turbiedad dentro del tanque de aireación, esto nos da como conclusión que la mayoría de partículas son material orgánico que es removido dentro del tanque, por la presencia de los microorganismos aerobios.

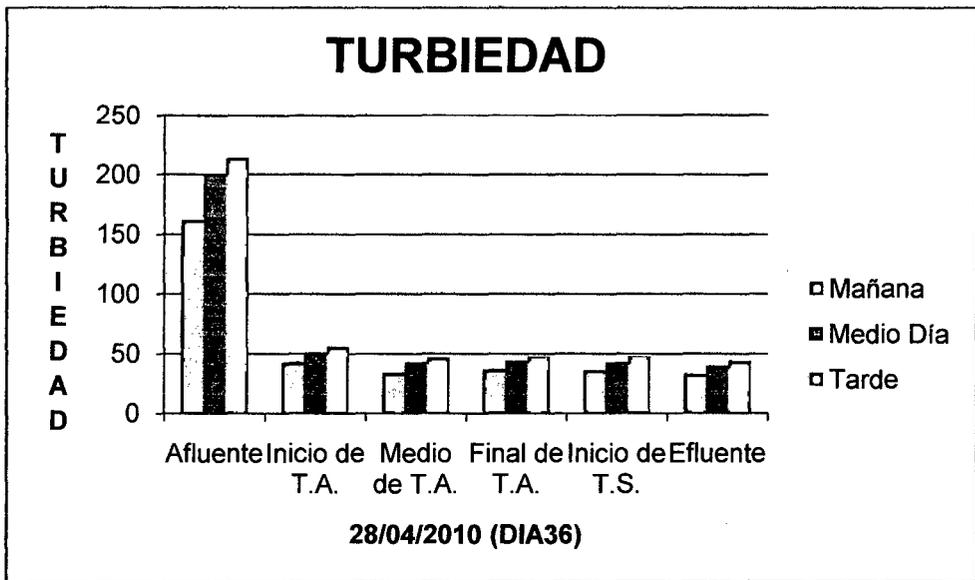


Gráfico N° 7.36: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica, se muestra comportamientos similares a los anteriores gráficos, estos graficos mostrados son con el agua residual doméstica, sin presencia de lixiviado.

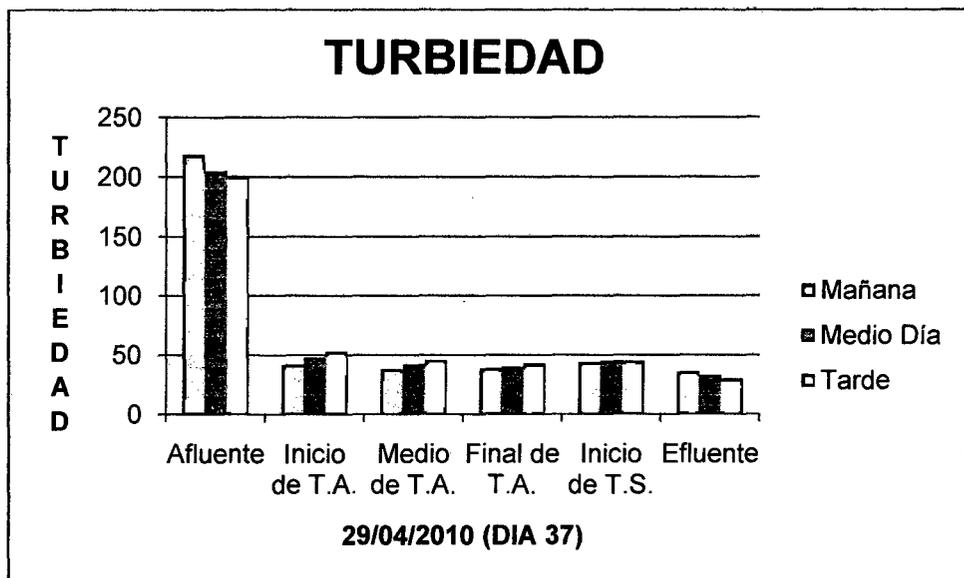


Gráfico N° 7.37: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica, se muestra valores por debajo de los 50UNT, en todo el sistema, existe una gran remoción de la turbiedad.

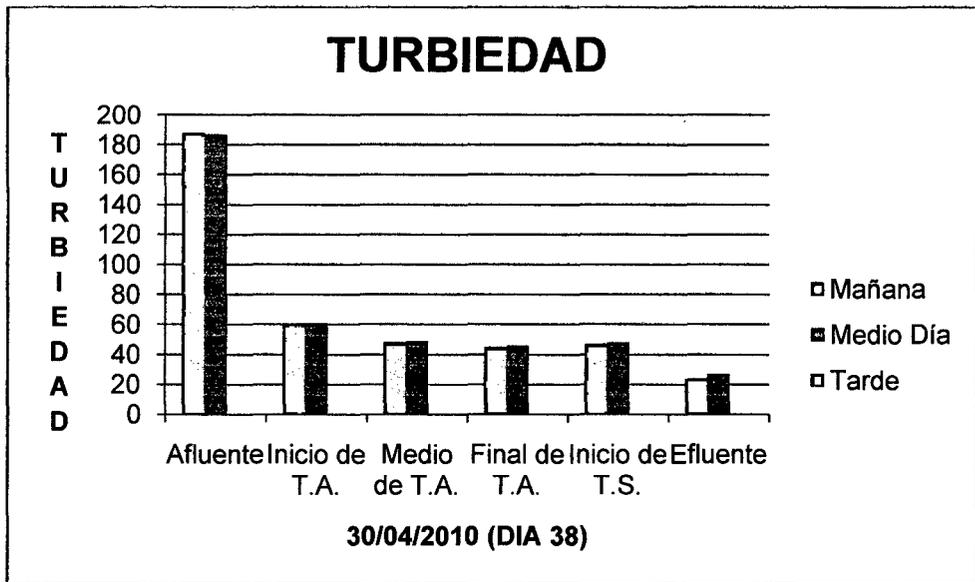


Gráfico N° 7.38: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica se muestra el último día en que el sistema funcionó solo con agua residual doméstica, las siguientes Gráfica N°7.38, que se mostrarán serán con el lixiviado más el desague doméstico.

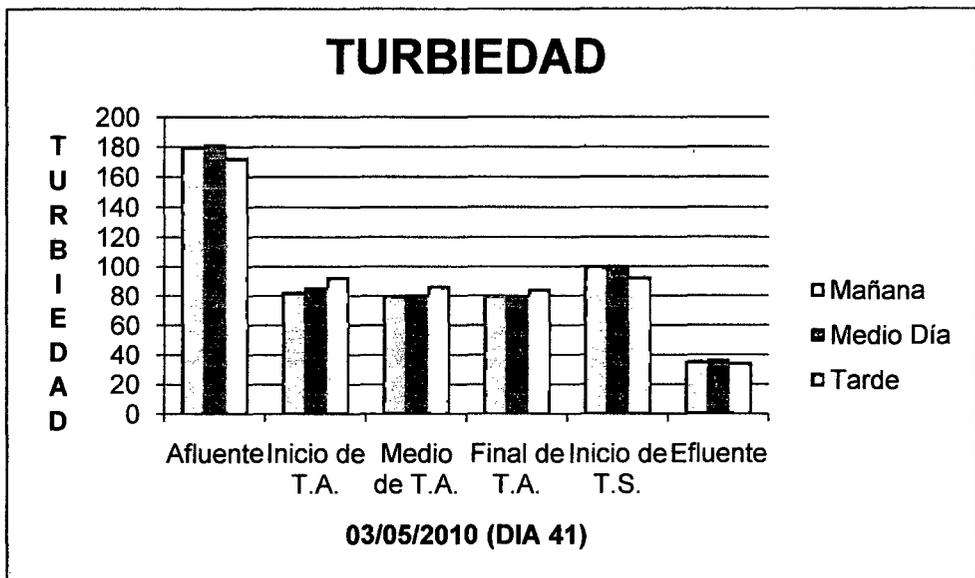


Gráfico N° 7.39: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica se puede mostrar que la turbiedad aumentó dentro del tanque de aireación esto debido a que se agregó el lixiviado diluido con el agua residual doméstica, se puede apreciar que afecta la remoción de este parámetro.

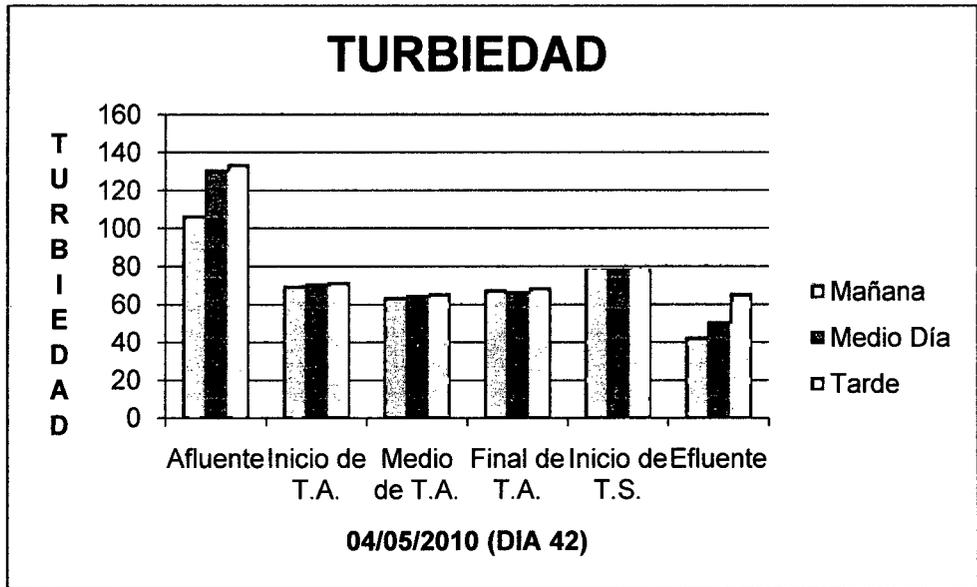


Gráfico N° 7.40: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica, se puede apreciar que la turbiedad aumento dentro del sistema de tratamiento, y teniendo en cuenta que el valor de entrada es menor a los anteriores, por lo cual concluimos que afecto significativamene la presencia del lixiviado.

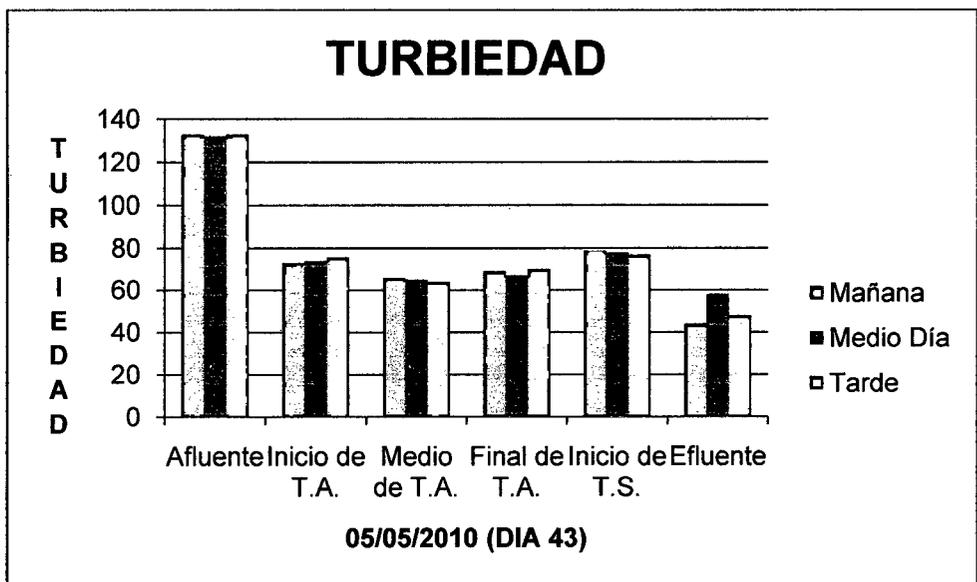


Gráfico N° 7.41: Variación de la Turbiedad

En el presente gráfico, se puede apreciar que el valor de entrada de la turbiedad es menor a los anteriores gráficos mistrados(sin lixiviado), lo cual nos da a concluir que se influye de manera significativa.

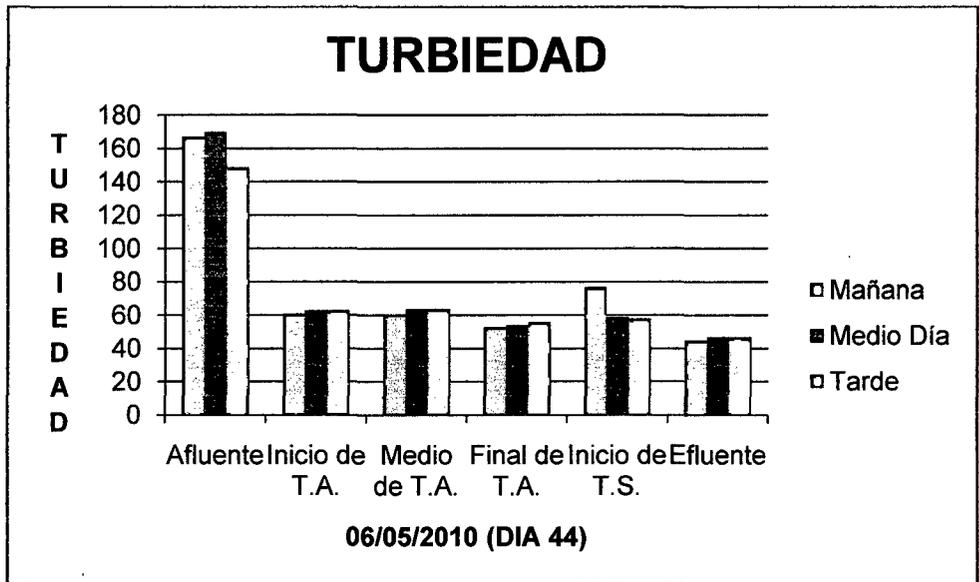


Gráfico N° 7.42: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.42, se aprecia una disminución del valor de la turbiedad dentro del sistema de tratamiento.

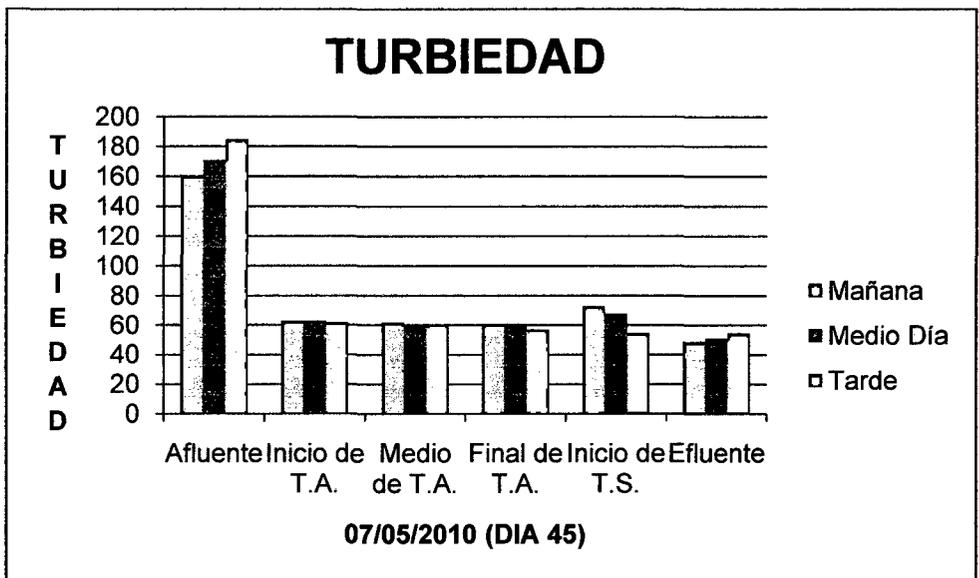


Gráfico N° 7.43: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.43, se muestra una remoción importante de la turbiedad, se puede apreciar que existe una gran remoción de este parámetro dentro del sistema.

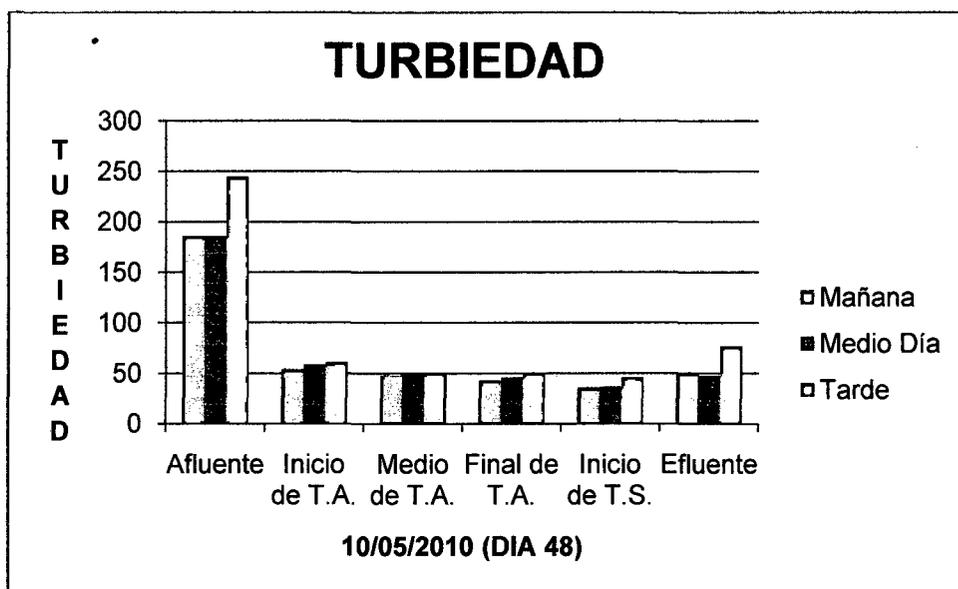


Gráfico N° 7.44: Variación de la Turbiedad

En la presente gráfico, se aprecia que aumentado la remoción de la turbiedad, pero el sistema se ha estabilizado mas, pues los valores de salida son menores a los anteriores.

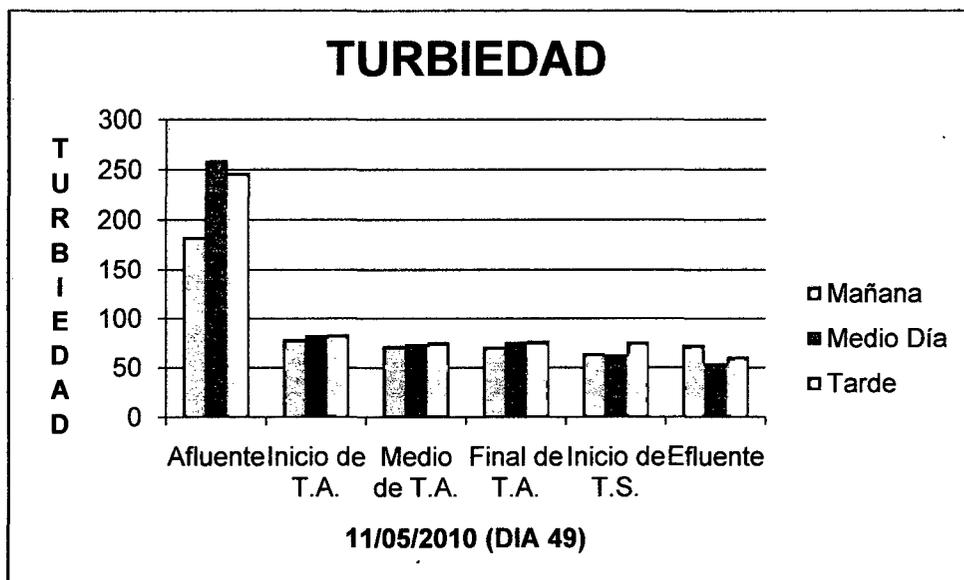


Gráfico N° 7.45: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.45, se aprecia que existe una alta disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación y el de sedimentación, esto principalmente al trabajo que realizan los microorganismos dentro del tanque de aireación.

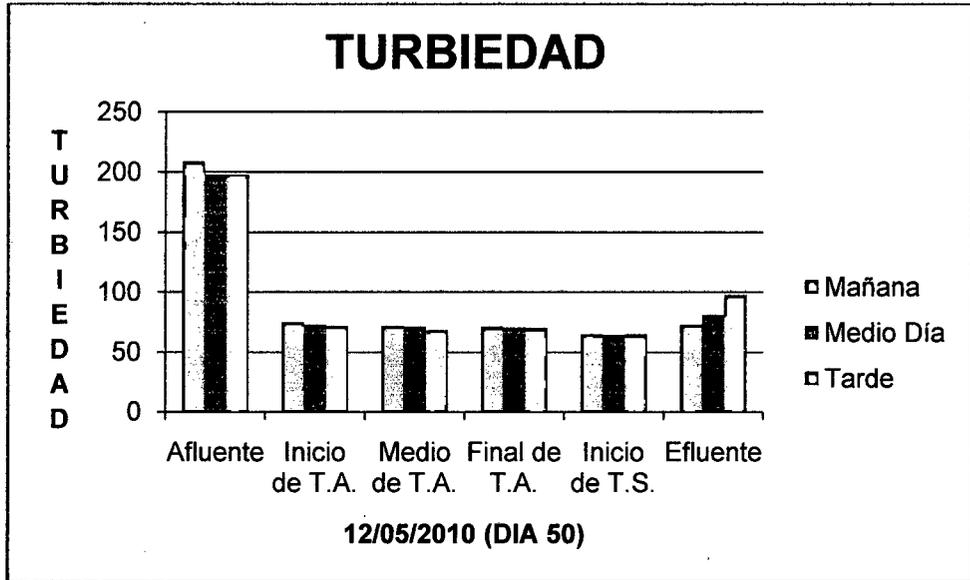


Gráfico N° 7.46: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.46 se muestra que los valores de la turbiedad han disminuido con respecto a los valores de entrada, durante todo el día, esto quiere decir que el sistema opera de manera eficiente y continua.

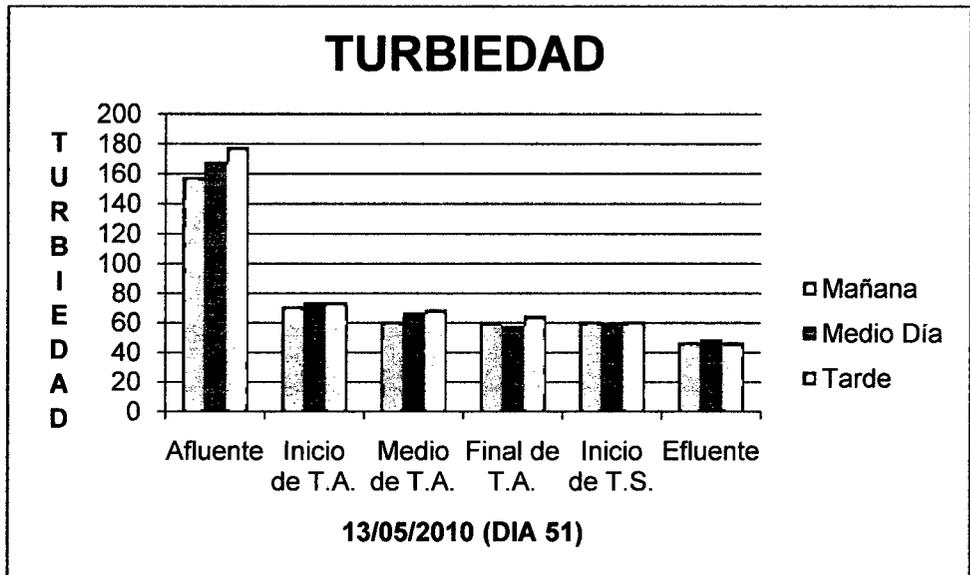


Gráfico N° 7.47: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica, se muestra que los valores de turbiedad disminuyen de manera gradual desde la entrada hasta la salida, por ello el sistema opera de manera eficiente y continua.

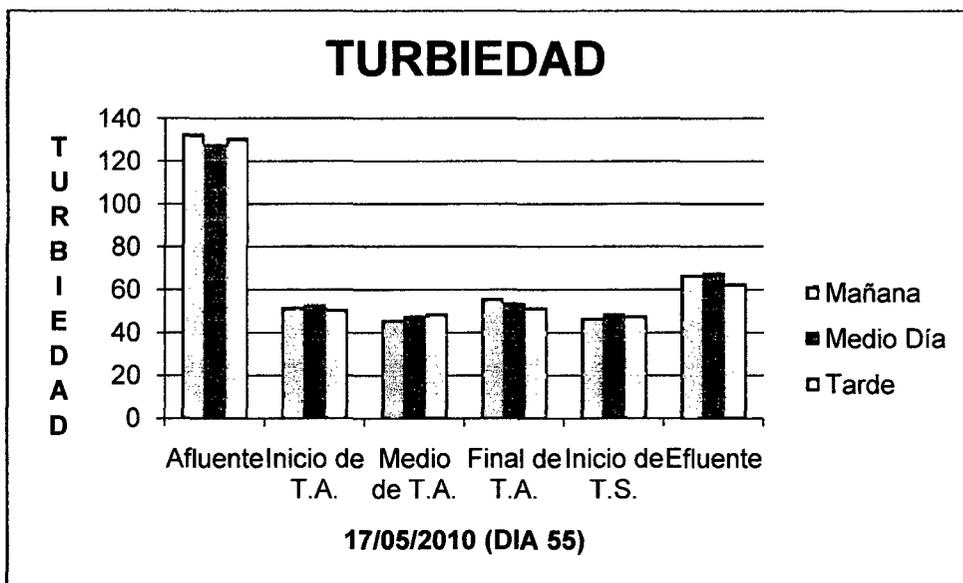


Gráfico N° 7.48: Variación de la Turbiedad

Según la Gráfica mostrada se puede apreciar que hay una considerable remoción de la turbiedad en el tanque de aireación.

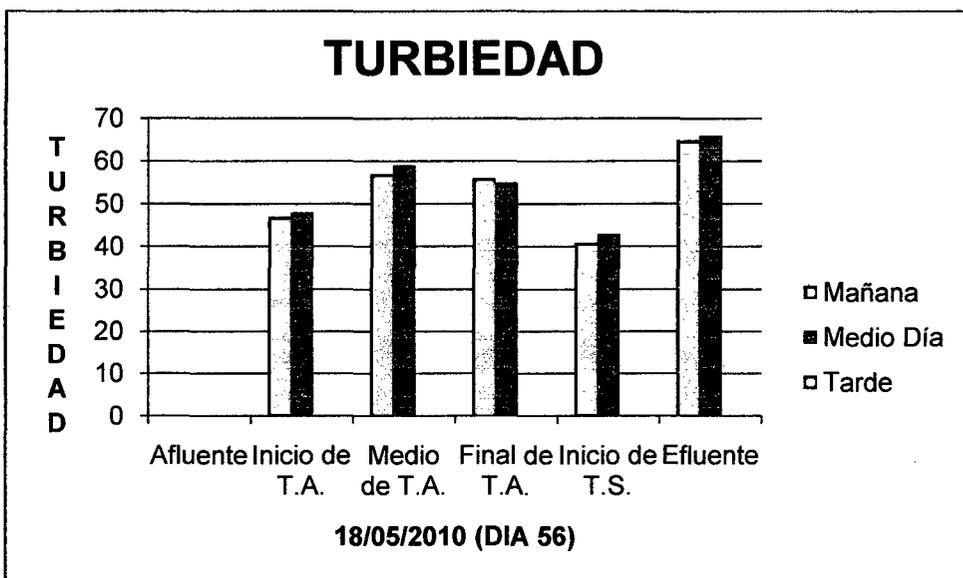


Gráfico N° 7.49: Variación de la Turbiedad

La presente Gráfica mostrada se puede apreciar que la turbiedad se mantiene dentro de los valores que se apreciaron en las Gráficas anteriores.

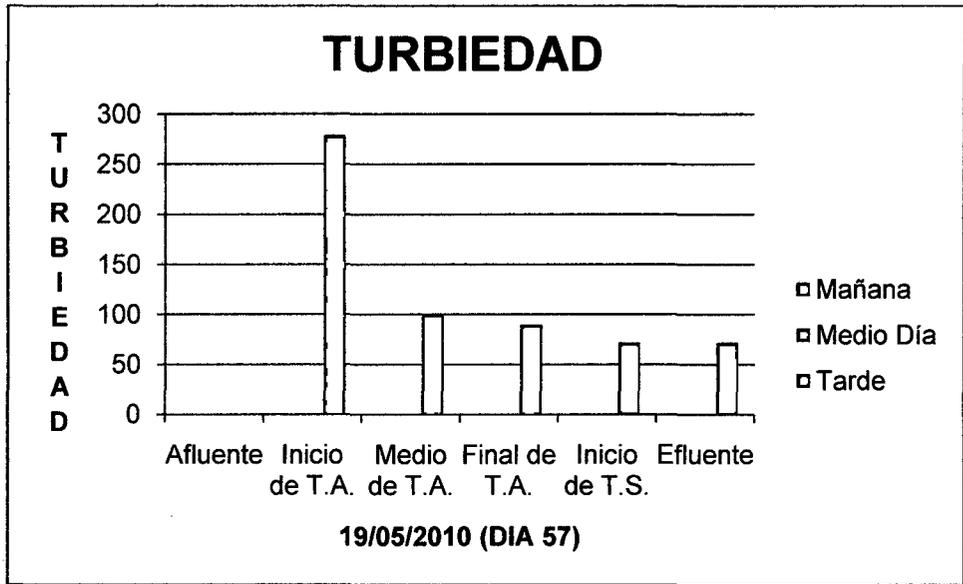


Gráfico N° 7.50: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica se aprecia una considerable disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación.

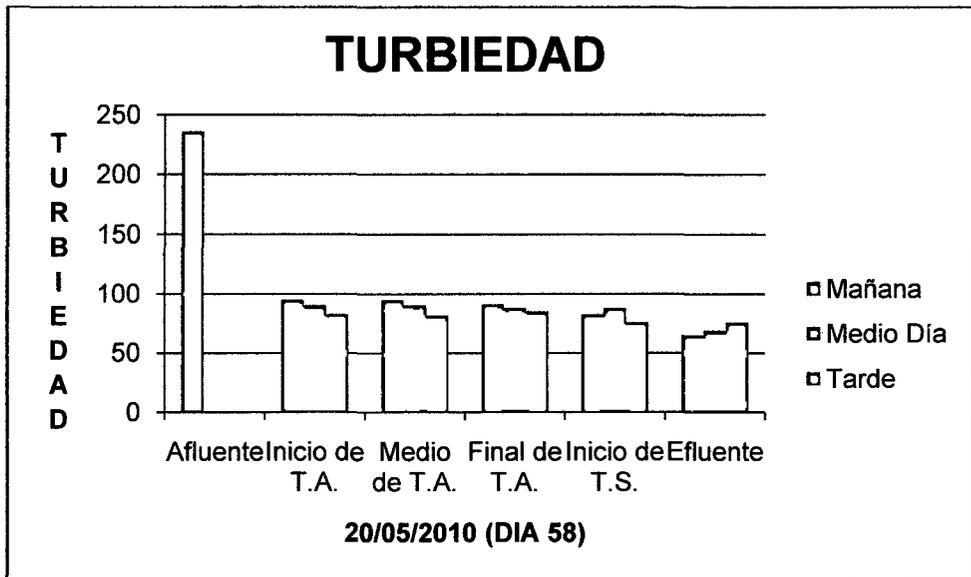


Gráfico N° 7.51: Variación de la Turbiedad

La presente Gráfica mostrada, nos indica que el sistema esta operando de manera eficiente, pues existe remoción de la turbiedad, dentro del sistema.

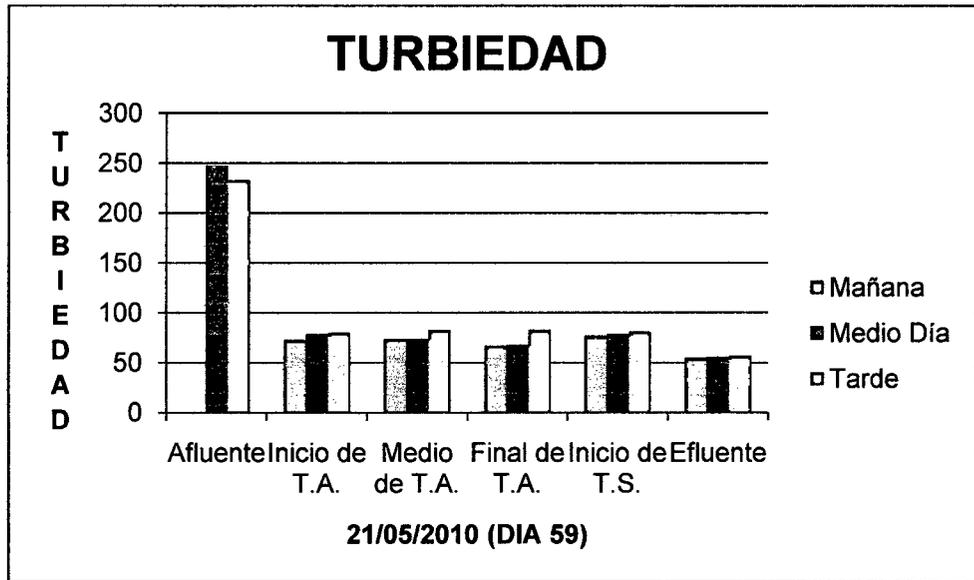


Gráfico N° 7.52: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica se aprecia que en el sistema existe una remoción eficiente de la turbiedad.

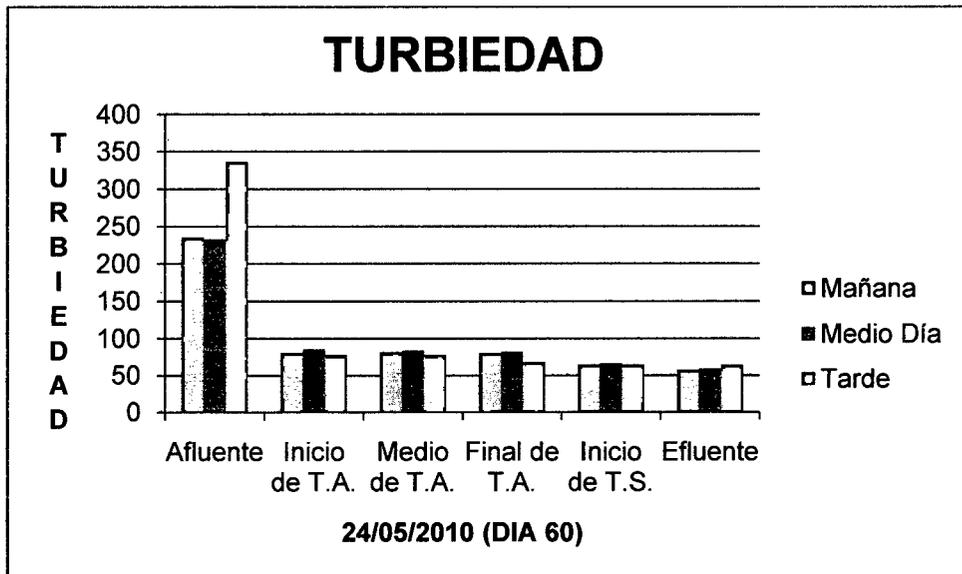


Gráfico N° 7.53: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.53, se puede apreciar que la turbiedad disminuye con respecto a los valores de entrada, lo cual nos indica que en el tanque de aireación disminuye este parámetro considerablemente.

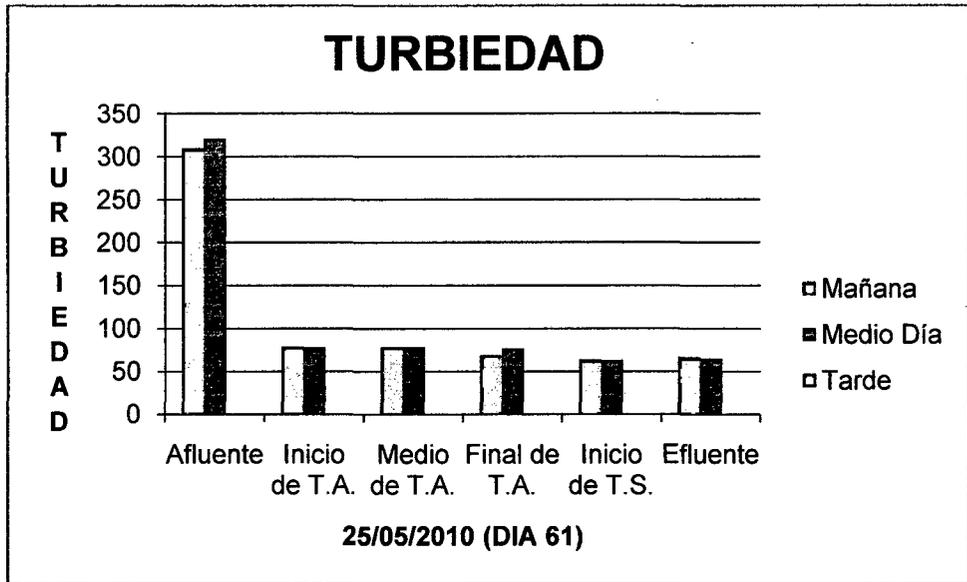


Gráfico N° 7.54: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.54, se aprecia que la disminución de la turbiedad dentro del sistema es similar durante todo el día de operación.

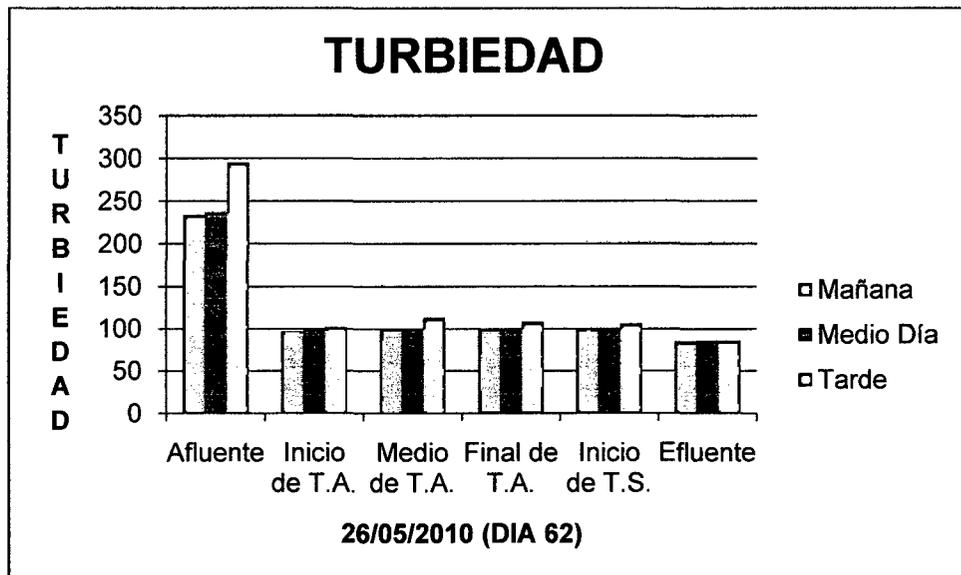


Gráfico N° 7.55: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.55, se aprecia que el sistema sigue operando eficientemente en cuanto a la remoción de turbiedad, que se da principalmente dentro del tanque de aireación.

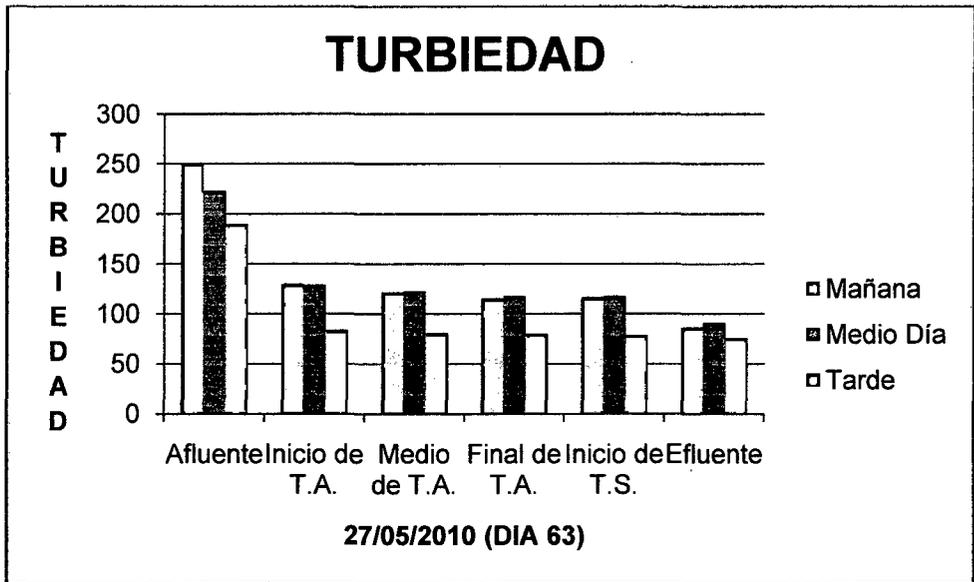


Gráfico N° 7.56: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 56, se puede apreciar una disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación, lo cual nos indica que el sistema opera eficientemente.

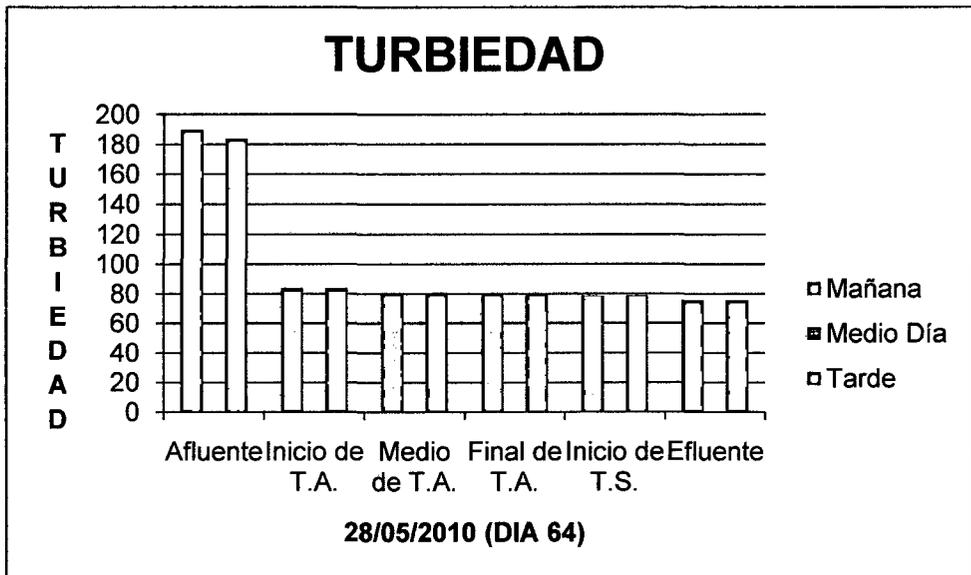


Gráfico N° 7.57: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 57, se puede apreciar una disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación, y se puede ver que la turbiedad se mantiene constante desde el tanque de aireación hasta la salida.

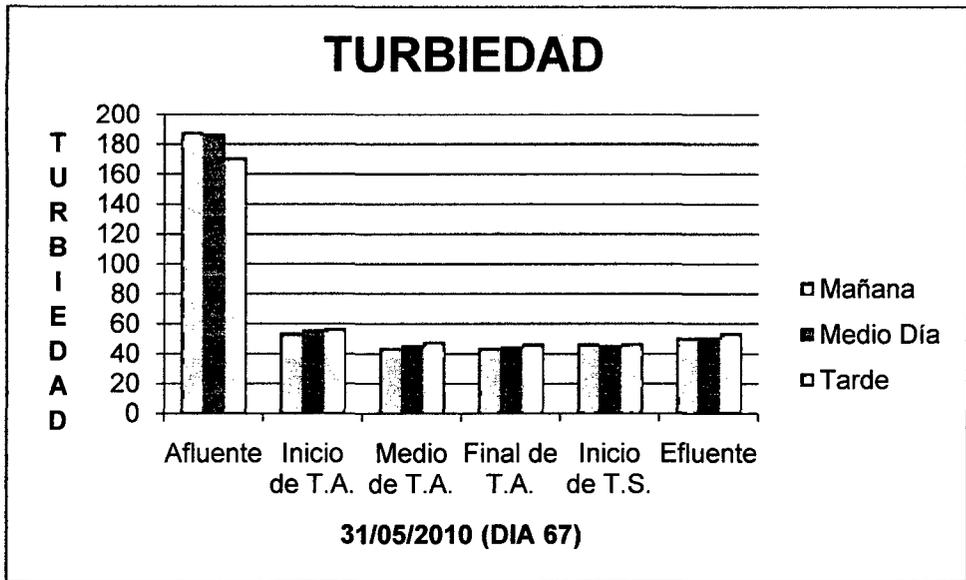


Gráfico N° 7.58: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica se puede apreciar que el sistema funciona eficientemente y durante todo el día en cuanto a la remoción de turbiedad.

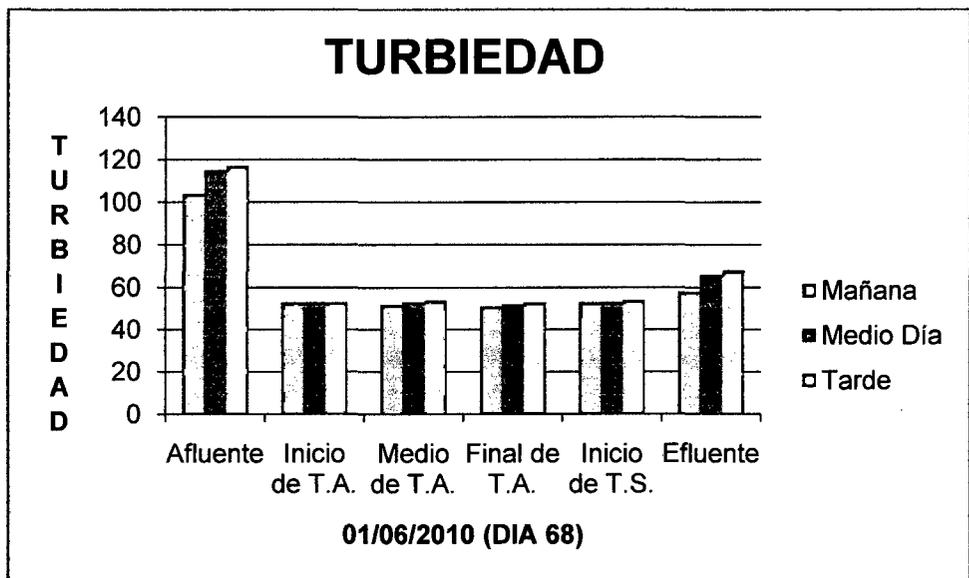


Gráfico N° 7.59: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica se puede apreciar una disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación, lo cual nos indica que el sistema opera eficientemente.

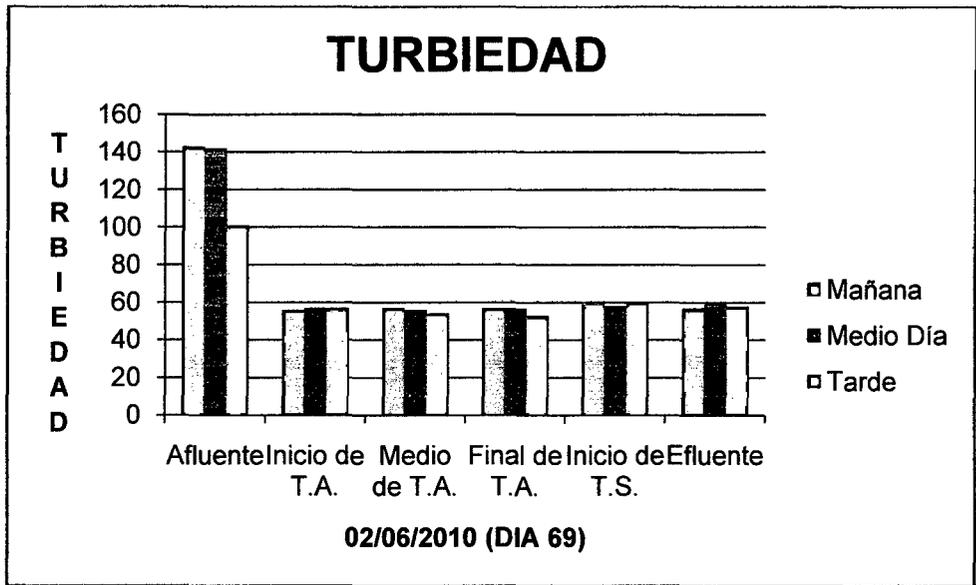


Gráfico N° 7.60: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.60, se puede apreciar una disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación, lo cual nos indica que el sistema opera eficientemente.

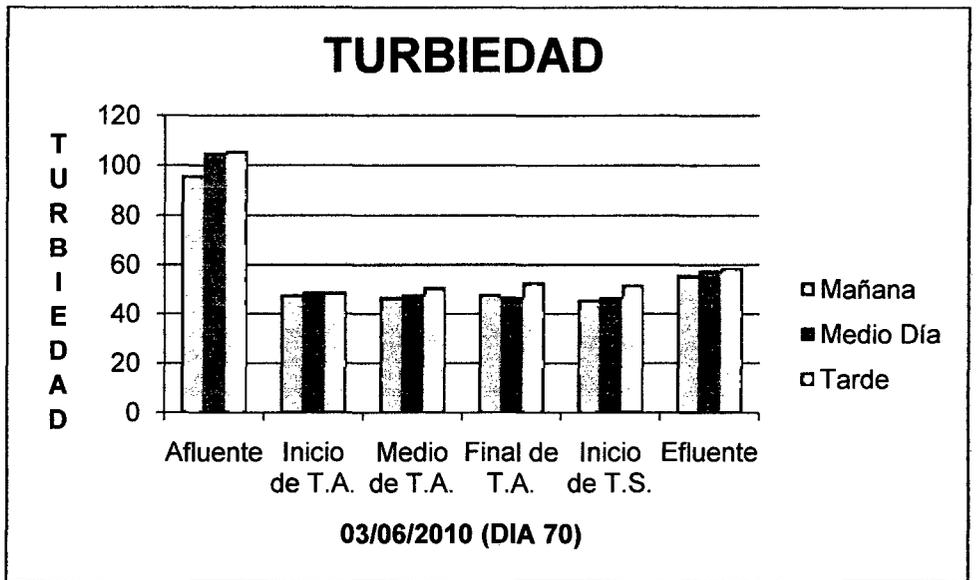


Gráfico N° 7.61: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.61, se puede apreciar una disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación, lo cual nos indica que el sistema opera eficientemente.

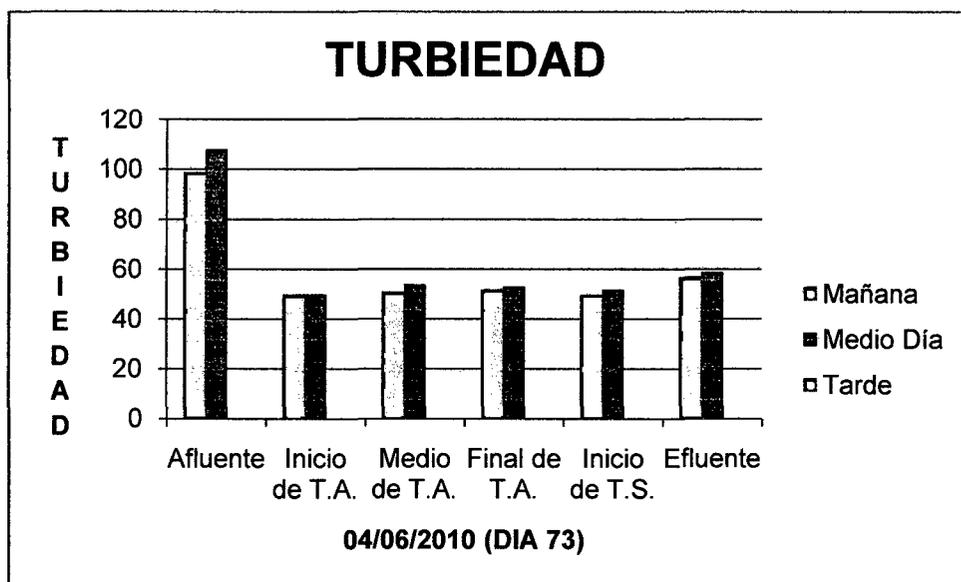


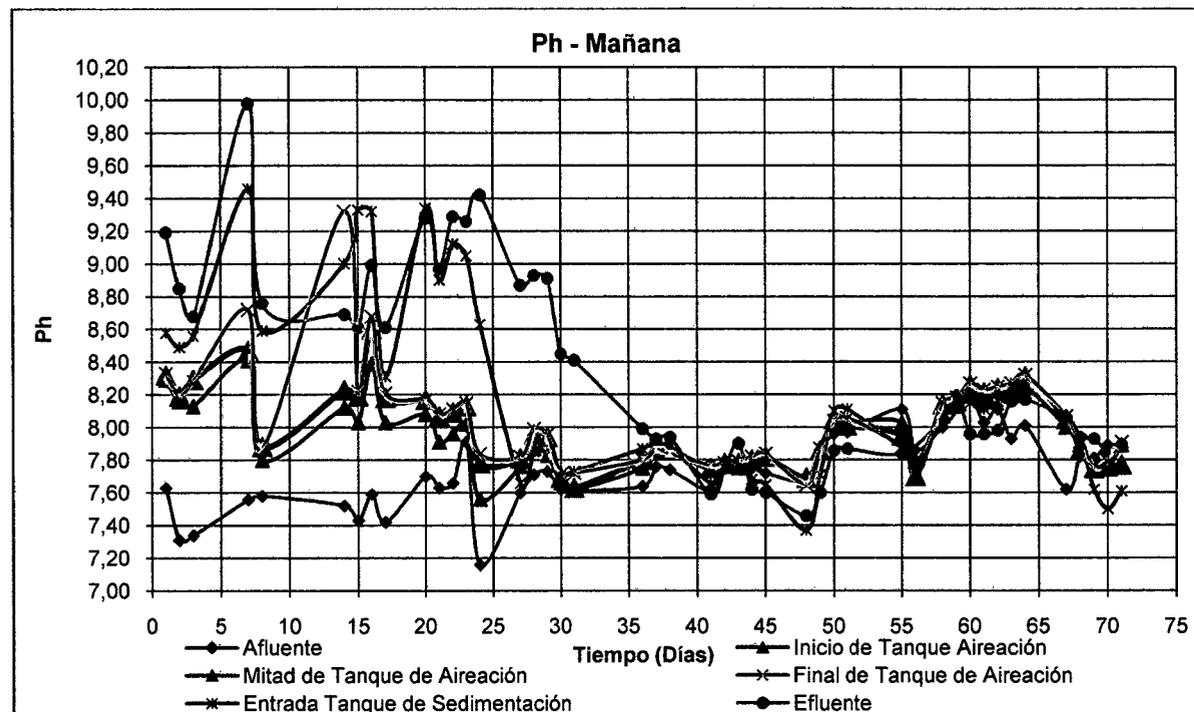
Gráfico N° 7.62: Variación de la Turbiedad

En la presente Gráfica N° 7.62, se puede apreciar una disminución de la turbiedad dentro del tanque de aireación, lo cual nos indica que el sistema opera eficientemente.

Se puede apreciar también que según todas las Gráfica mostradas, el sistema de ha mantenido operando de manera eficiente durante todo el día, pues para demostrar ello se realizaron monitoreos tres veces al día durante todo el tiempo que demoro la investigación.

7.7 RESULTADOS DE MEDICIONES DE PH

Durante la presente investigación se realizó la medición del ph, en todos los puntos de monitoreo según la Fotografía N° 7.3, para poder verificar las condiciones del grado de alcalinidad y acidez con el que se encuentra operando el sistema, y las variaciones que sufre con la adición de lixiviado.



En la presente Gráfica N° 7.63, se pueden observar los valores de PH, en los seis puntos monitoreados durante las mañanas, en lo cual apreciamos, que durante los primeros 30 días se monitoreo con desagüe doméstico, y los siguientes días ya con adición del lixiviado, donde se puede apreciar que el pH se encuentra entre rangos de 7.2 a 10.0 aprox., durante el tiempo de adición del lixiviado los valores bajaron. Según estos valores de PH, nos indican que están en un rango aceptable y en el cual los microorganismos encargados de la remoción de la materia orgánica, presentes en el tanque de aireación, pueden desarrollarse de manera óptima, y por lo tanto obtener buenos resultados.

Gráfico N° 7.63: Valores de PH, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Mañana)

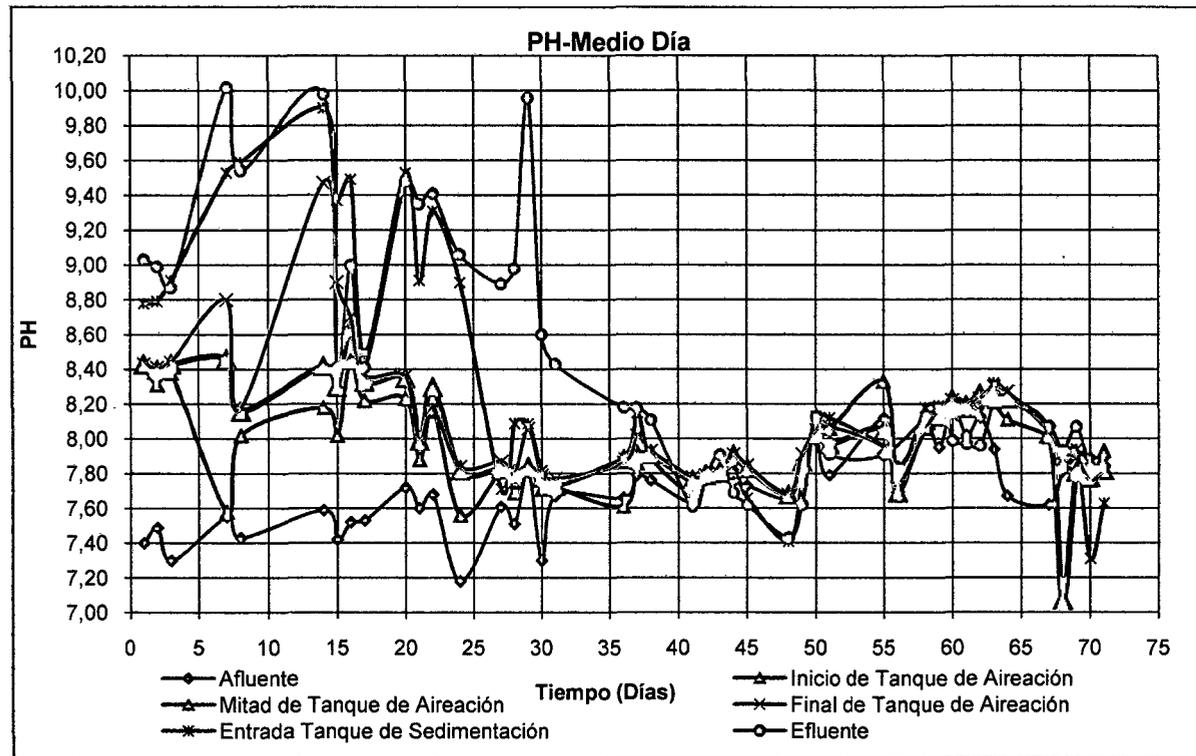
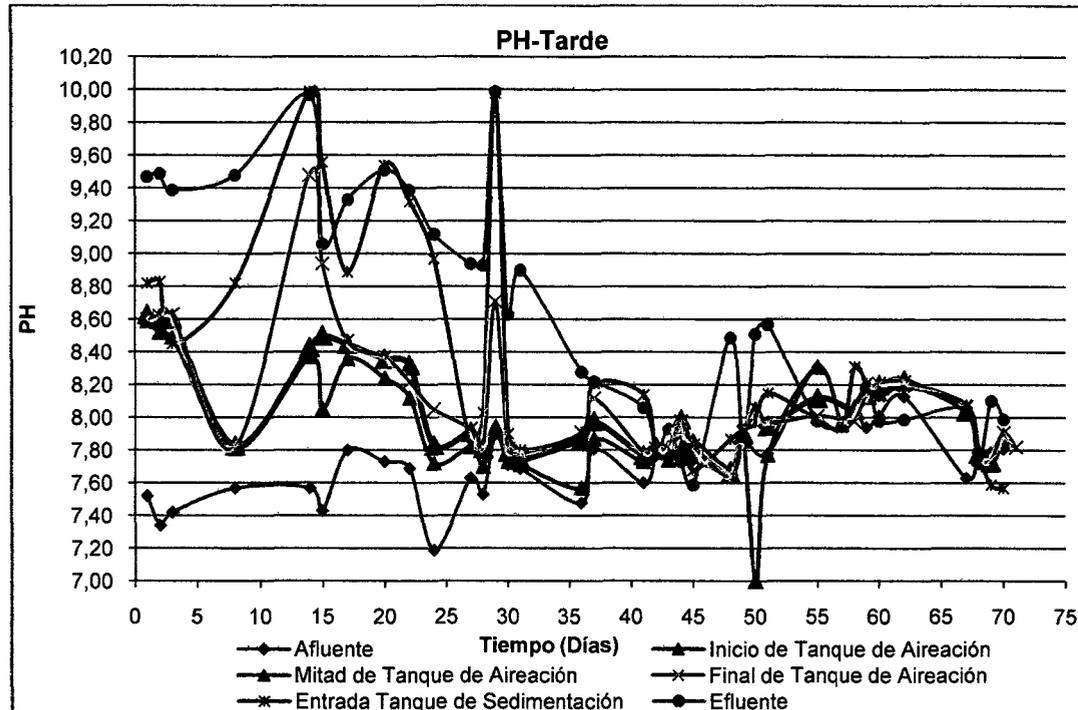


Gráfico N° 7.64: Valores de PH, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Medio día)

En la presente Gráfica N°7.64, se pueden observar los valores de PH, en los seis puntos monitoreados durante el medio día, en lo cual apreciamos, que durante los primeros 30 días se monitoreo con desagüe doméstico, y los siguientes días ya con adición del lixiviado, donde se puede apreciar que el pH se encuentra entre rangos de 7 a 10 aprox., durante el tiempo de adición del lixiviado los valores bajaron.

Según estos valores de PH, nos indican que están en un rango aceptable y en el cual los microorganismos encargados de la remoción de la materia orgánica, presentes en el tanque de aireación, pueden desarrollarse de manera óptima, y por lo tanto obtener buenos resultados.



En la presente Gráfica N°7.65, se pueden observar los valores de PH, en los seis puntos monitoreados durante las tardes, en lo cual apreciamos, que durante los primeros 30 días se monitoreo con desagüe doméstico, y los siguientes días ya con adición del lixiviado, donde se puede apreciar que el pH se encuentra entre rangos de 7 a 10 aprox., durante el tiempo de adición del lixiviado los valores bajaron. Según estos valores de PH, nos indican que están en un rango aceptable y en el cual los microorganismos encargados de la remoción de la materia orgánica, presentes en el tanque de aireación, pueden desarrollarse de manera óptima, y por lo tanto obtener buenos resultados.

Gráfico N° 7.65: Valores de PH, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Tarde)

7.8 VALORES DIARIOS DE PH

A continuación presentaremos los gráficos de PH, en una forma más detallada, obtenido diariamente durante el proceso de tratamiento que se llevo en el Sistema Piloto. Cabe destacar que los monitoreos de PH se realizaron tres veces al día (Mañana, Medio Día, Tarde), y se realizaron en todos los puntos de monitoreo, mostrados en la Fotografía N° 7.3.

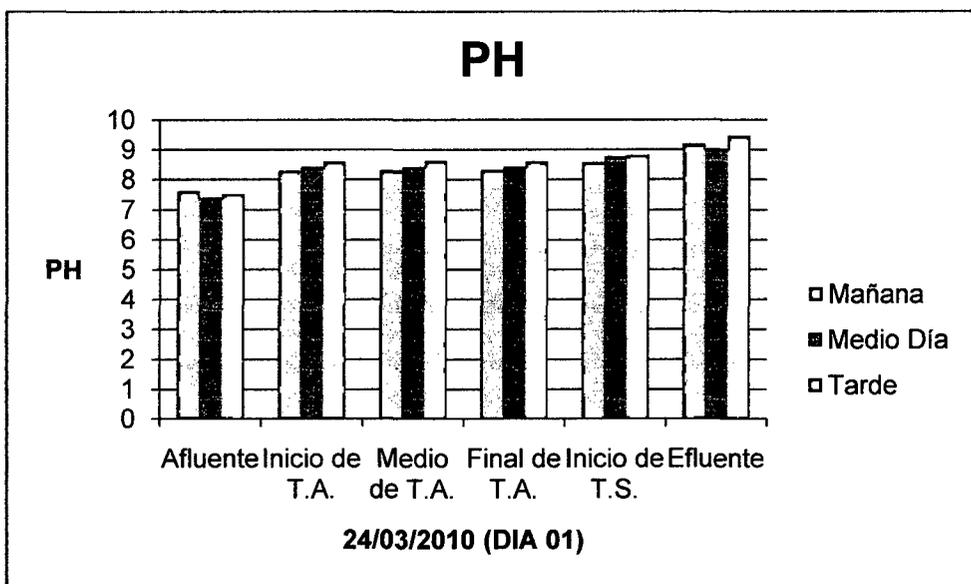


Gráfico N° 7.66: Variación del PH

En el presente gráfico, se puede ver que el pH va aumentando de 7.4 a 9.5, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

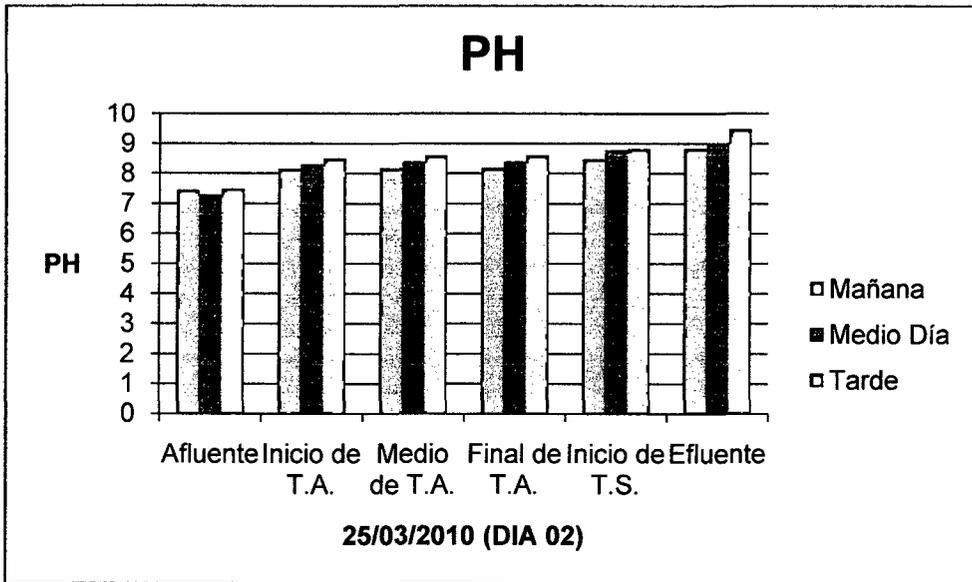


Gráfico N° 7.67: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.3 a 9.5, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

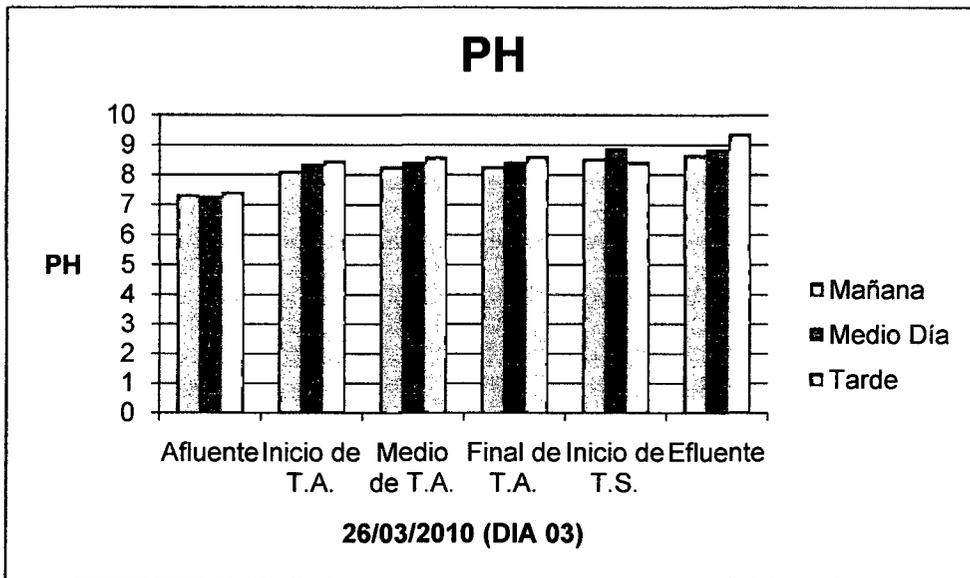


Gráfico N° 7.68: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.3 a 9.4, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

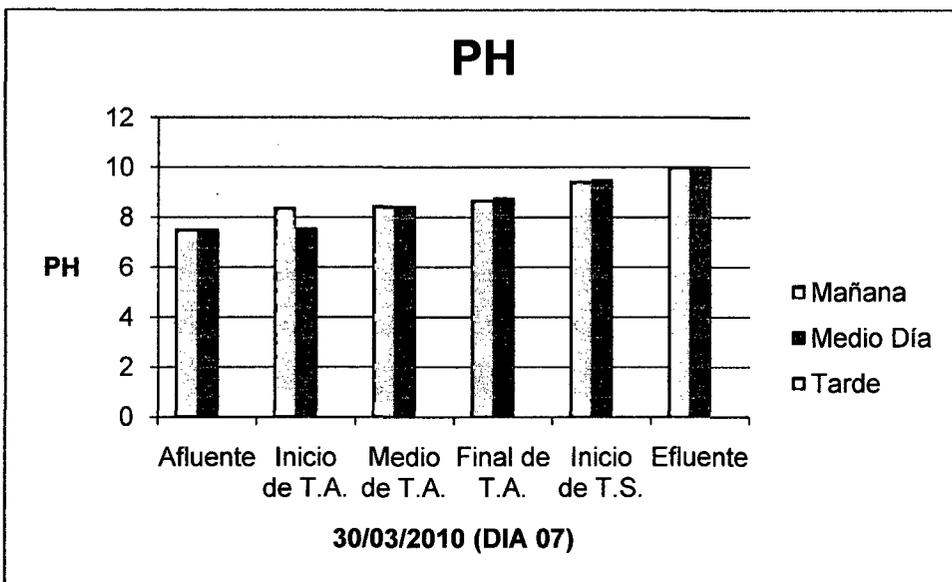


Gráfico N° 7.69: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.5 a 10, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

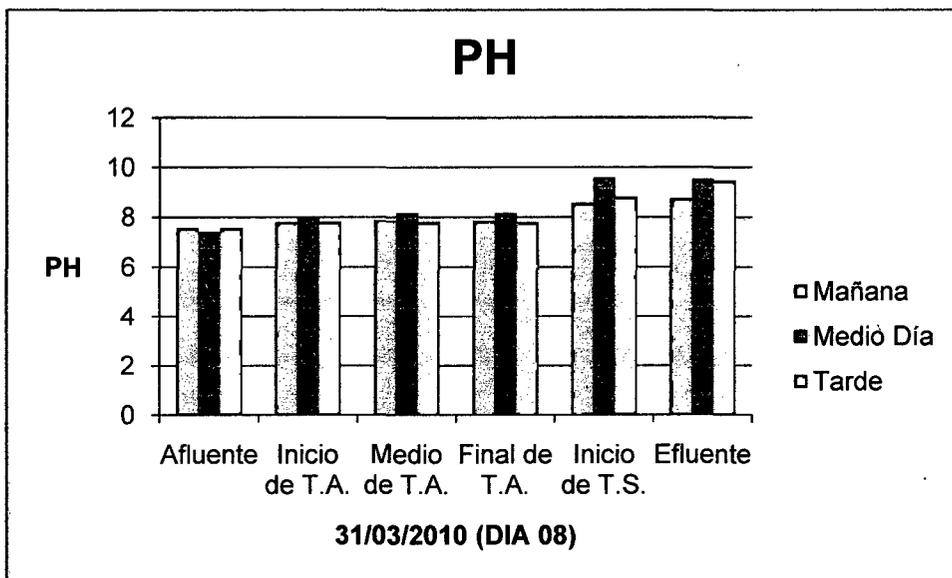


Gráfico N° 7.70: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.4 a 9.6, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

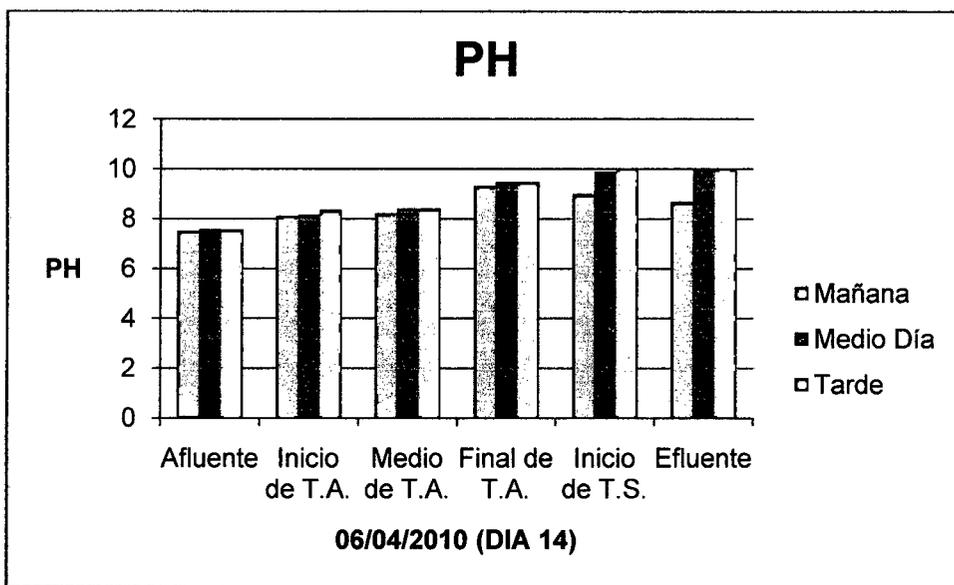


Gráfico N° 7.71: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.5 a 10, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

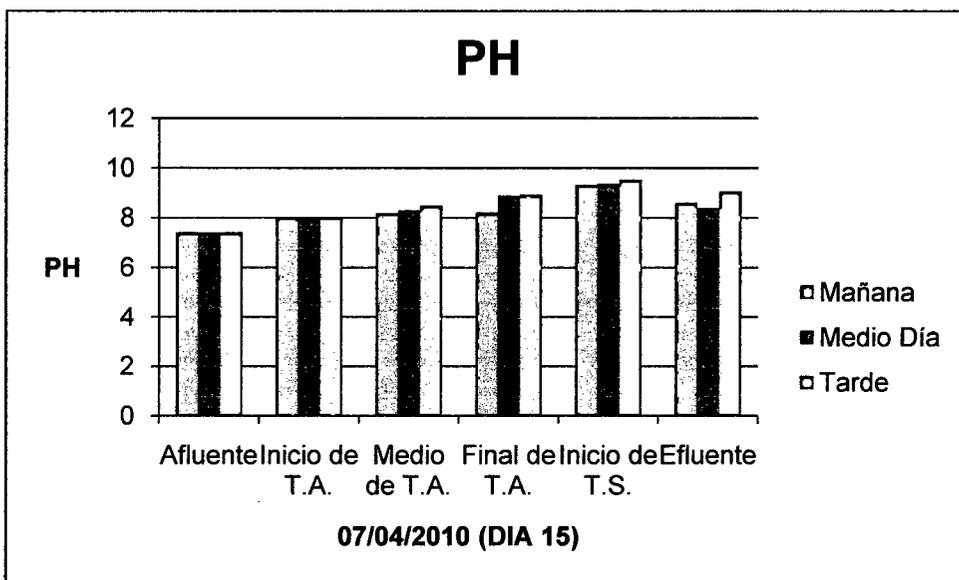


Gráfico N° 7.72: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.4 a 9.6, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

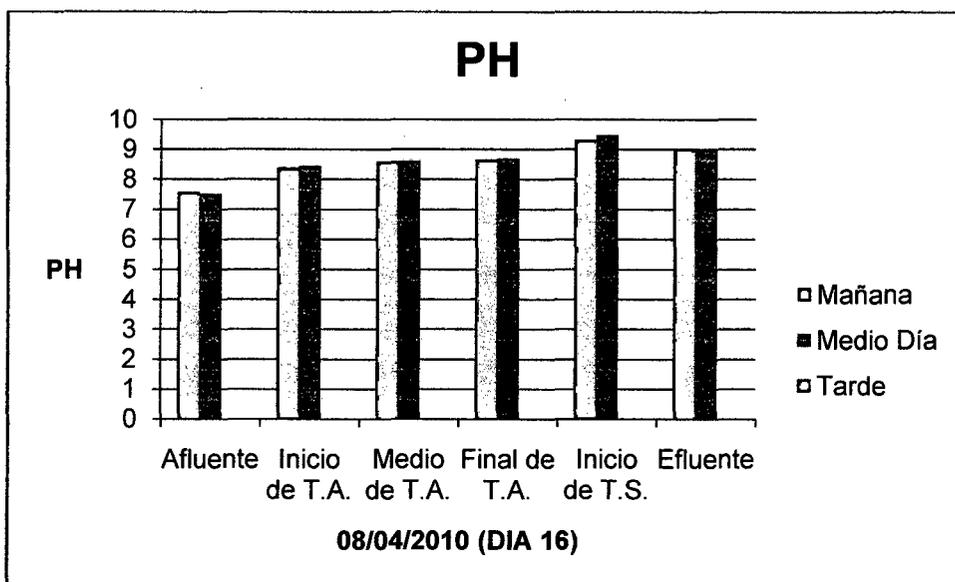


Gráfico N° 7.73: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.5 a 9.5, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

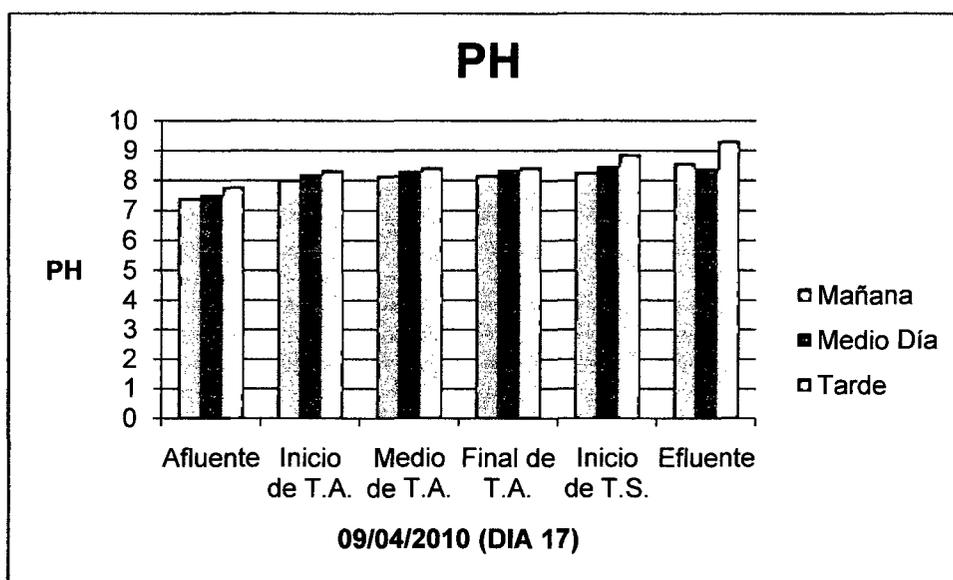


Gráfico N° 7.74: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.4 a 9.3, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

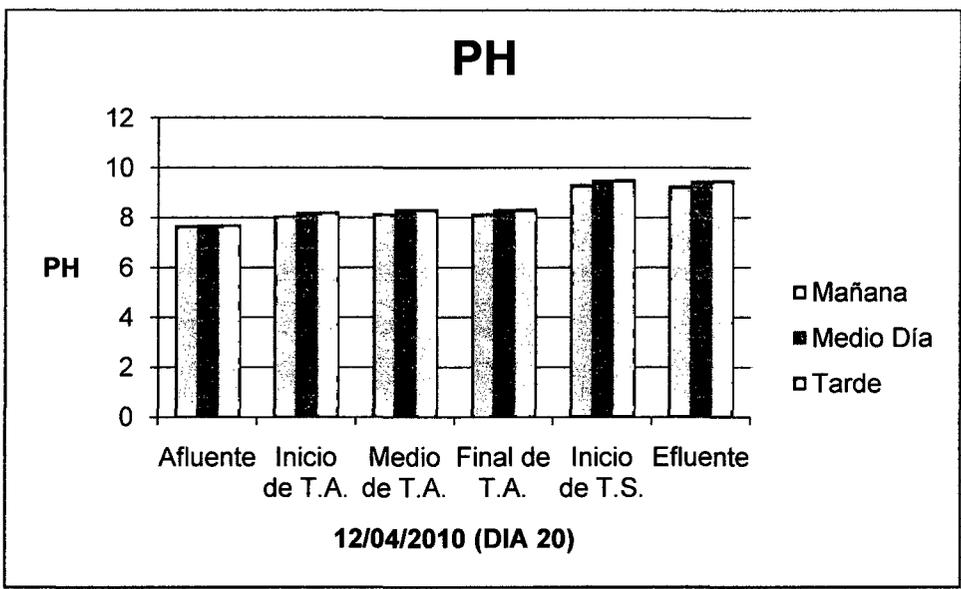


Gráfico N° 7.75: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.7 a 9.5, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

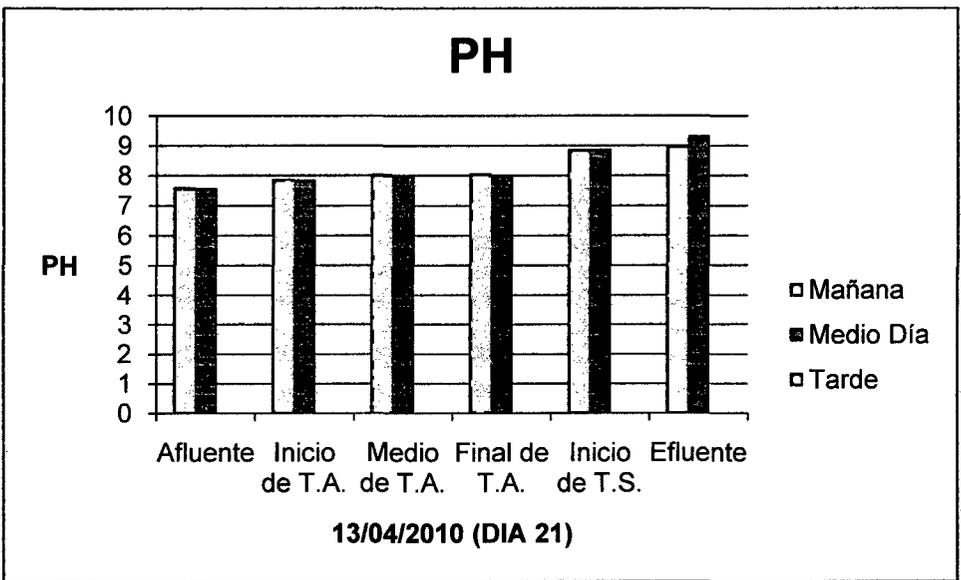


Gráfico N° 7.76: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 9.4, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

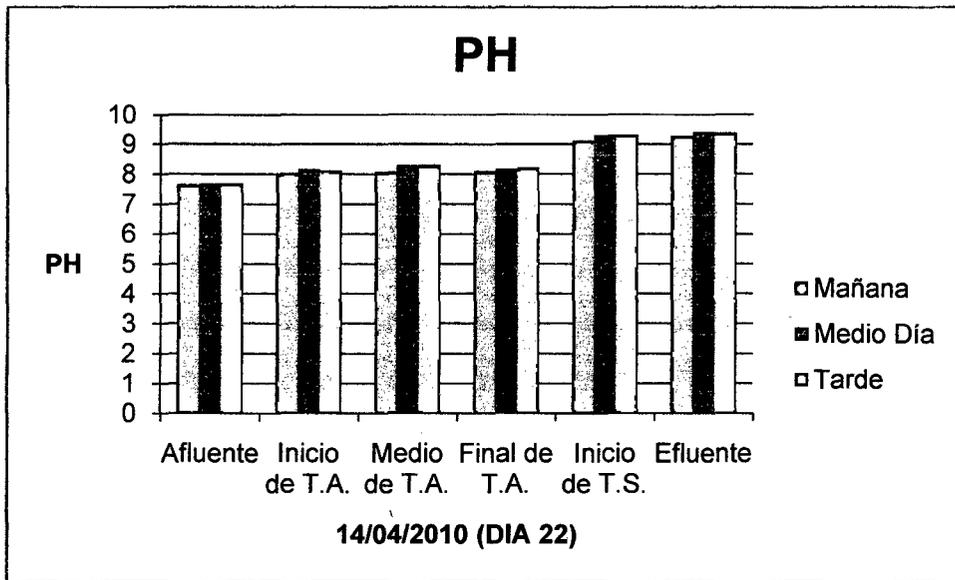


Gráfico N° 7.77: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 9.2, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

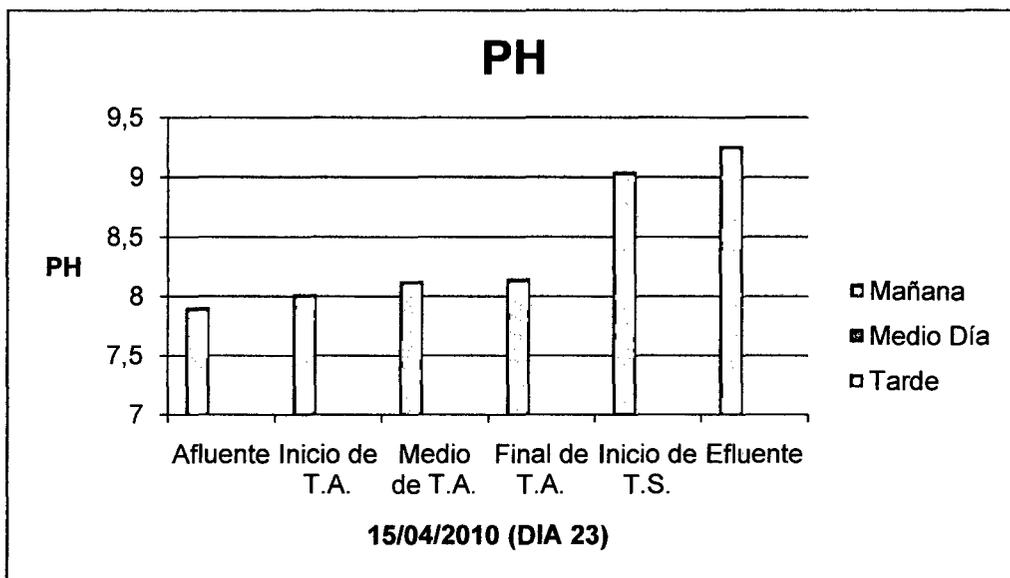


Gráfico N° 7.78: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 9.3, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

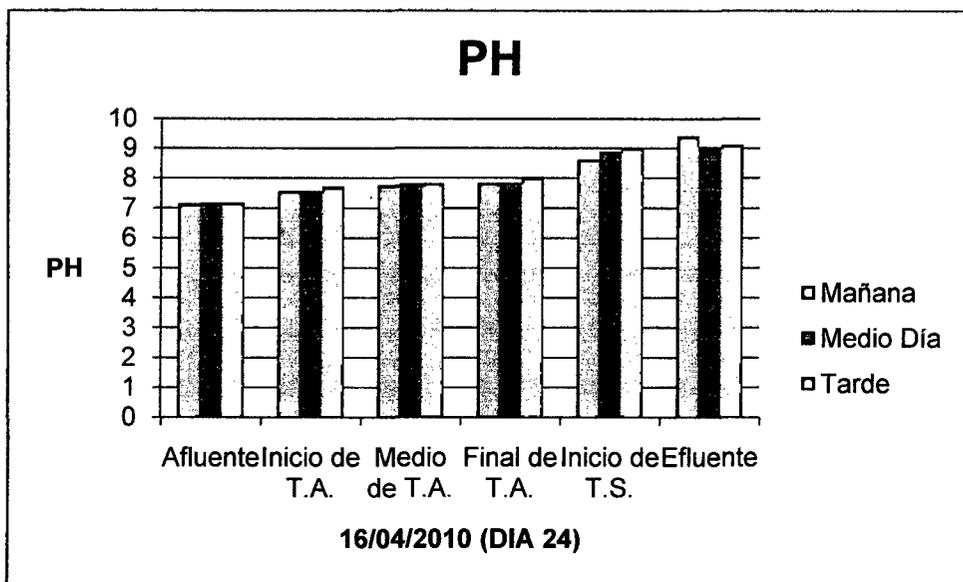


Gráfico N° 7.79: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.2 a 9.4, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

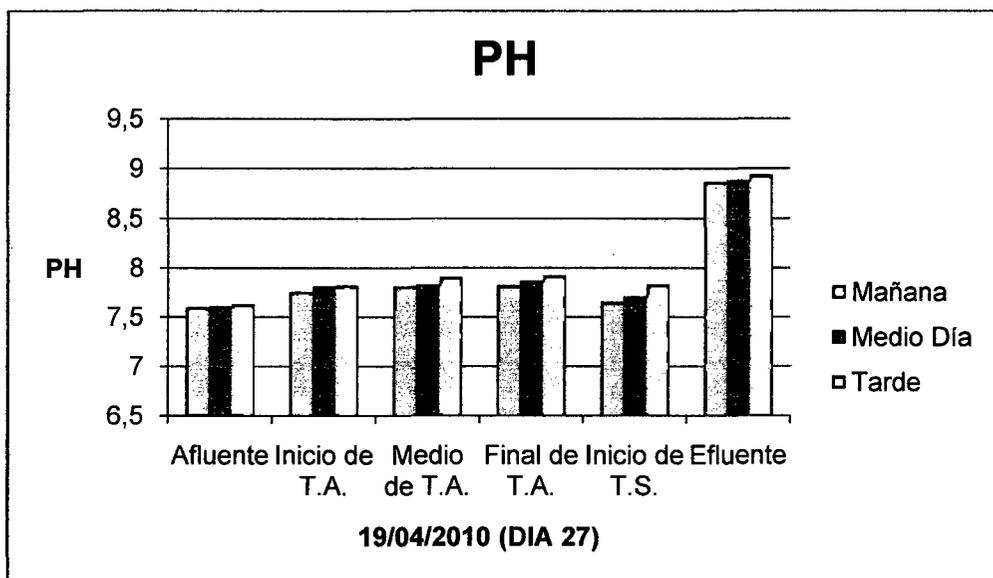


Gráfico N° 7.80: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 8.9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

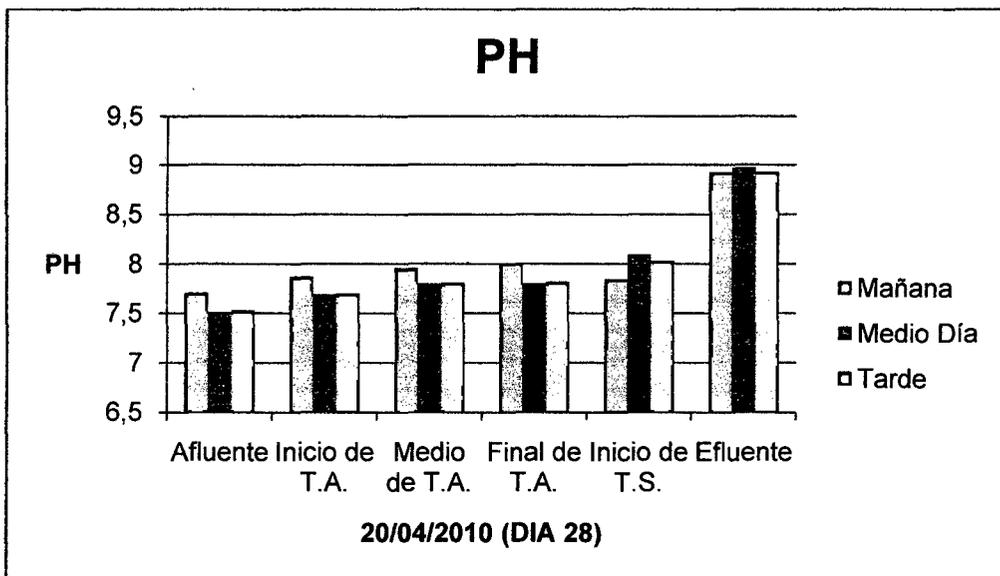


Gráfico N° 7.81: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.5 a 9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

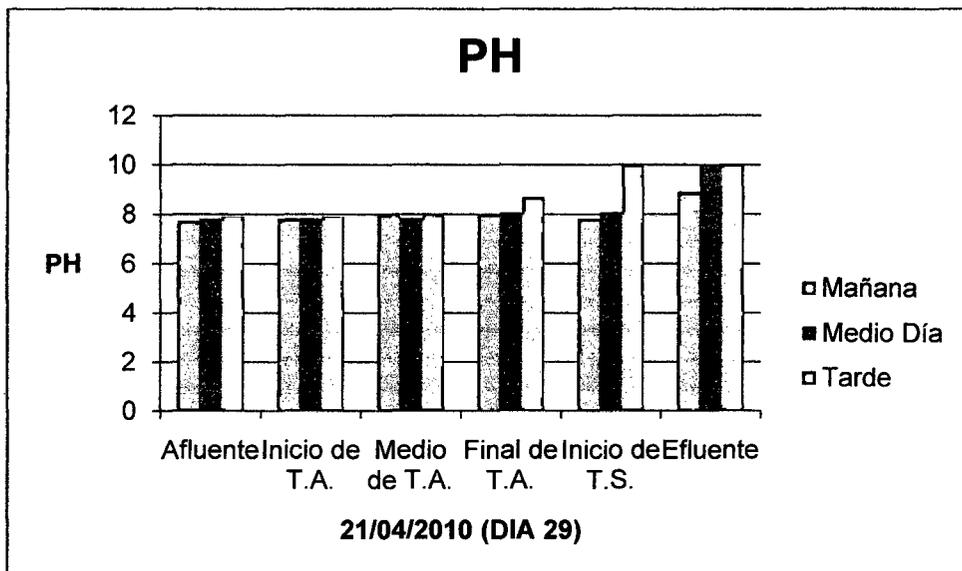


Gráfico N° 7.82: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 10, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

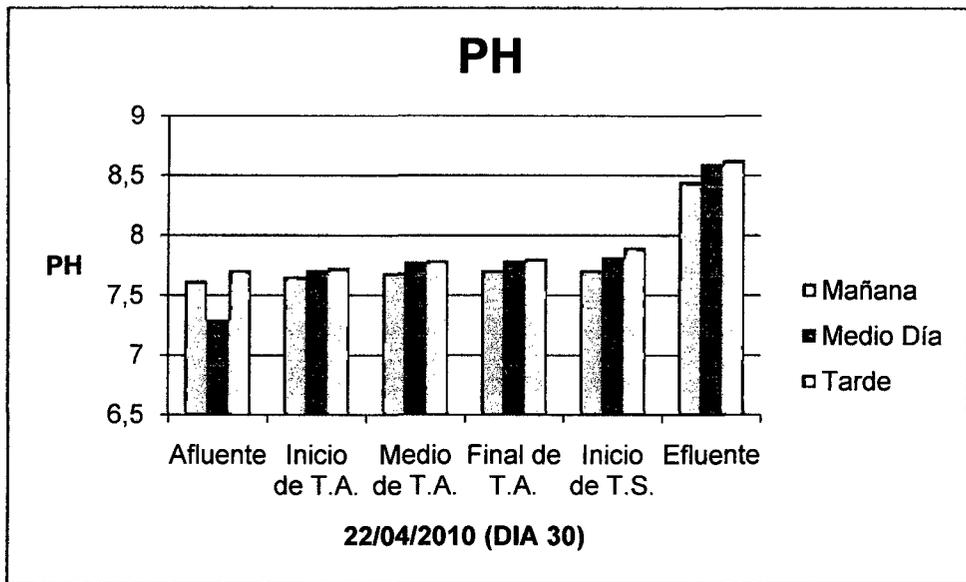


Gráfico N° 7.83: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.3 a 8.6, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

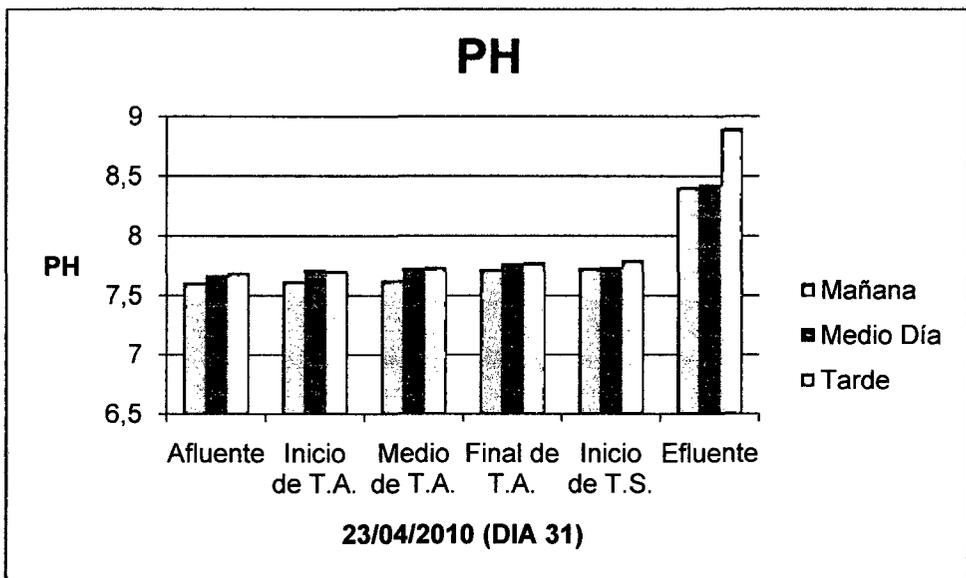


Gráfico N° 7.84: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 8.9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

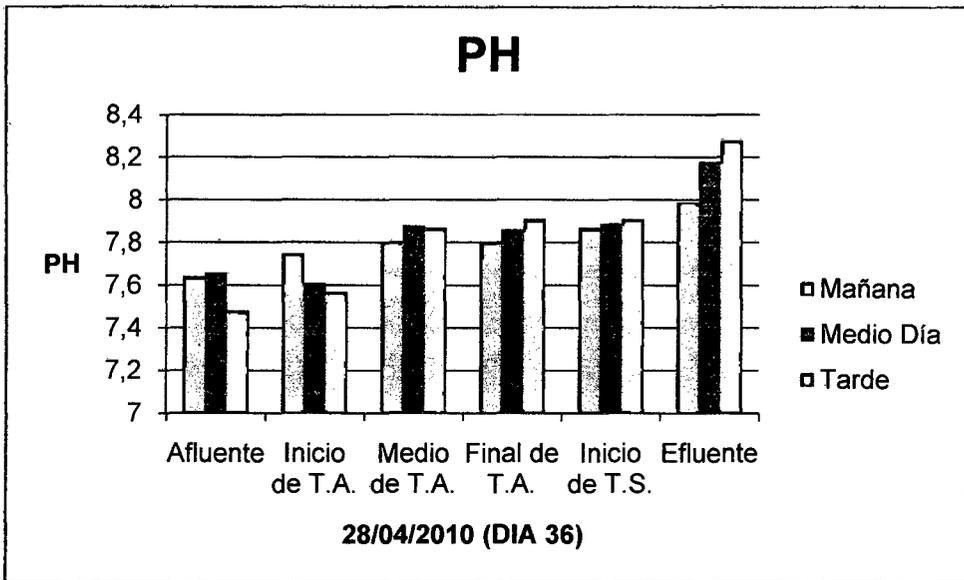


Gráfico N° 7.85: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.5 a 8.3, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

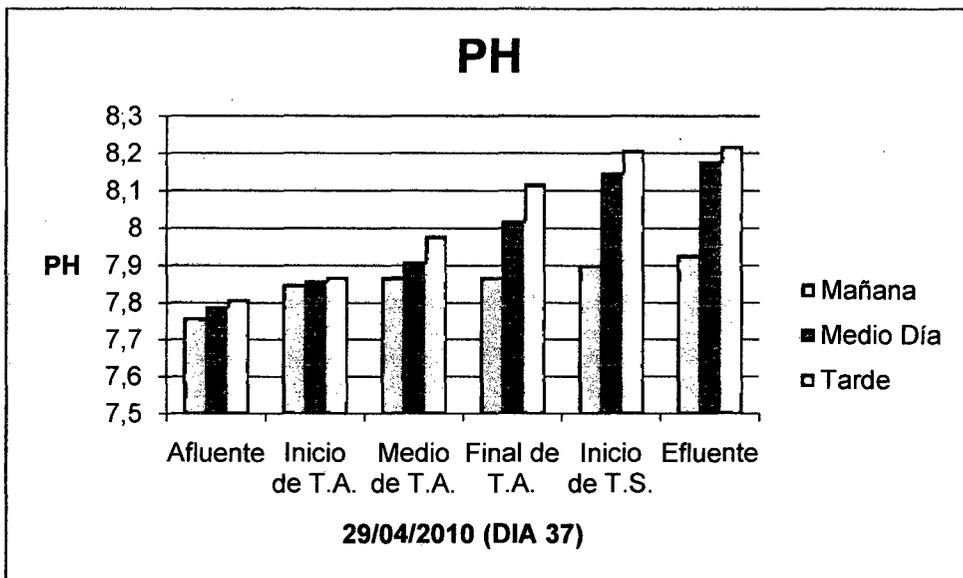


Gráfico N° 7.86: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.7 a 8.2, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

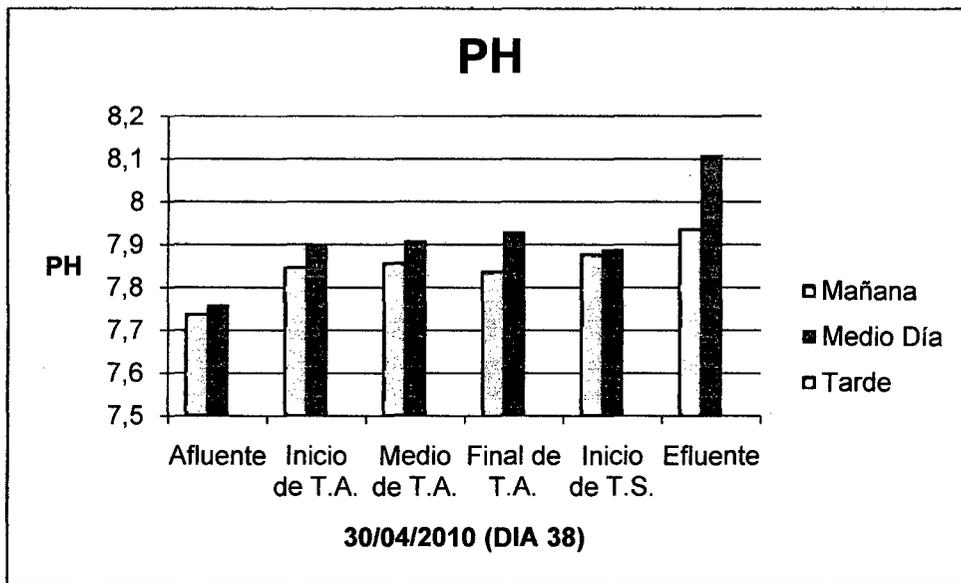


Gráfico N° 7.87: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.7 a 8.1, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

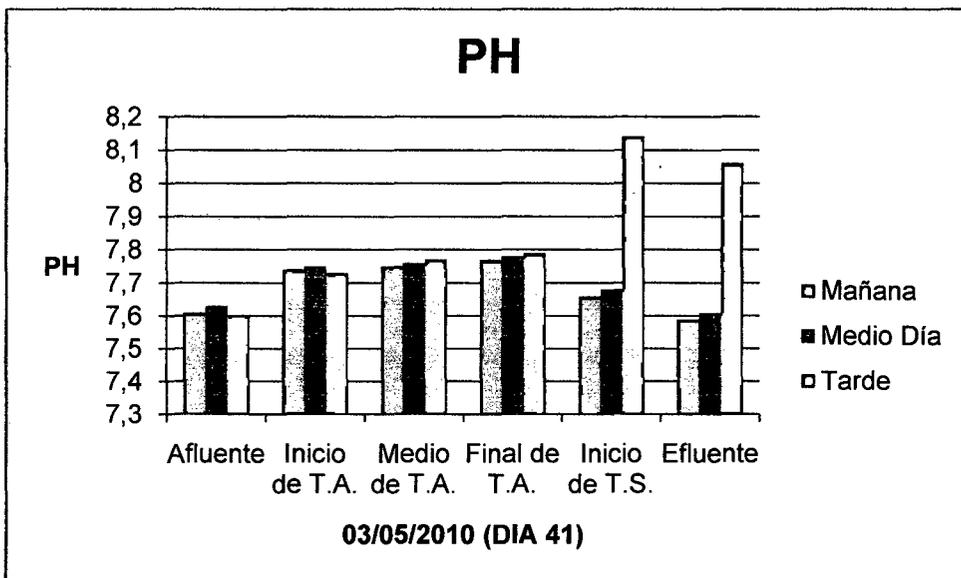


Gráfico N° 7.88: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 8.1, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

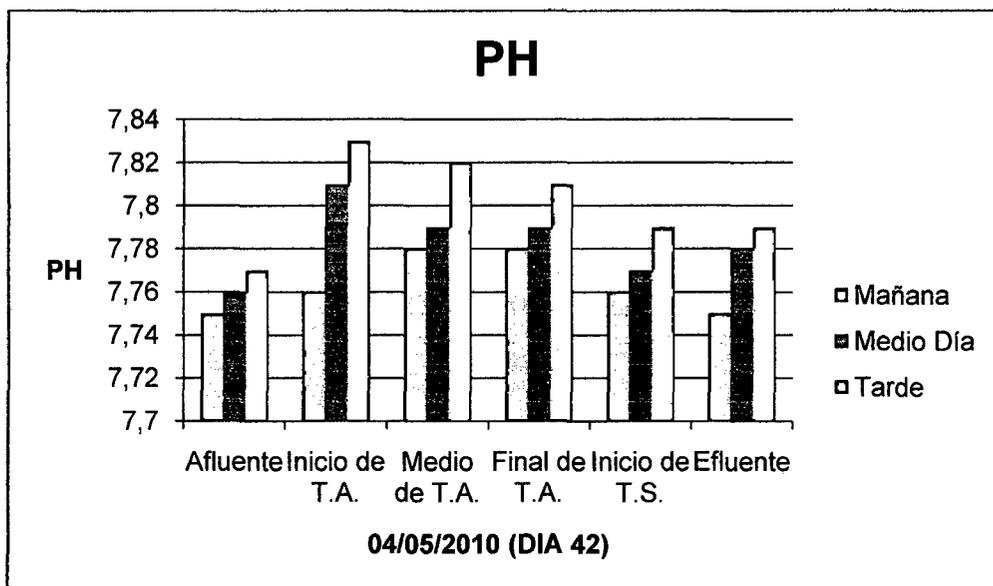


Gráfico N° 7.89: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.7 a 7.8, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

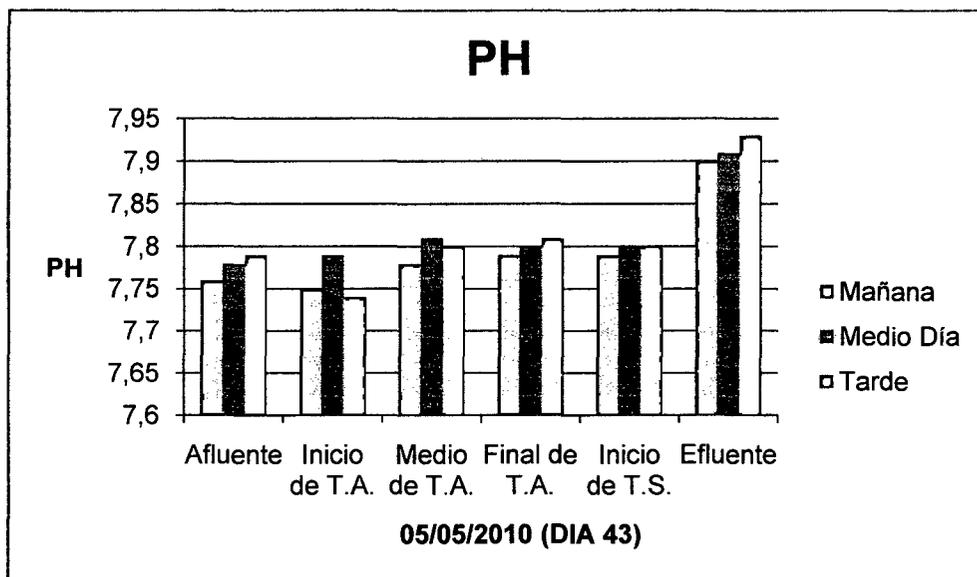


Gráfico N° 7.90: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.7 a 7.9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

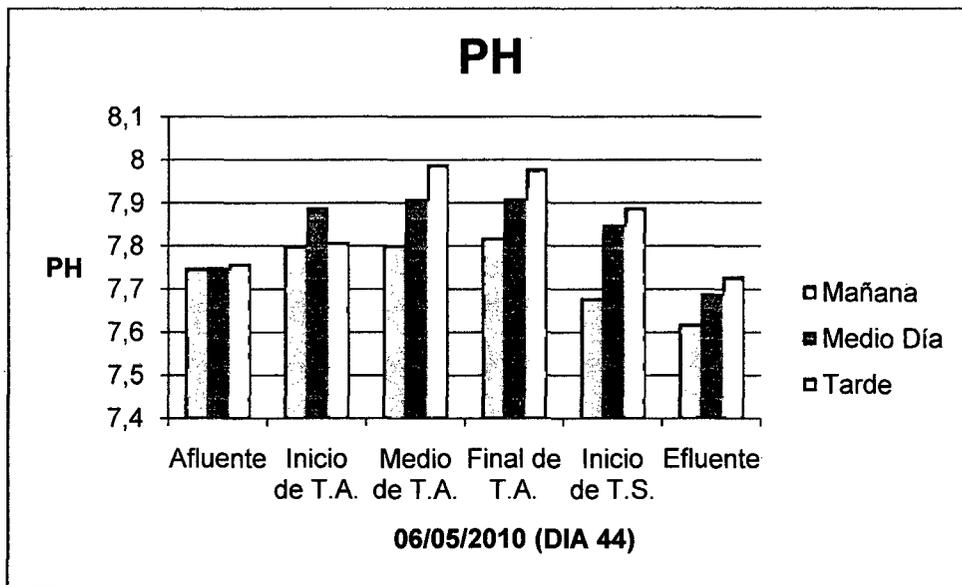


Gráfico N° 7.91: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 8, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

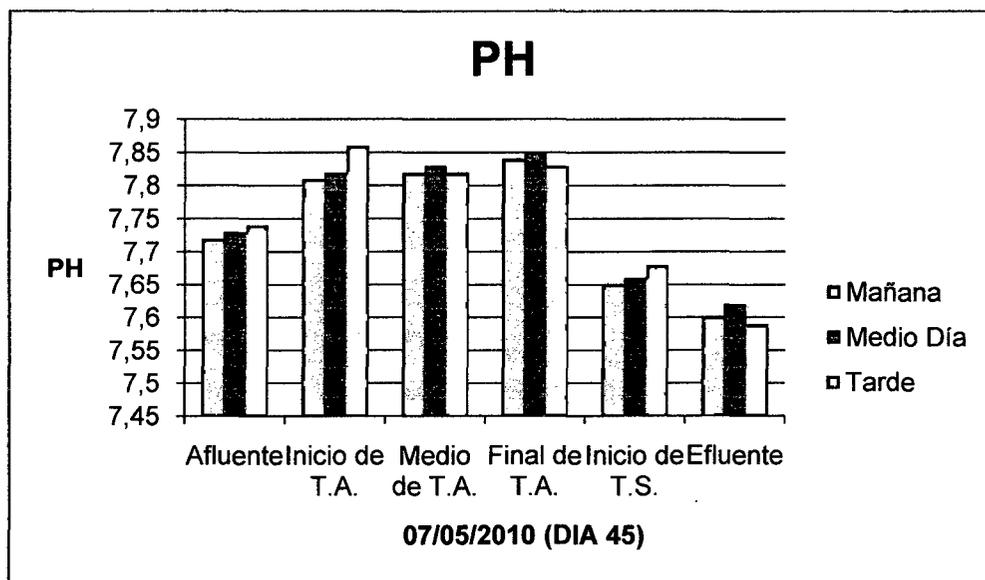


Gráfico N° 7.92: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 7.8, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

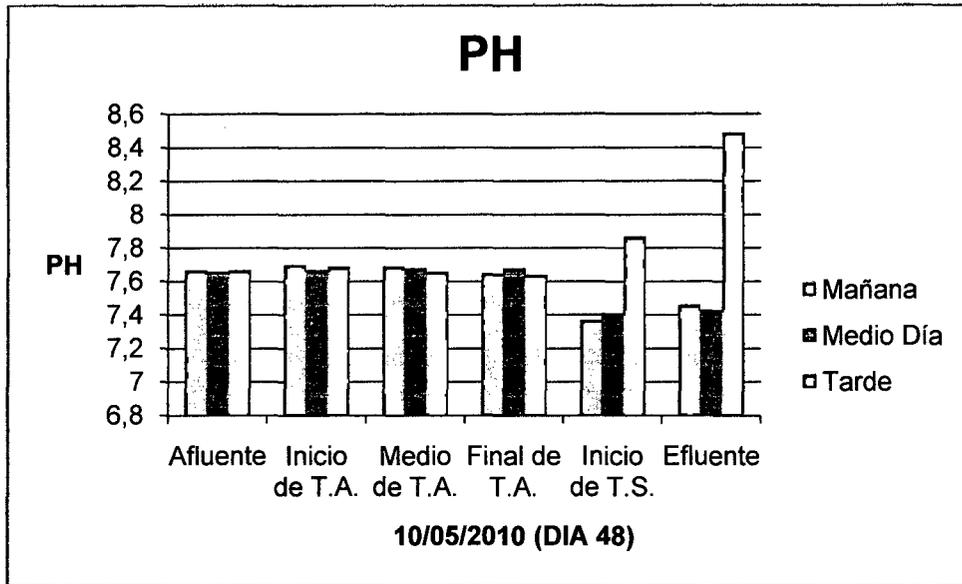


Gráfico N° 7.93: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.4 a 8.5, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

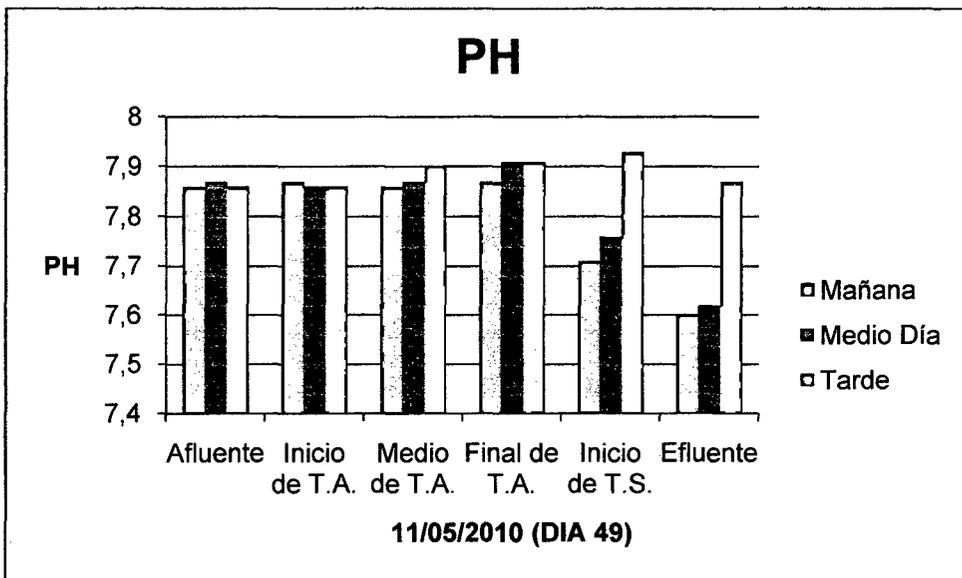


Gráfico N° 7.94: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 7.9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

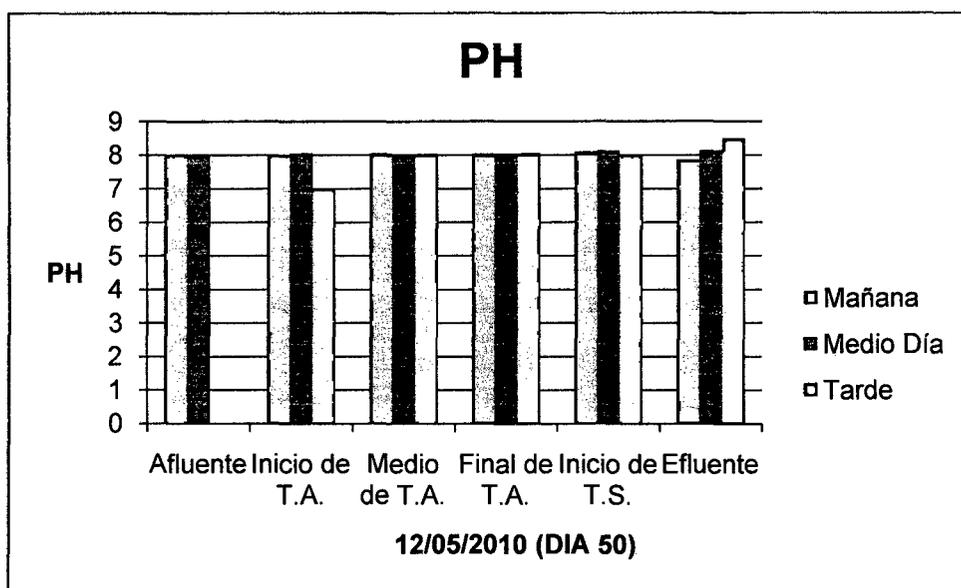


Gráfico N° 7.95: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7 a 8.5, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

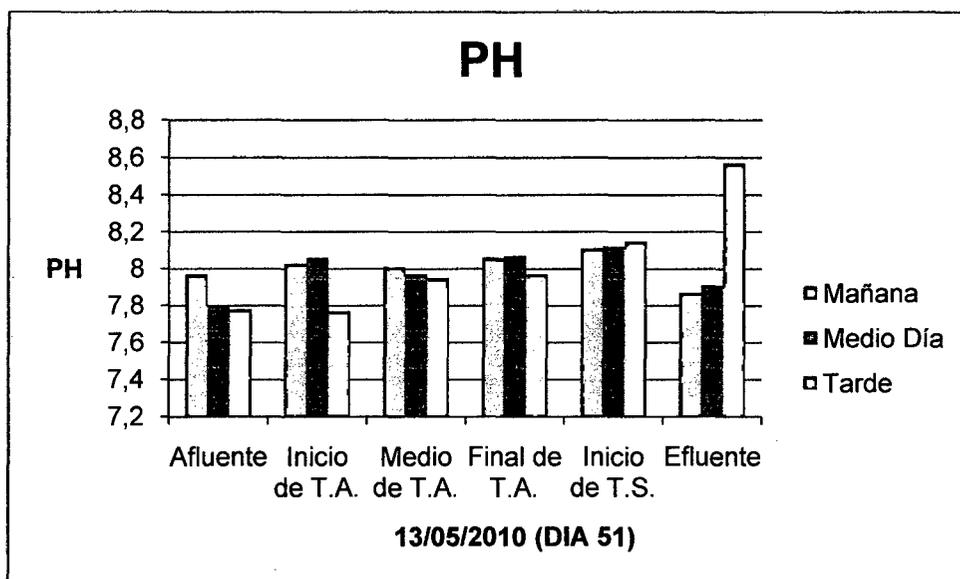


Gráfico N° 7.96: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.8 a 8.6, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado, por ello la disminución del pH.

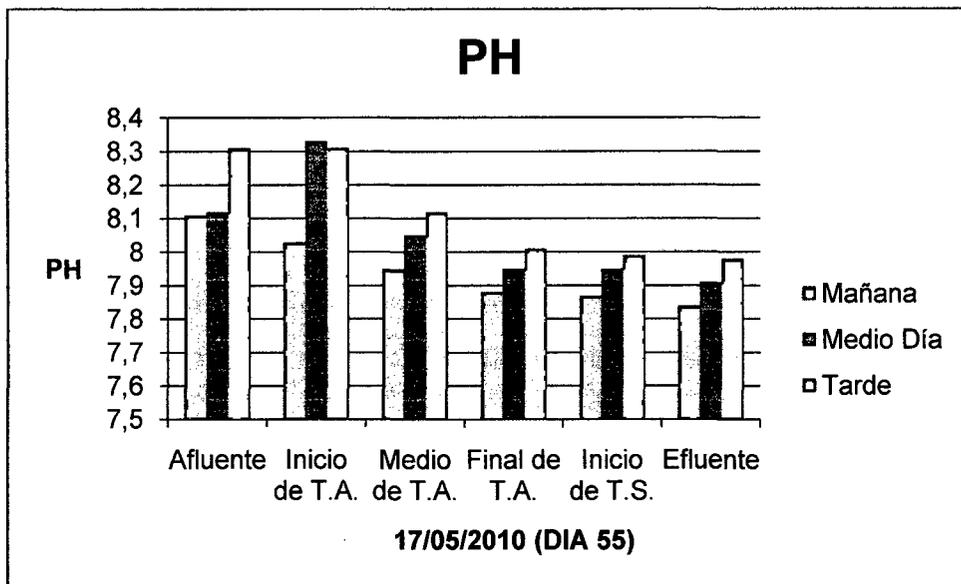


Gráfico N° 7.97: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va disminuyendo de valores de 7.8 hasta 8.3, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

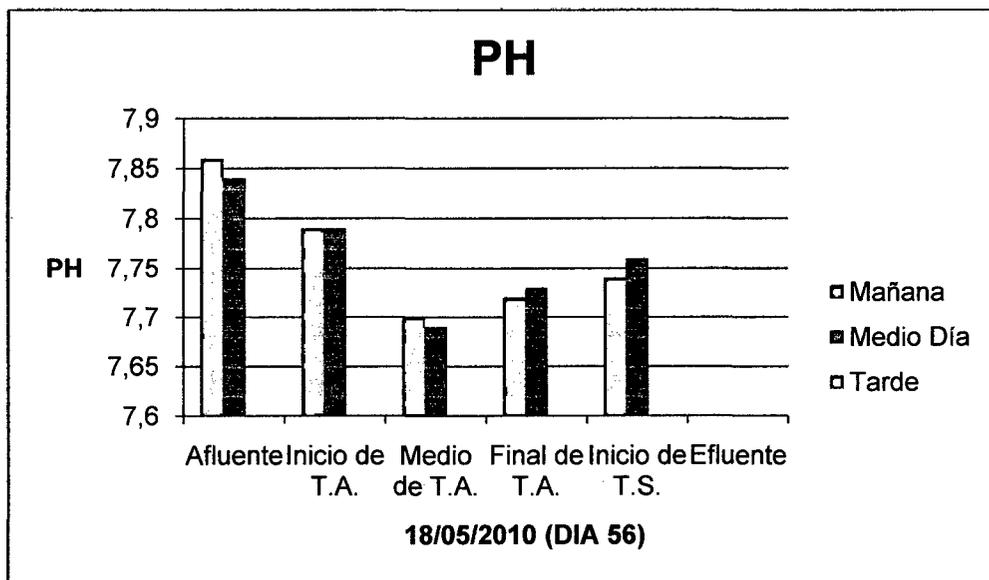


Gráfico N° 7.98: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.7 a 7.9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición.

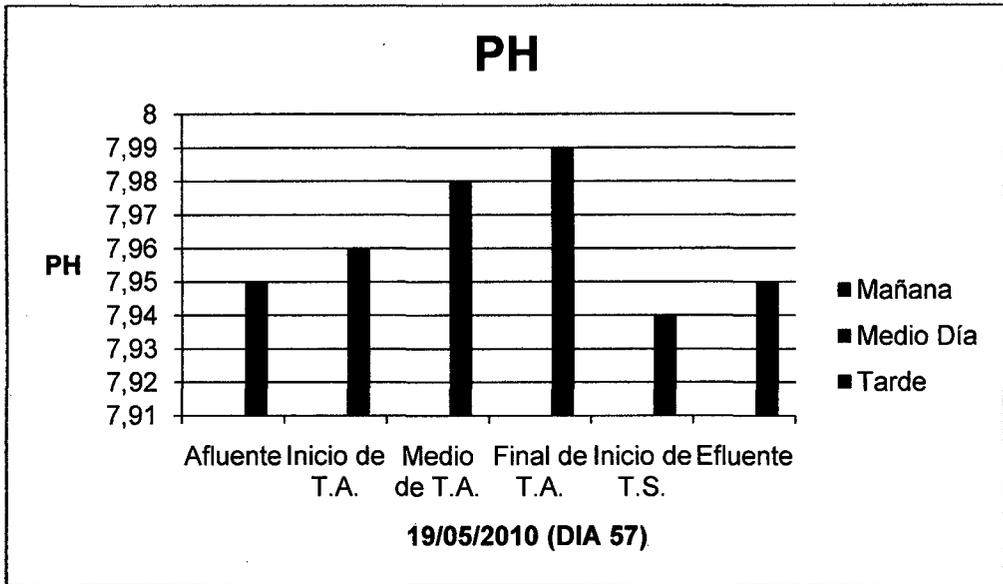


Gráfico N° 7.99: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 8, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

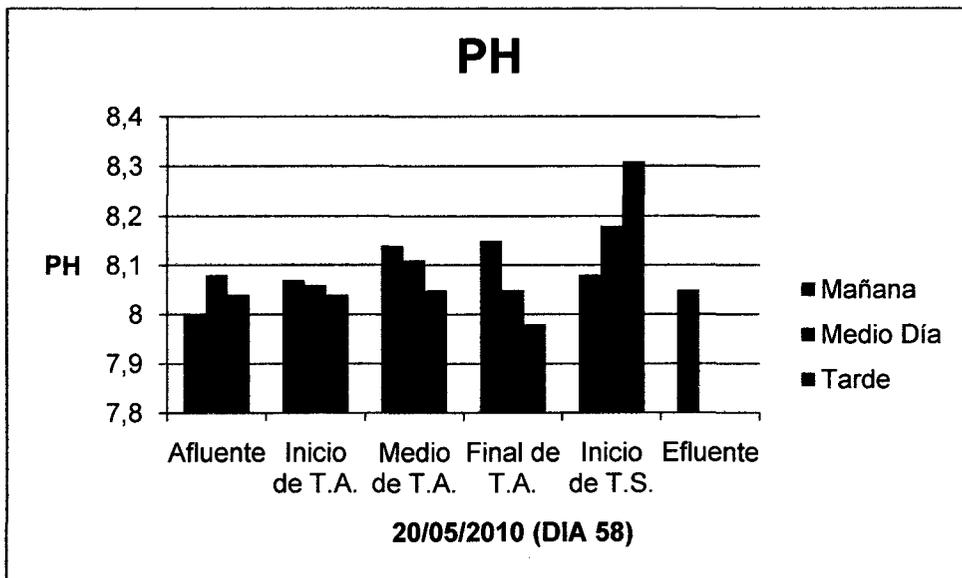


Gráfico N° 7.100: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 8 a 8.3, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

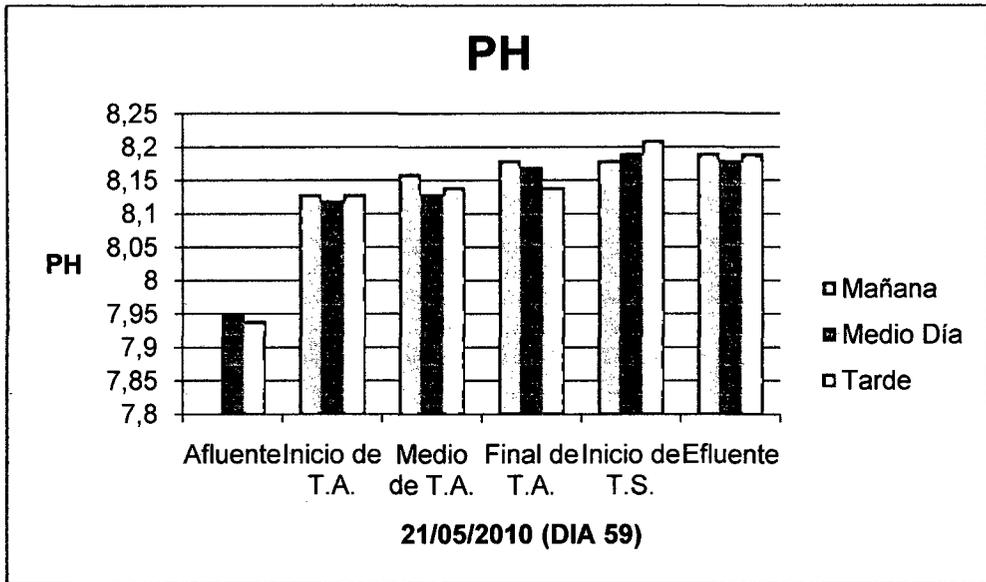


Gráfico N° 7.101: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 8.2, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

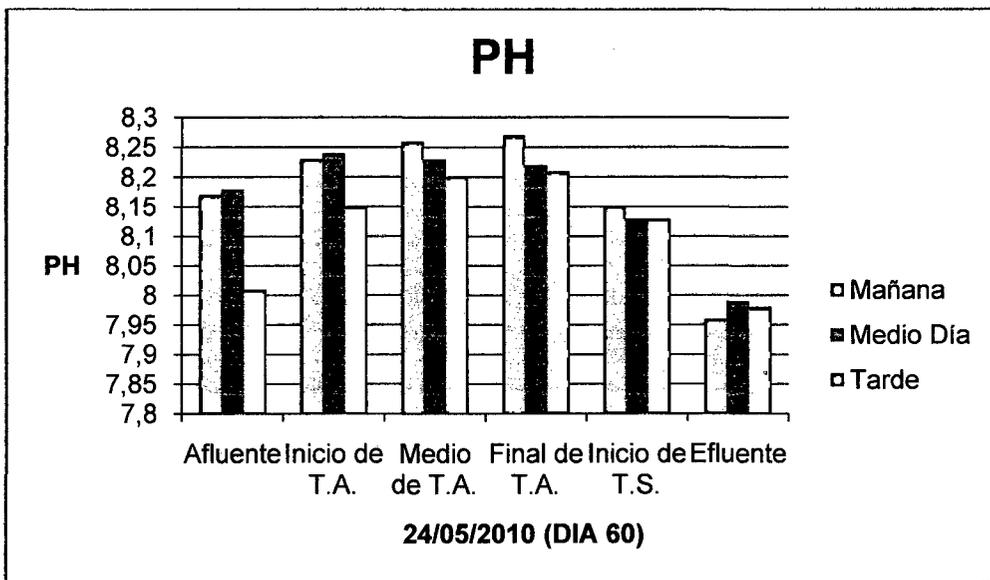


Gráfico N° 7.102: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 8.2, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

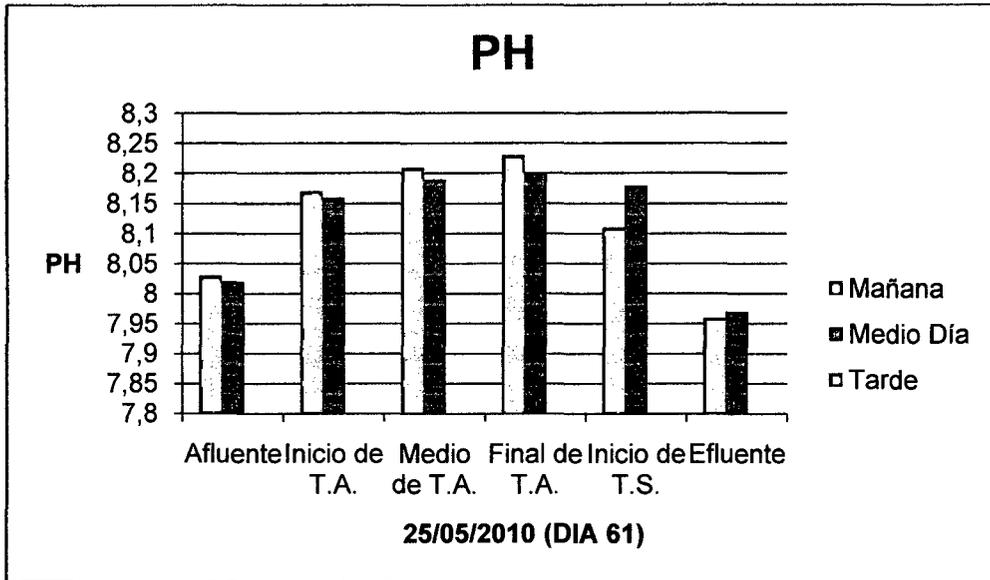


Gráfico N° 7.103: Variación del PH

En el presente gráfico, se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 8.2, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

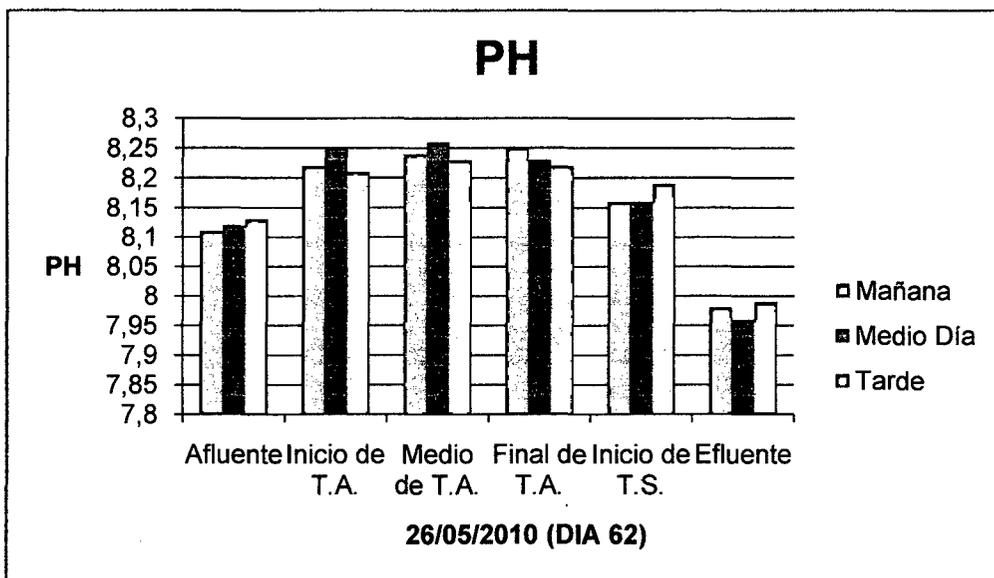


Gráfico N° 7.104: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 8.2, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

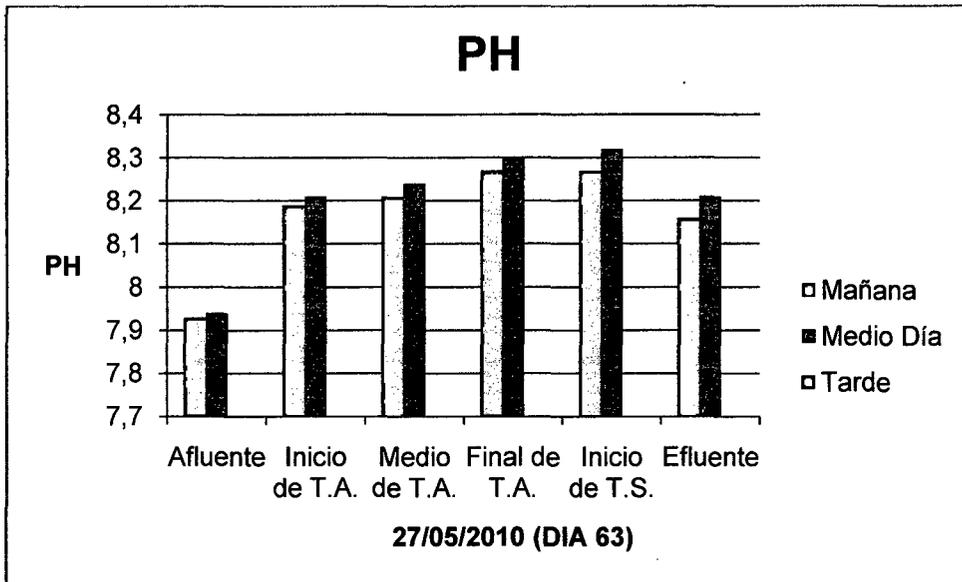


Gráfico N° 7.105: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.9 a 8.3, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

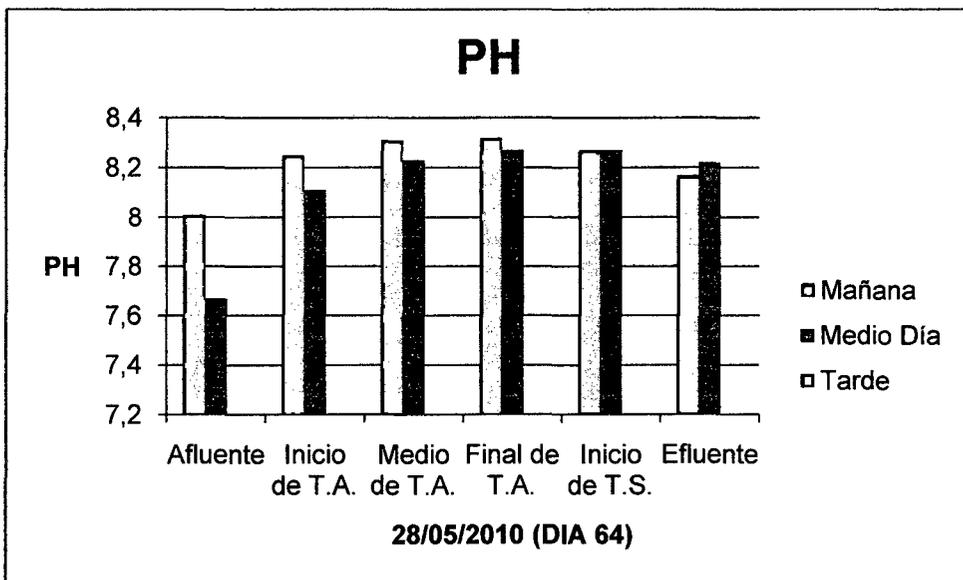


Gráfico N° 7.106: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 8.3, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

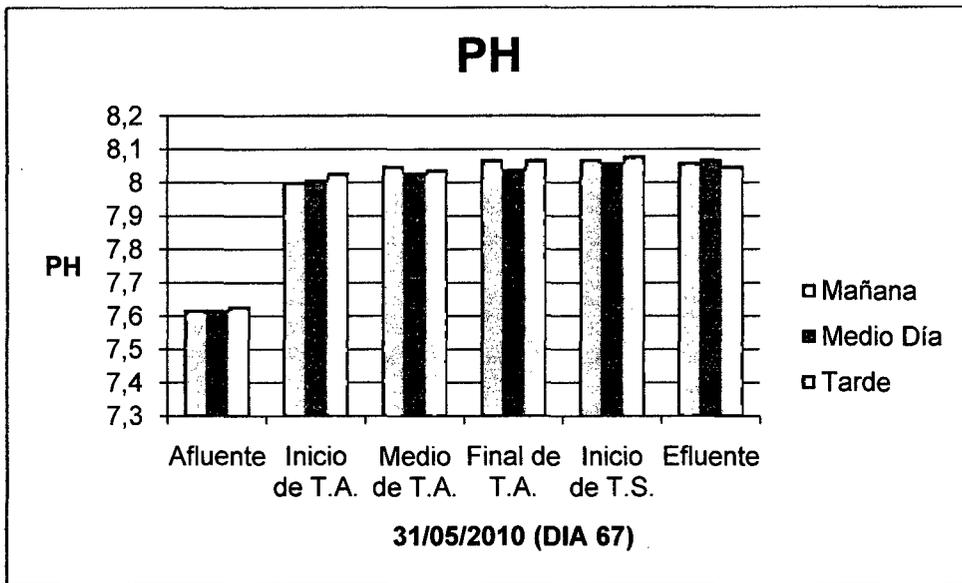


Gráfico N° 7.107: Variación del PH

En el presente gráfico 7.106, se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 8.1, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

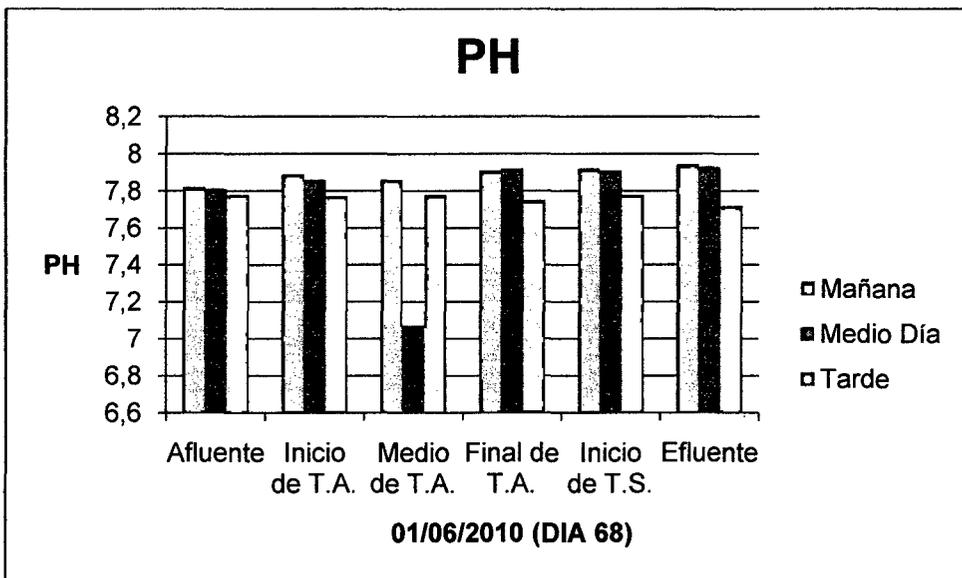


Gráfico N° 7.108: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7 a 7.9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

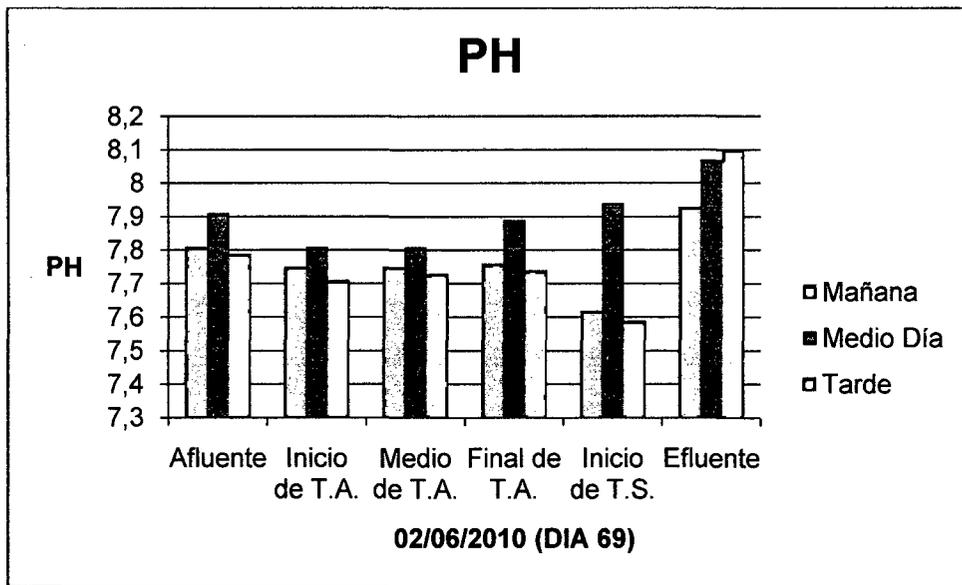


Gráfico N° 7.109: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 8.1, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

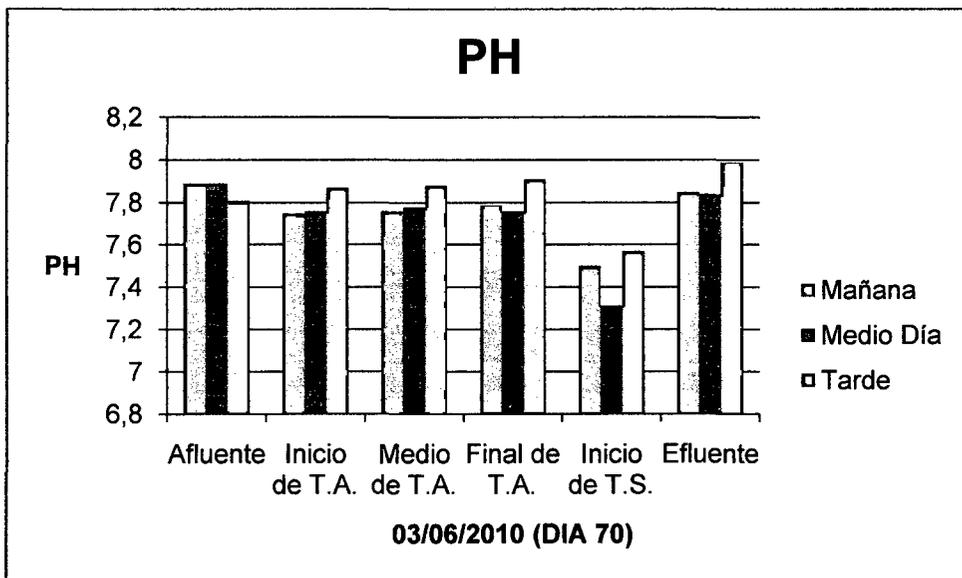


Gráfico N° 7.110: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.3 a 8, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

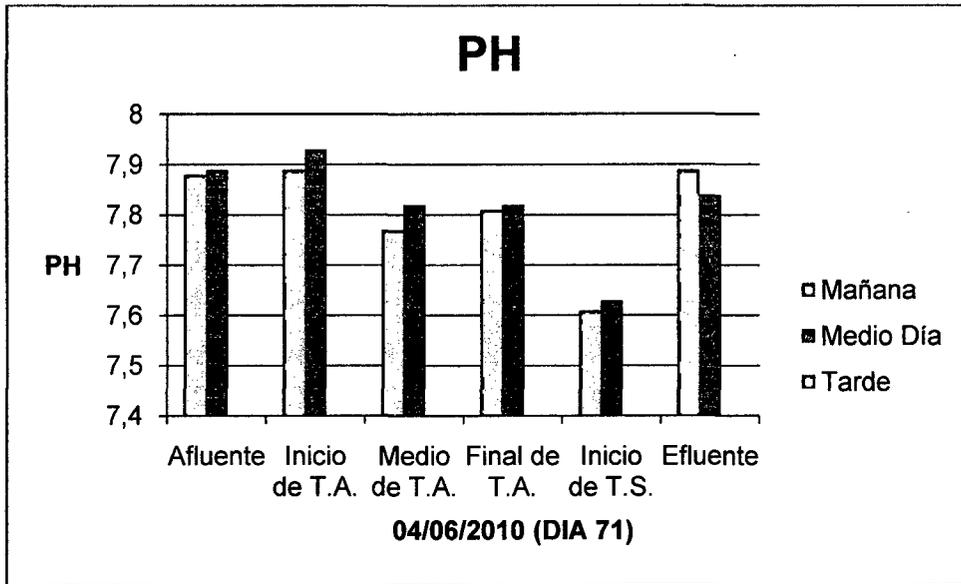


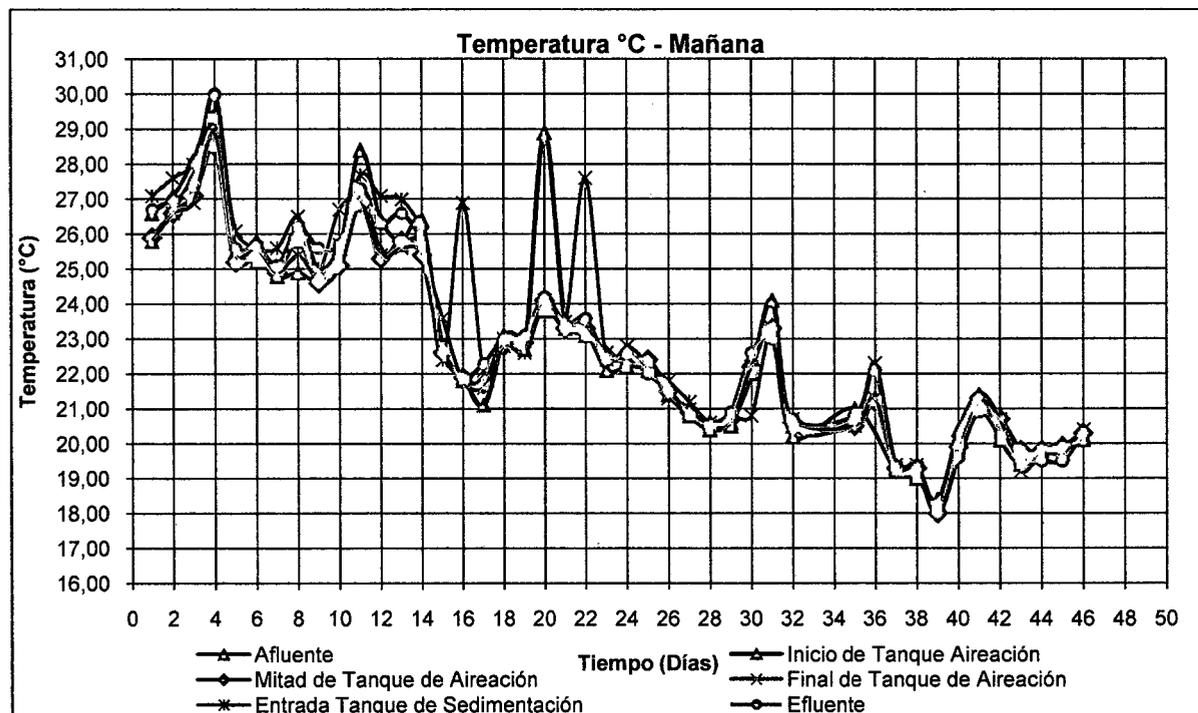
Gráfico N° 7.111: Variación del PH

En el presente gráfico se puede ver que el pH va aumentando de 7.6 a 7.9, pero se mantiene dentro de estos rangos durante todo el día de medición, durante esta etapa ya está con el lixiviado.

Se puede apreciar que durante el inicio de la operación del sistema se empezó con agua residual doméstica, y el pH se mantenía en valores más altos que 7, pero luego de agregar el lixiviado este va disminuyendo, pero estos valores no afectan el crecimiento y desarrollo de los microorganismos presentes en el tanque de aireación pues se obtuvieron buenos resultados, y también nos indica que el sistema opero de manera continua todo el día, en las mismas condiciones.

7.9 RESULTADOS DE MEDICIONES DE TEMPERATURA

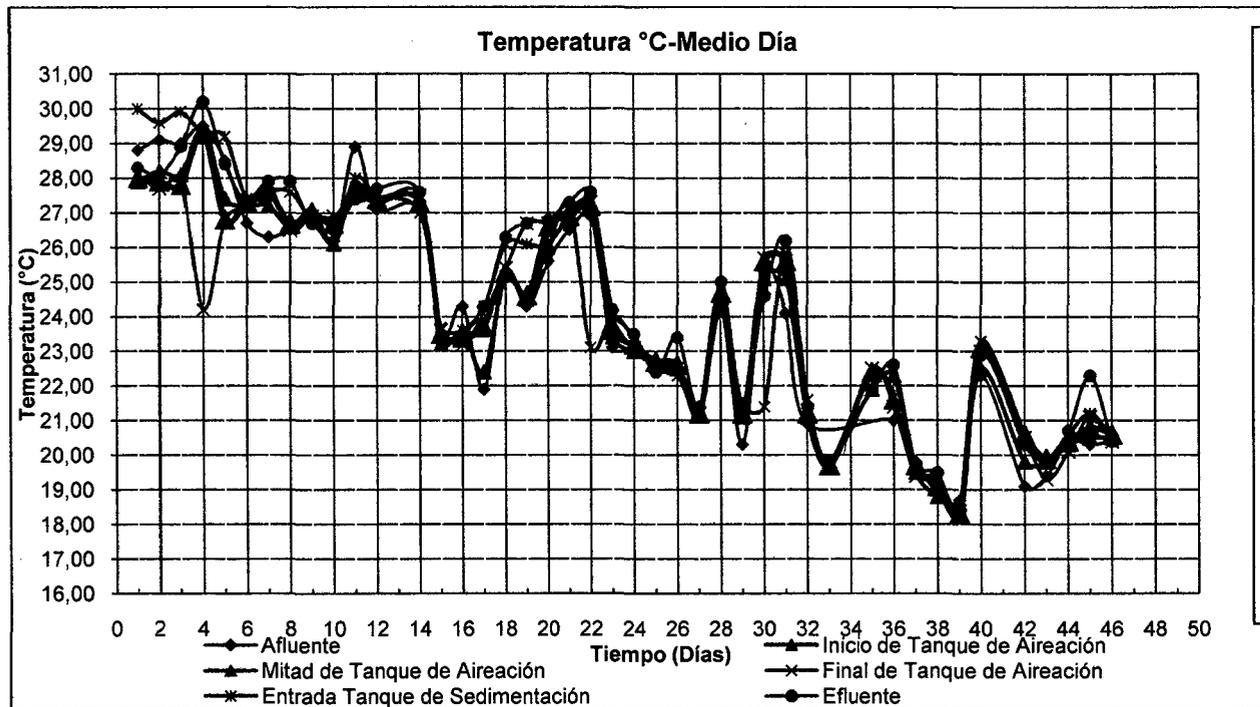
Durante la presente investigación se realizó la medición de la Temperatura, en todos los puntos de monitoreo según la Fotografía N° 7.3, para poder verificar en que condiciones de temperatura opero el sistema de tratamiento.



En la presente Gráfica N°7.112, se pueden observar los valores de temperatura, en los seis puntos monitoreados durante las mañanas, en lo cual apreciamos, que durante los primeros 30 días se monitoreo con desagüe doméstico, y los siguientes días ya con adición del lixiviado, donde se puede apreciar que el sistema opero desde temperaturas de 30 y hasta 18 °C, por lo cual podremos decir que es una temperatura adecuada para el buen desarrollo de los microorganismos que se desarrollan dentro del tanque de aireación

Gráfico N° 7.112: Valores de Temperatura, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Mañana)

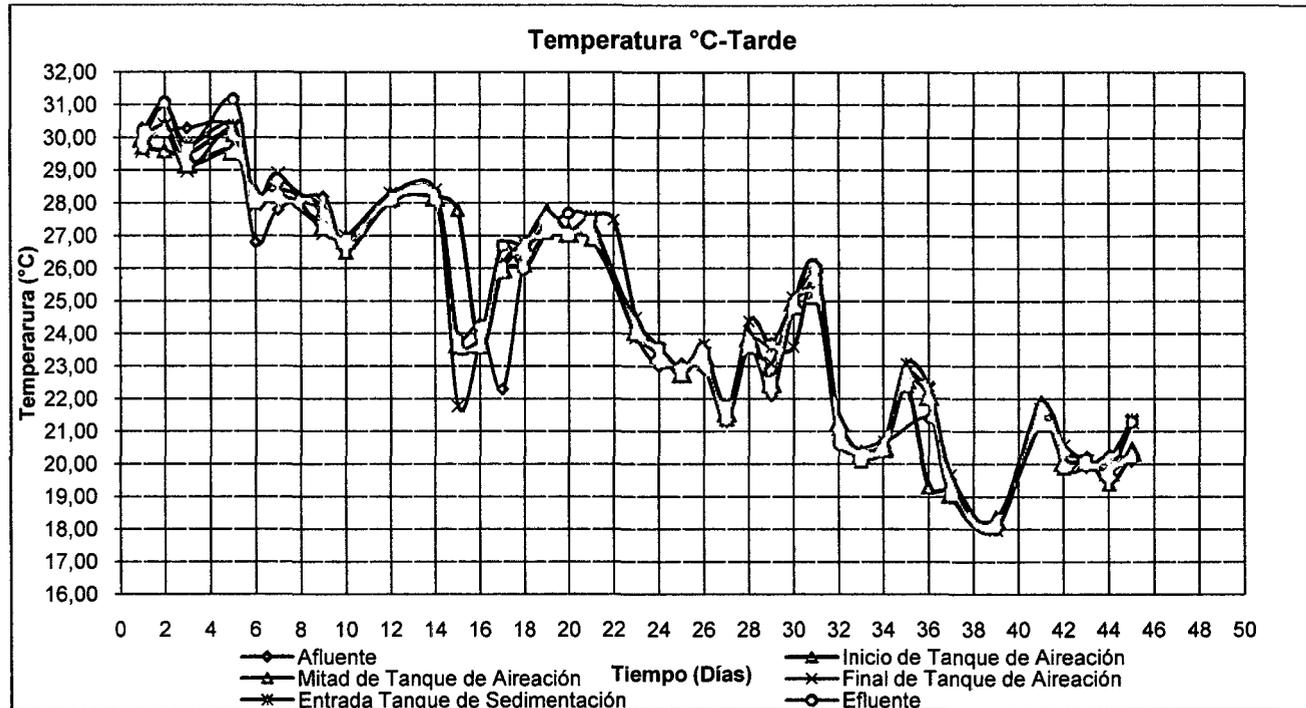
La Gráfica muestra valores de temperatura que se realizaron durante las mañanas, durante todo el periodo que se realizó la investigación, lo cual se muestra que va bajando la temperatura, ya que se empezó en verano ya se concluyo a inicios del invierno.



En la presente Gráfica N°7.113, se pueden observar los valores de temperatura, en los seis puntos monitoreados durante el medio día, en lo cual apreciamos, que durante los primeros 30 días se monitoreo con desagüe doméstico, y los siguientes días ya con adición del lixiviado, donde se puede apreciar que el sistema opero desde temperaturas de 30 y hasta 18 °C, por lo cual podremos decir que es una temperatura adecuada para el buen desarrollo de los microorganismos que se desarrollan dentro del tanque de aireación

Gráfico N° 7.113: Valores de Temperatura, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Medio Día)

La Gráfica muestra valores de temperatura que se realizaron durante el medio día, durante todo el periodo que se realizó la investigación, lo cual se muestra que va bajando la temperatura, ya que se empezó en verano ya se concluyo a inicios del invierno.



En la presente Gráfica N° 7.114, se pueden observar los valores de temperatura, en los seis puntos monitoreados durante las tardes, en lo cual apreciamos, que durante los primeros 30 días se monitoreo con desagüe doméstico, y los siguientes días ya con adición del lixiviado, donde se puede apreciar que el sistema opero desde temperaturas de 31 y hasta 19 °C, por lo cual podremos decir que es una temperatura adecuada para el buen desarrollo de los microorganismos que se desarrollan dentro del tanque de aireación

Gráfico N° 7.114: Valores de Temperatura, a la salida del Sistema de Tratamiento. (Tarde)

La Gráfica muestra valores de temperatura que se realizaron durante las tardes, durante todo el periodo que se realizó la investigación, lo cual se muestra que va bajando la temperatura, ya que se empezó en verano ya se concluyo a inicios del invierno.

7.10 RESULTADOS DIARIOS DE TEMPERATURA

A continuación presentaremos los gráficos de Temperatura, en una forma más detallada, obtenido diariamente durante el proceso de tratamiento que se llevo en el Sistema Piloto. Cabe destacar que los monitoreos de Temperatura se realizaron tres veces al día (Mañana, Medio Día, Tarde), y se realizaron en todos los puntos de monitoreo, mostrados en la Fotografía N° 7.3.

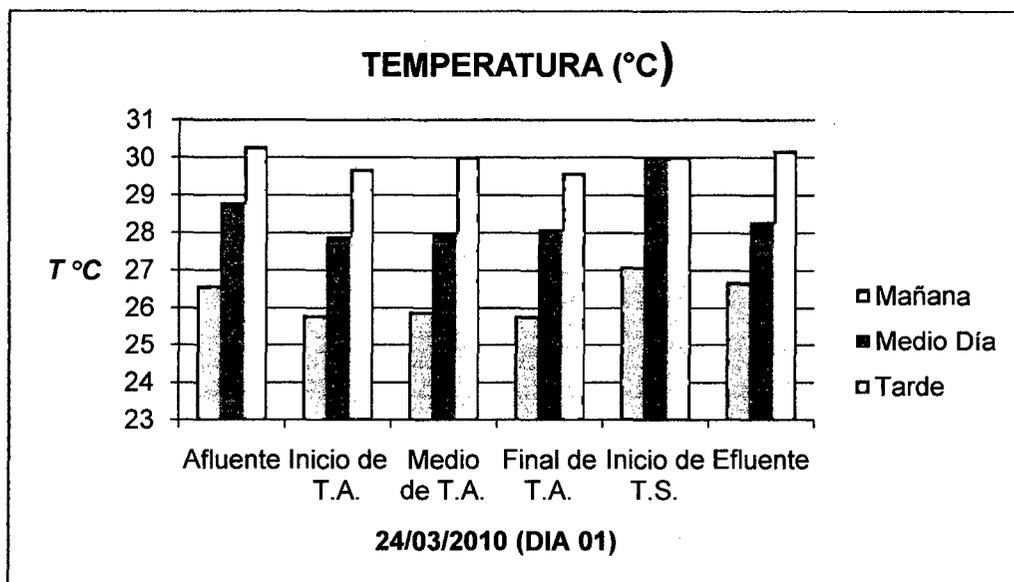


Gráfico N° 7.115: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

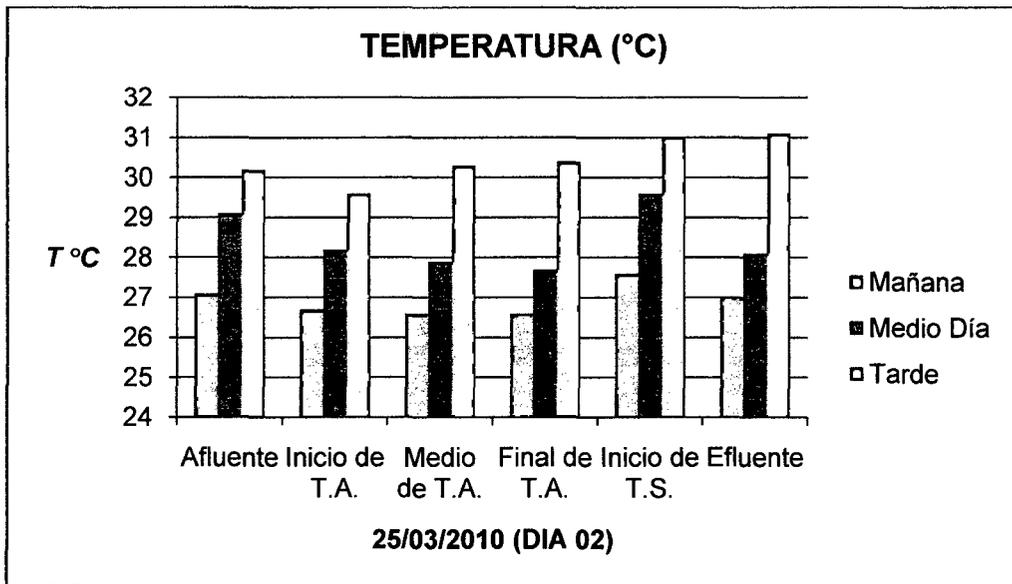


Gráfico N° 7.116: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

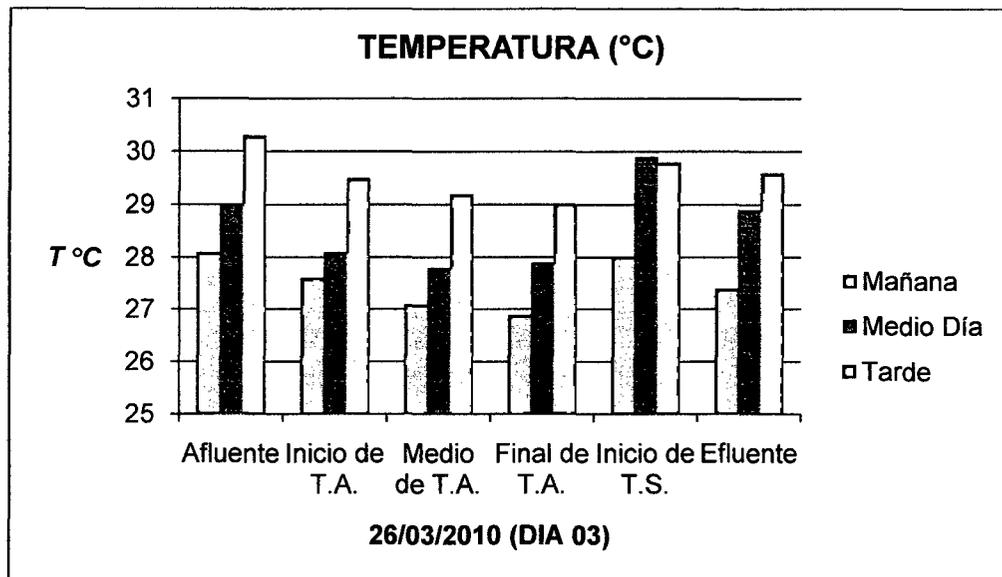


Gráfico N° 7.117: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

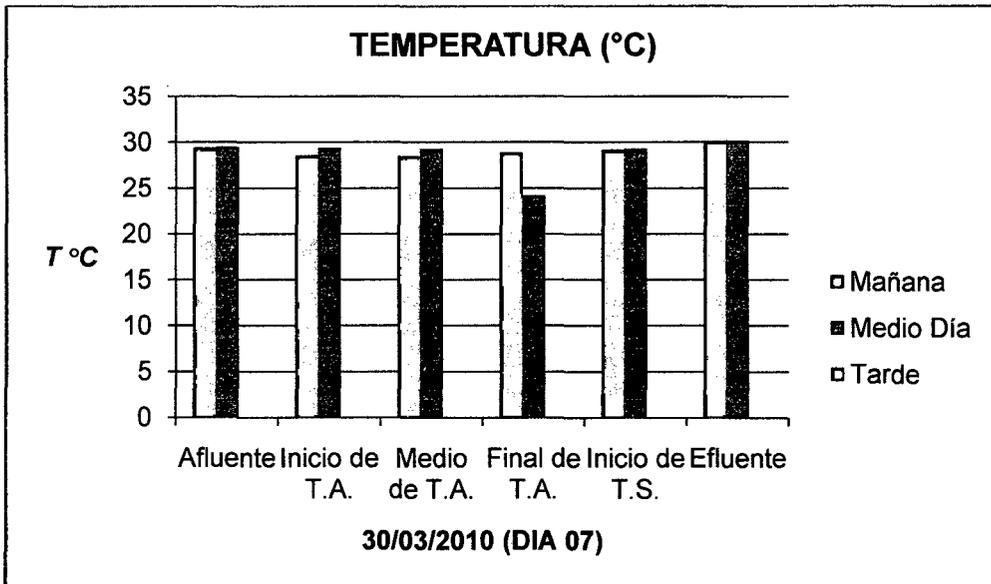


Gráfico N° 7.118: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

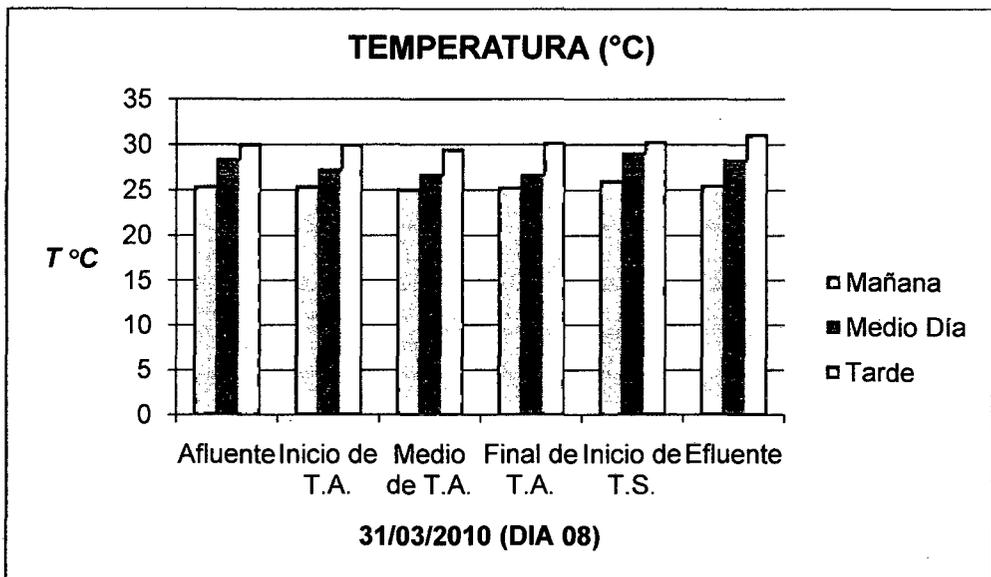


Gráfico N° 7.119: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

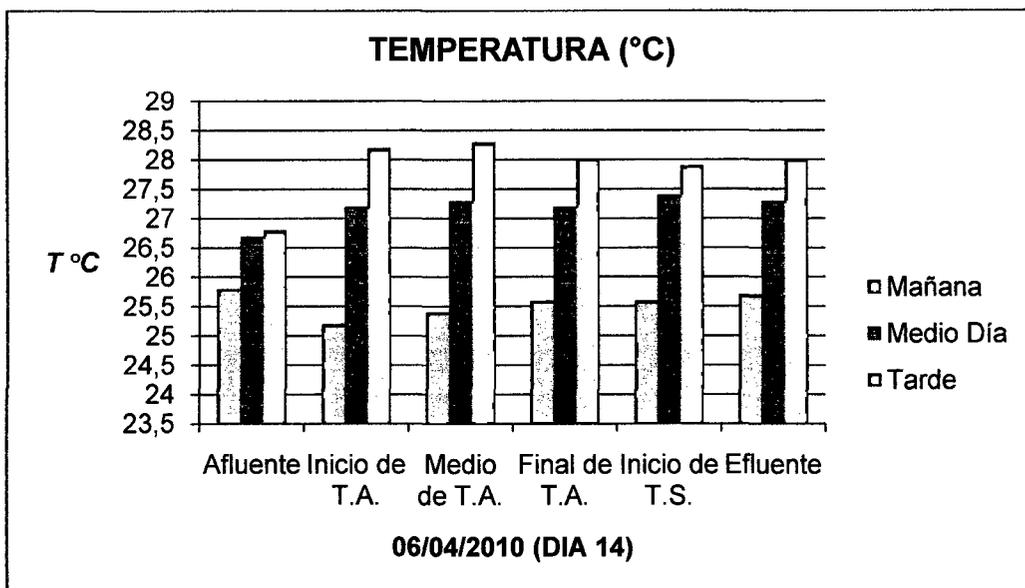


Gráfico N° 7.120: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

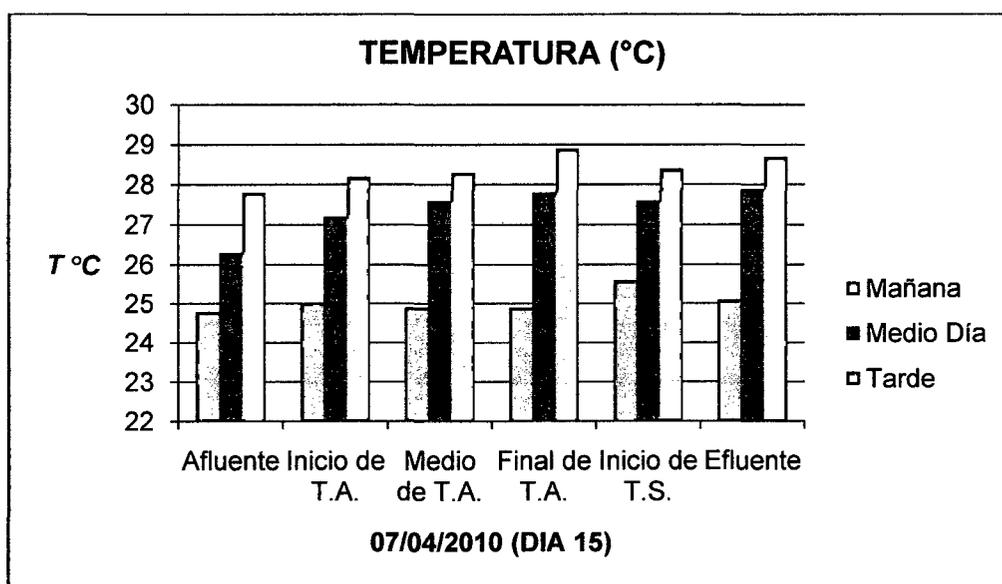


Gráfico N° 7.121: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

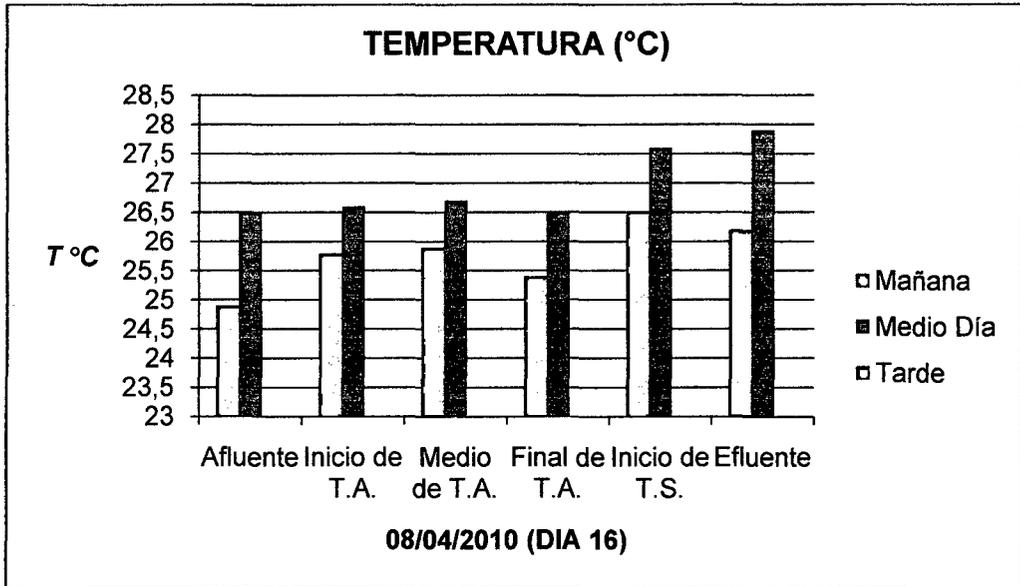


Gráfico N° 7.122: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

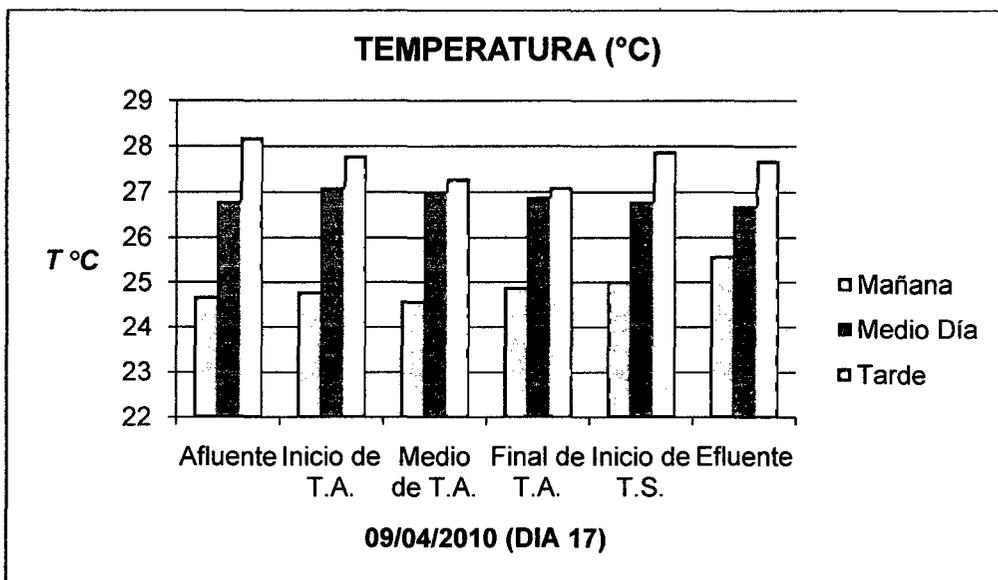


Gráfico N° 7.123: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

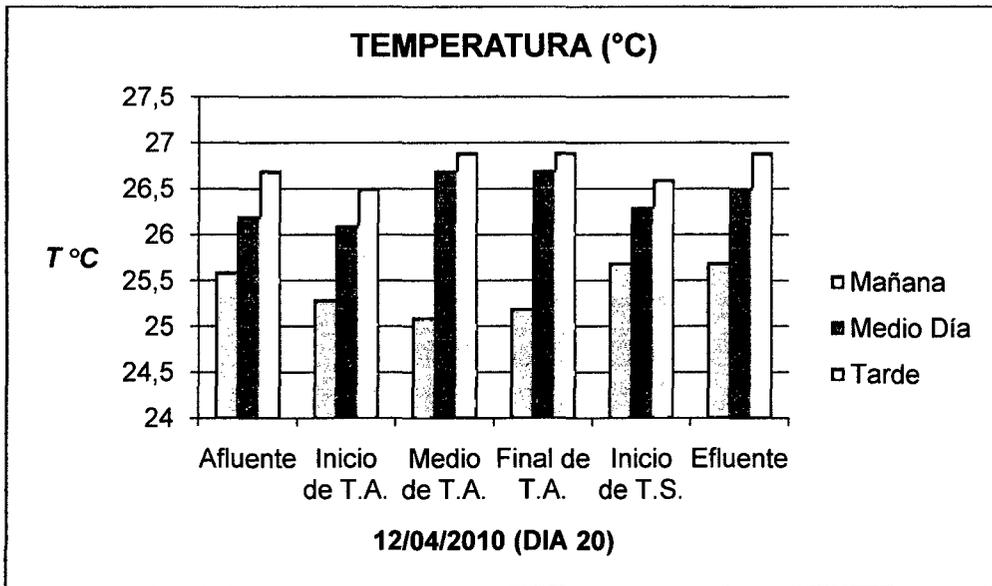


Gráfico N° 7.124: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

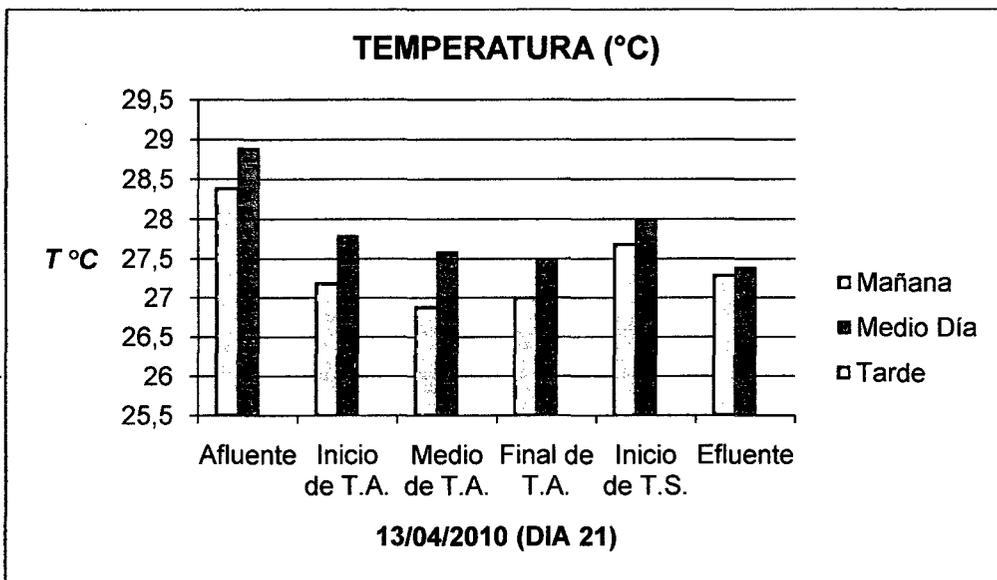


Gráfico N° 7.125: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

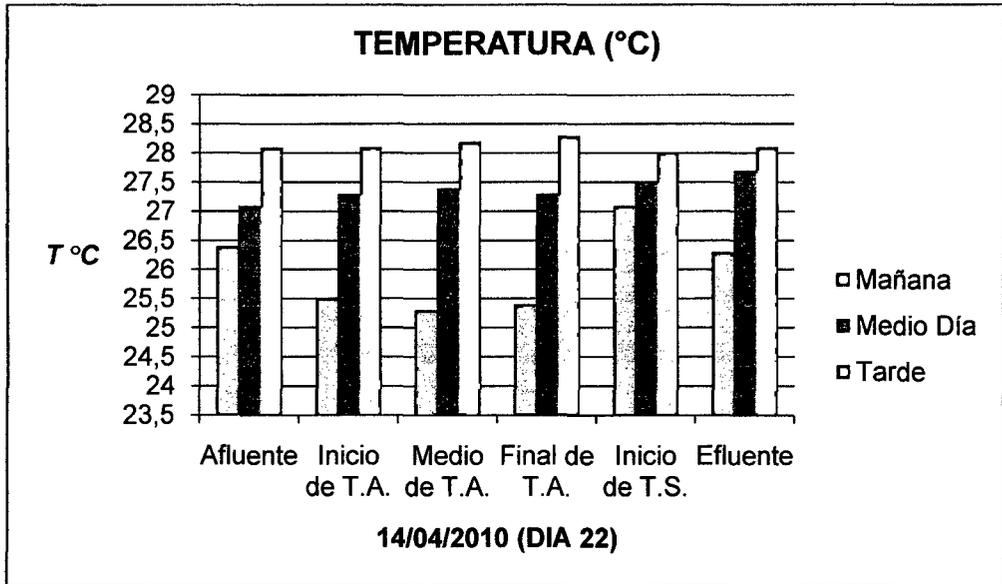


Gráfico N° 7.126: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

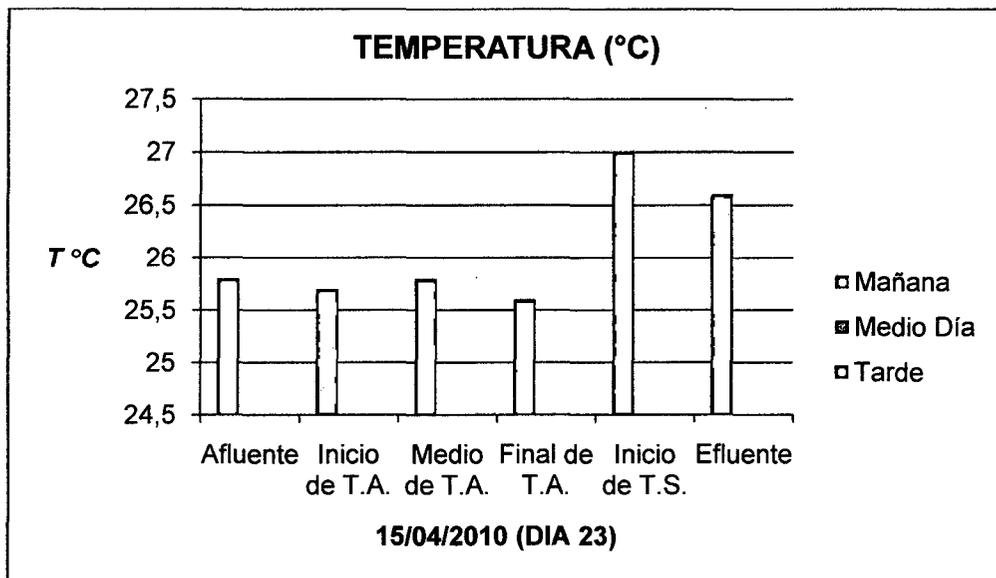


Gráfico N° 7.127: Variación de la Temperatura

En el gráfico se monitoreo solo durante la mañana, en lo cual podemos ver que la temperatura se mantiene mayor en la salida del sistema, esto debido al calor específico que tiene el agua.

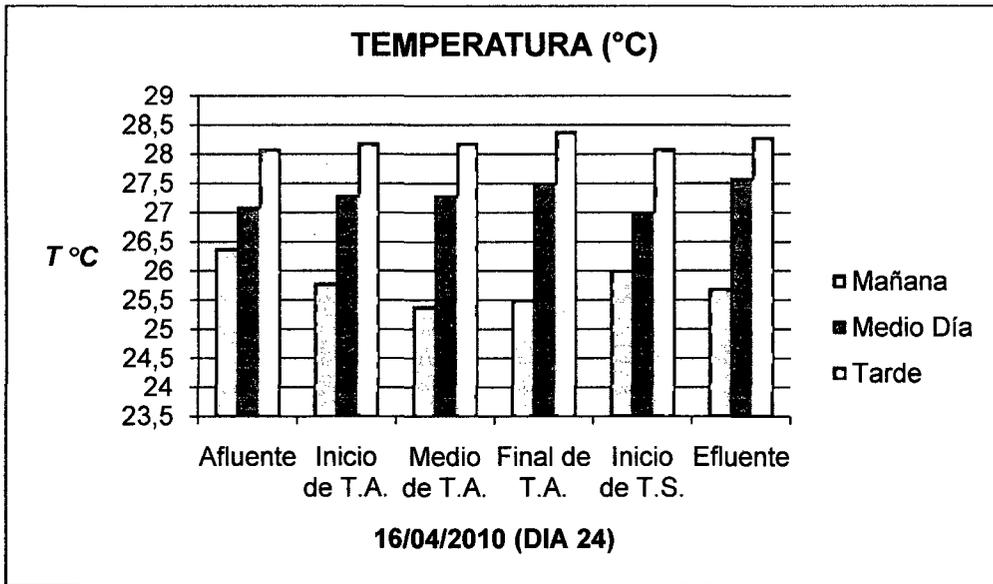


Gráfico N° 7.128: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

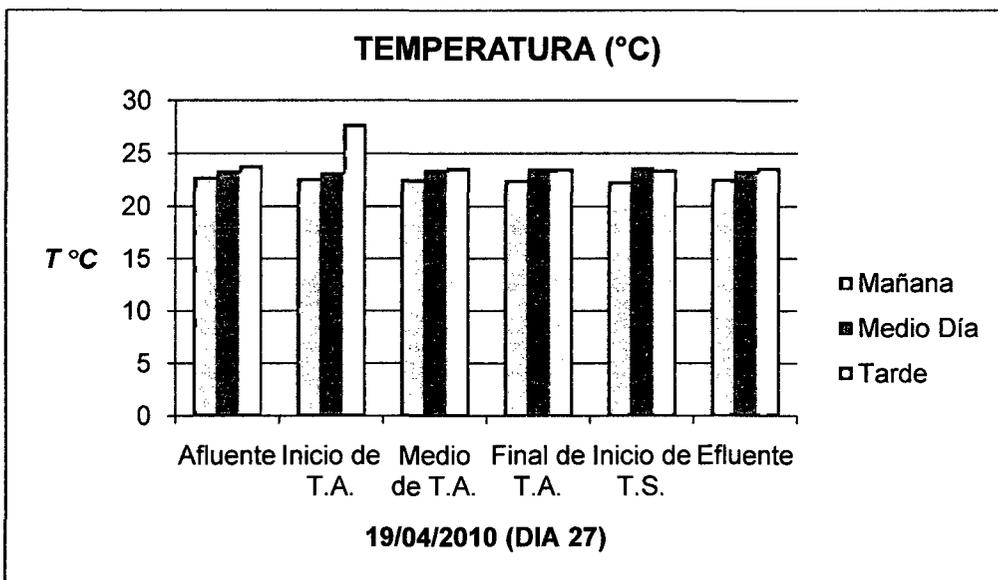


Gráfico N° 7.129: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

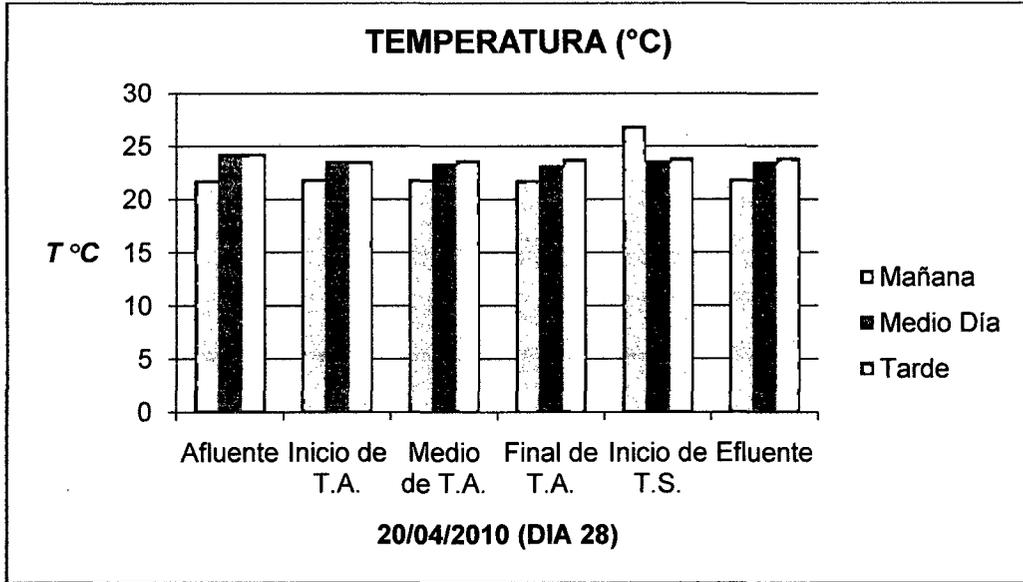


Gráfico N° 7.130: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

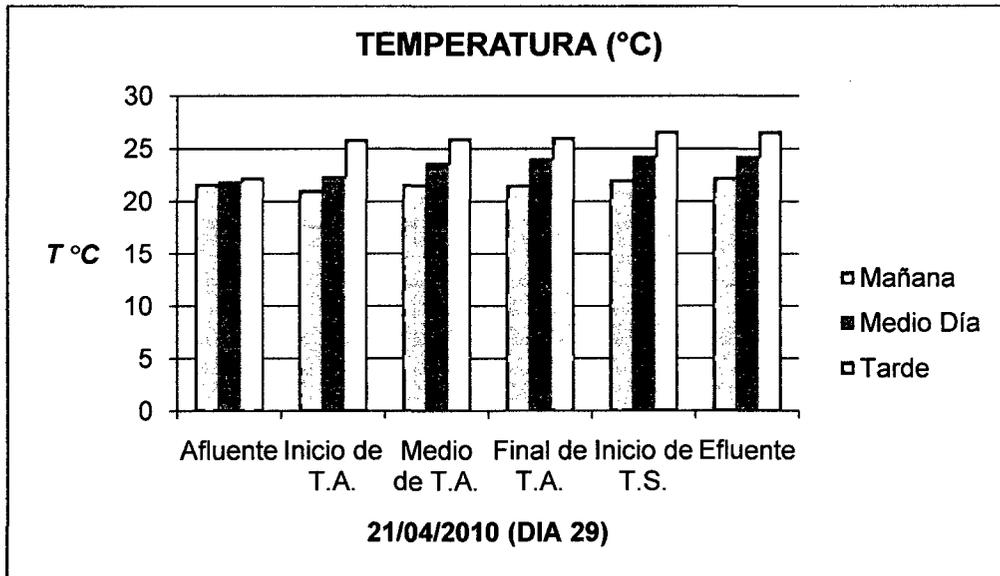


Gráfico N° 7.131: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

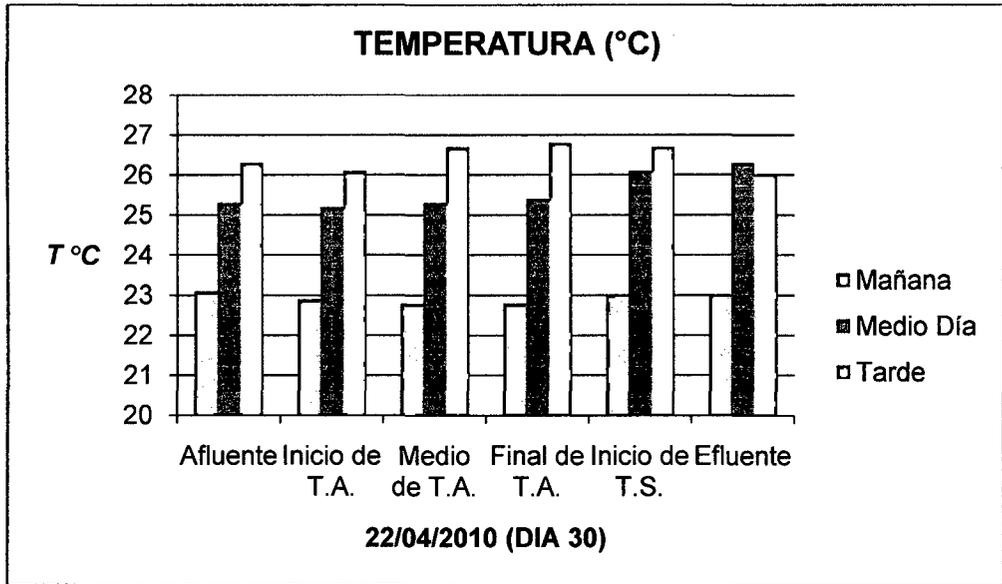


Gráfico N° 7.132: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

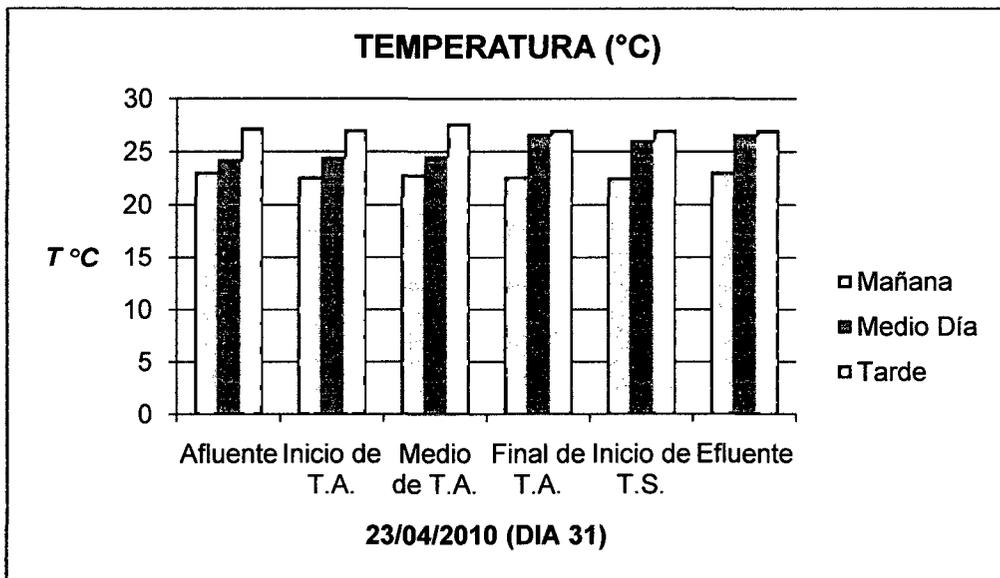


Gráfico N° 7.133: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

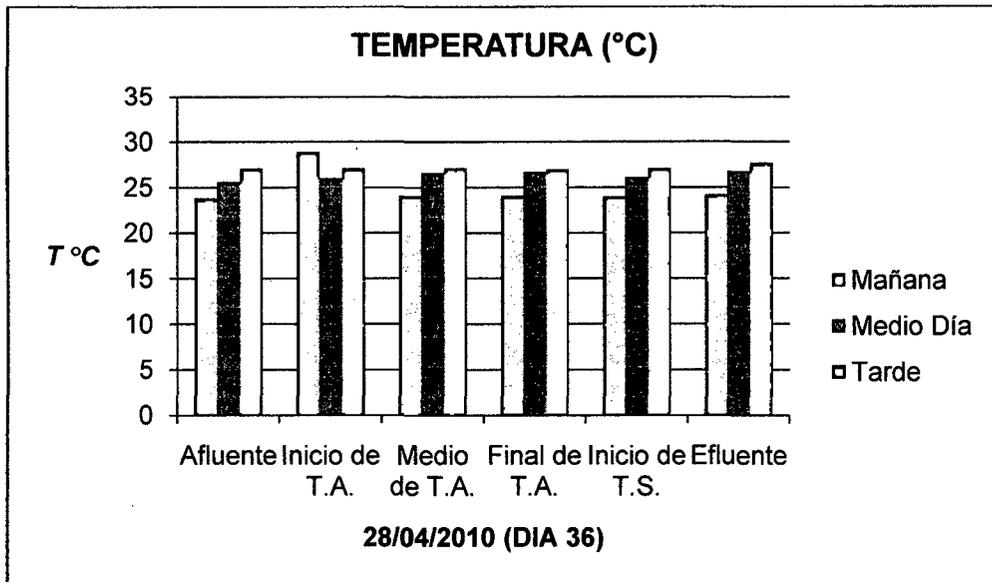


Gráfico N° 7.134: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

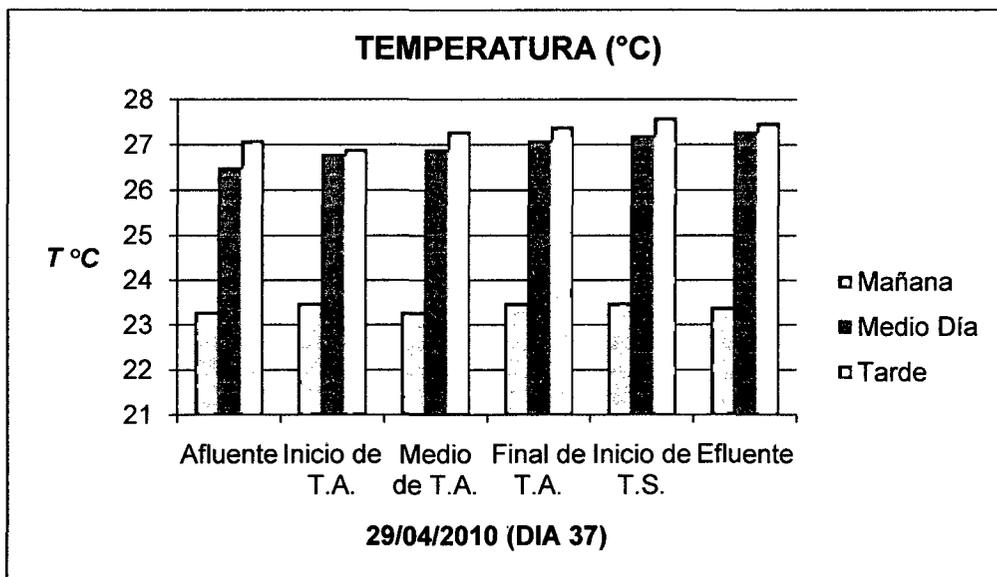


Gráfico N° 7.135: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

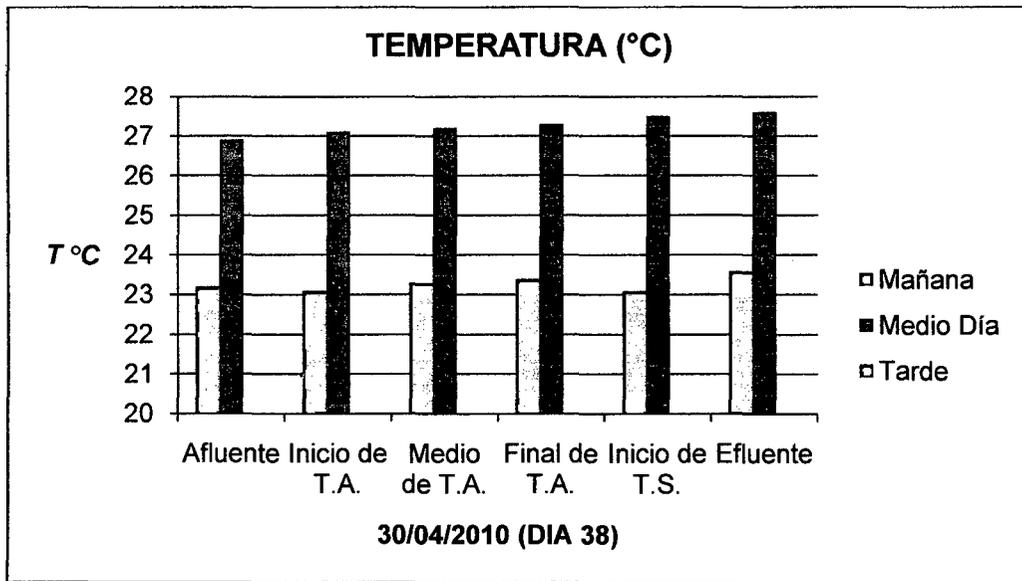


Gráfico N° 7.136: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

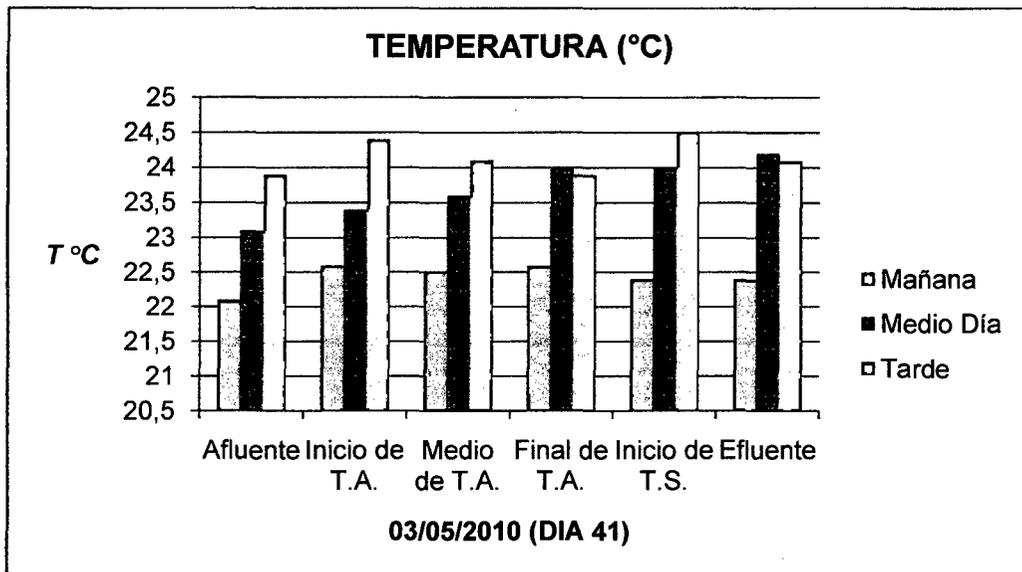


Gráfico N° 7.137: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

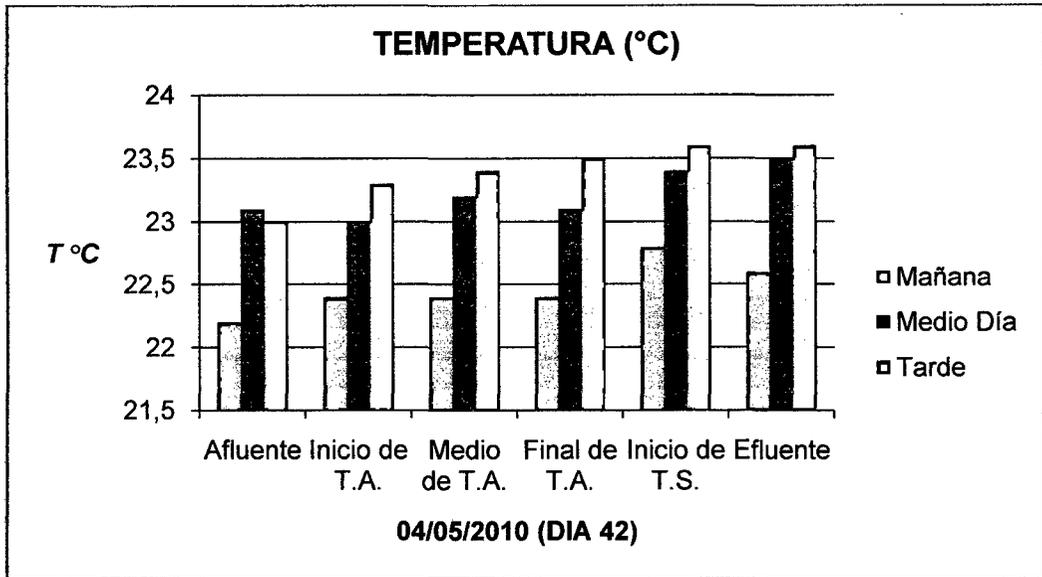


Gráfico N° 7.138: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

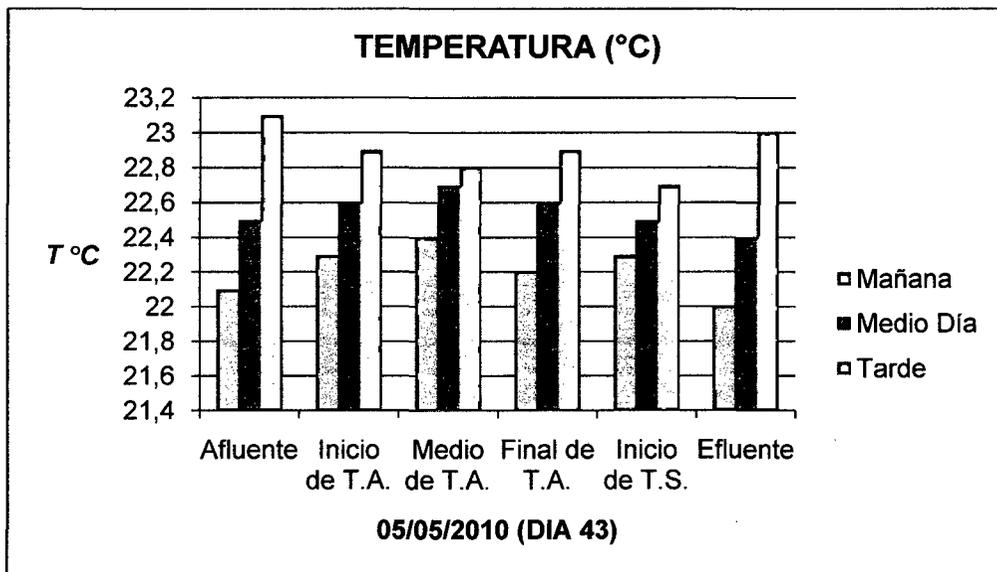


Gráfico N° 7.139: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

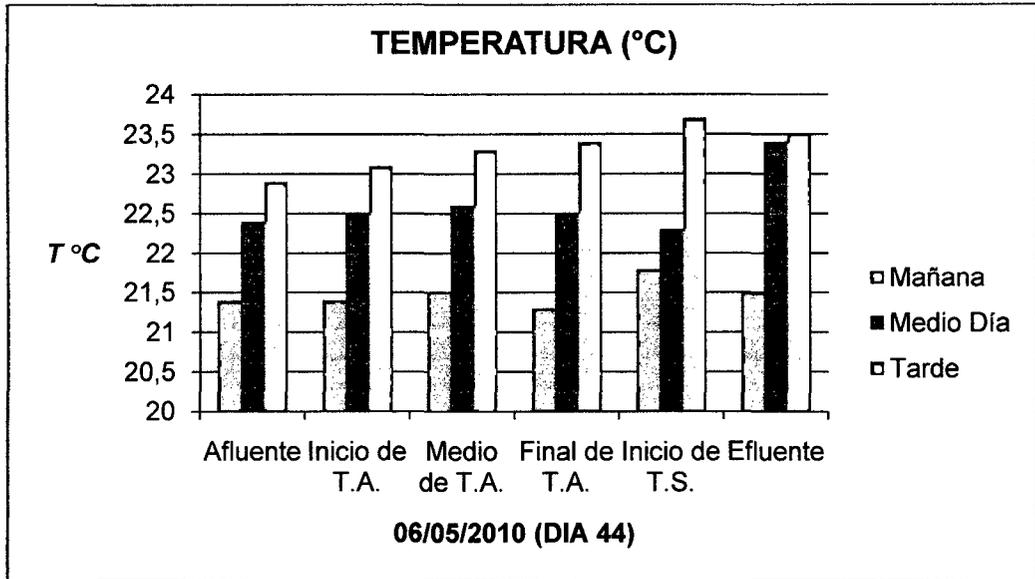


Gráfico N° 7.140: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

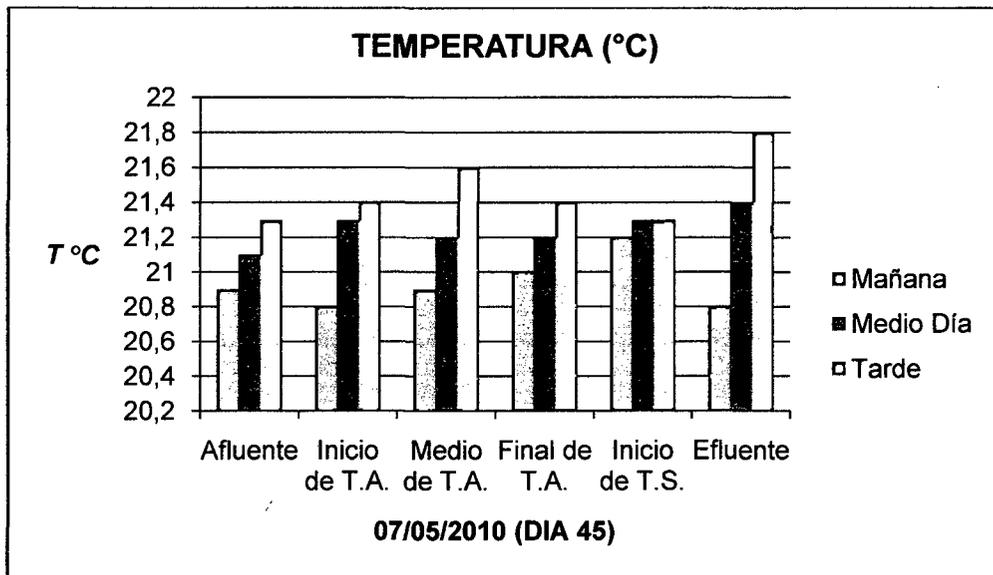


Gráfico N° 7.141: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

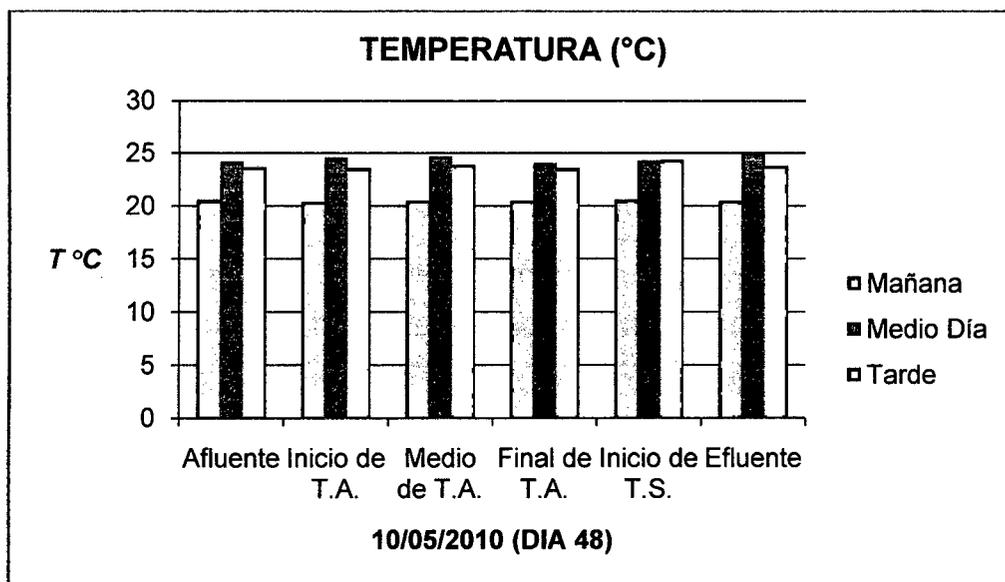


Gráfico N° 7.142: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

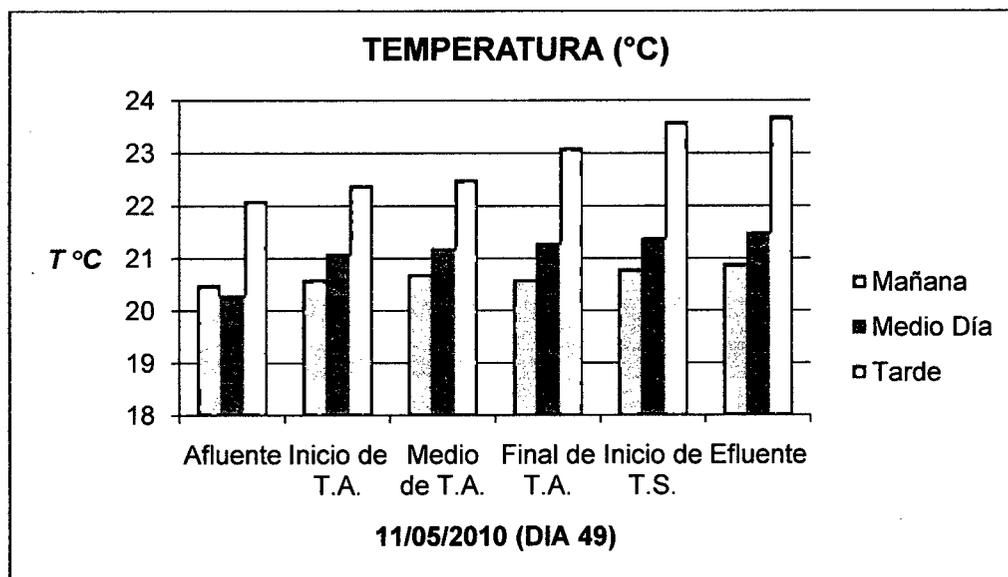


Gráfico N° 7.143: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

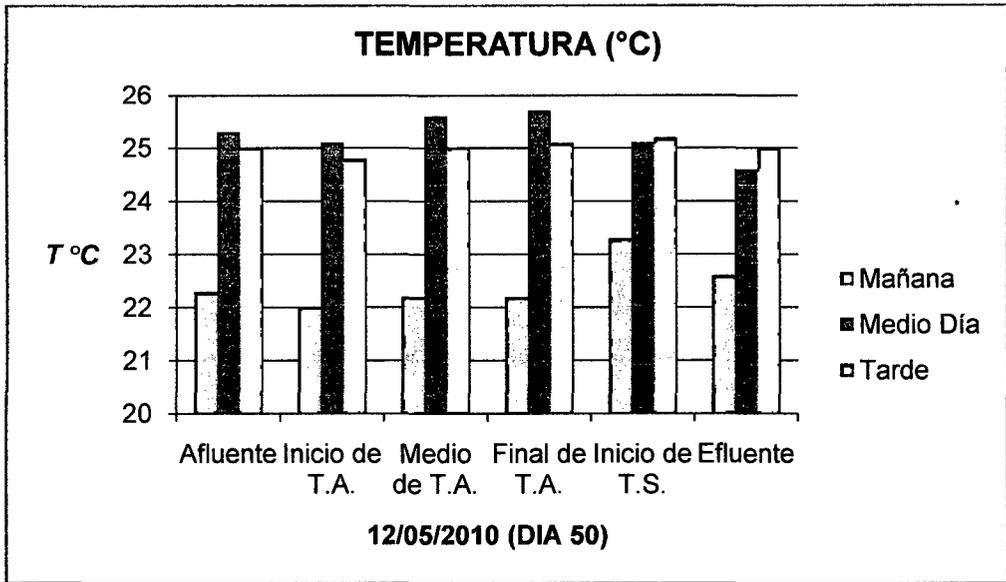


Gráfico N° 7.144: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

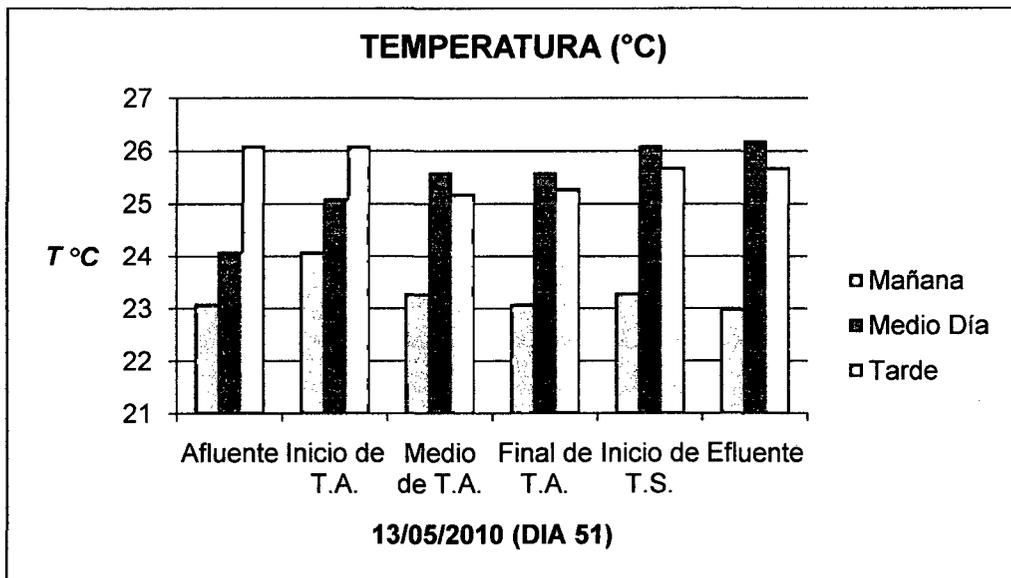


Gráfico N° 7.145: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

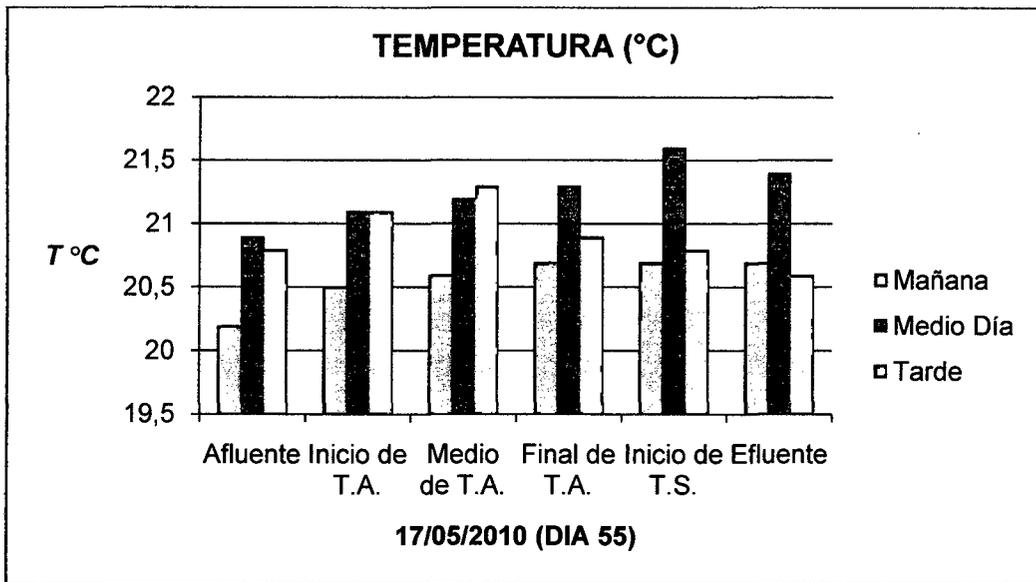


Gráfico N° 7.146: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

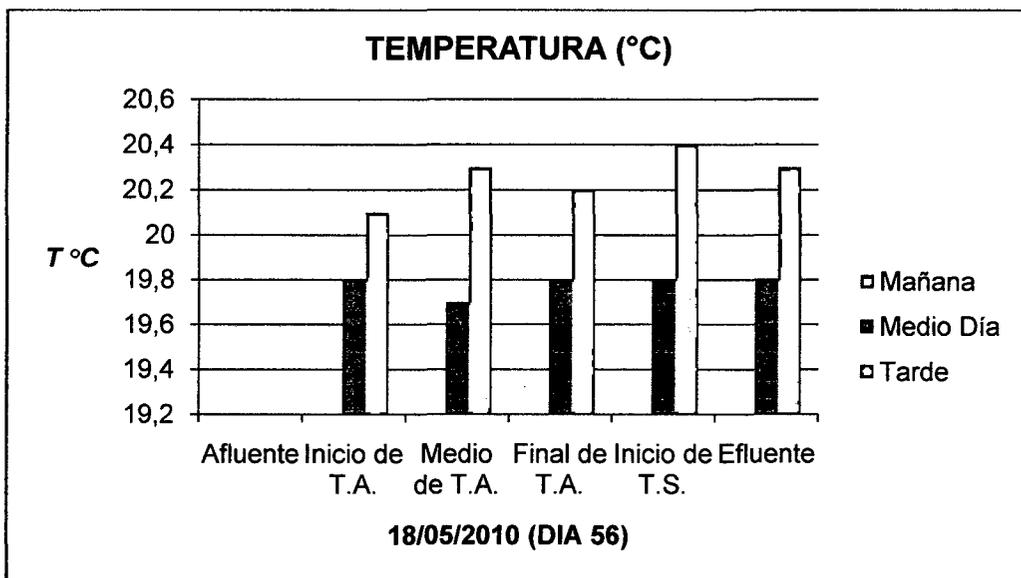


Gráfico N° 7.147: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

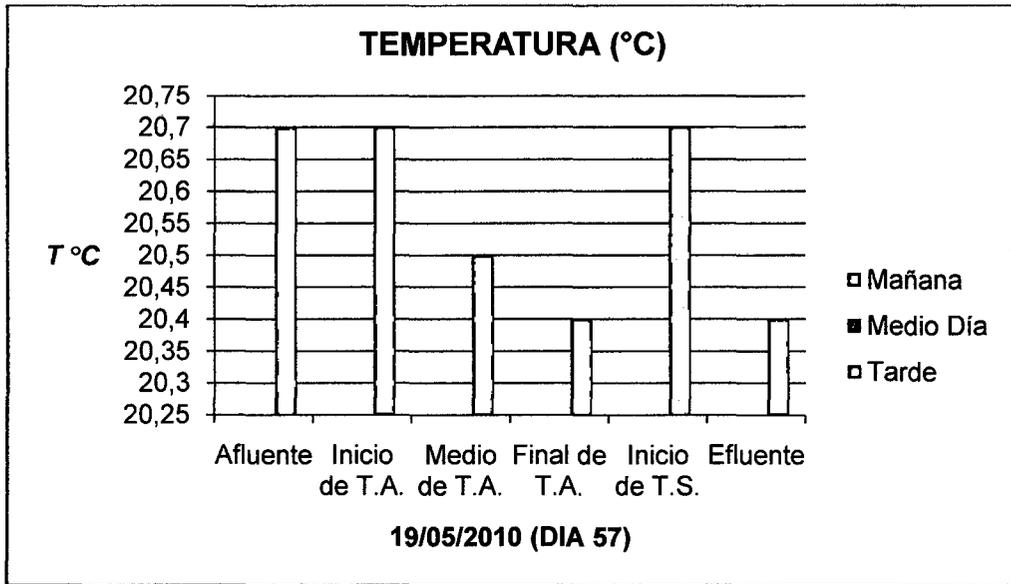


Gráfico N° 7.148: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

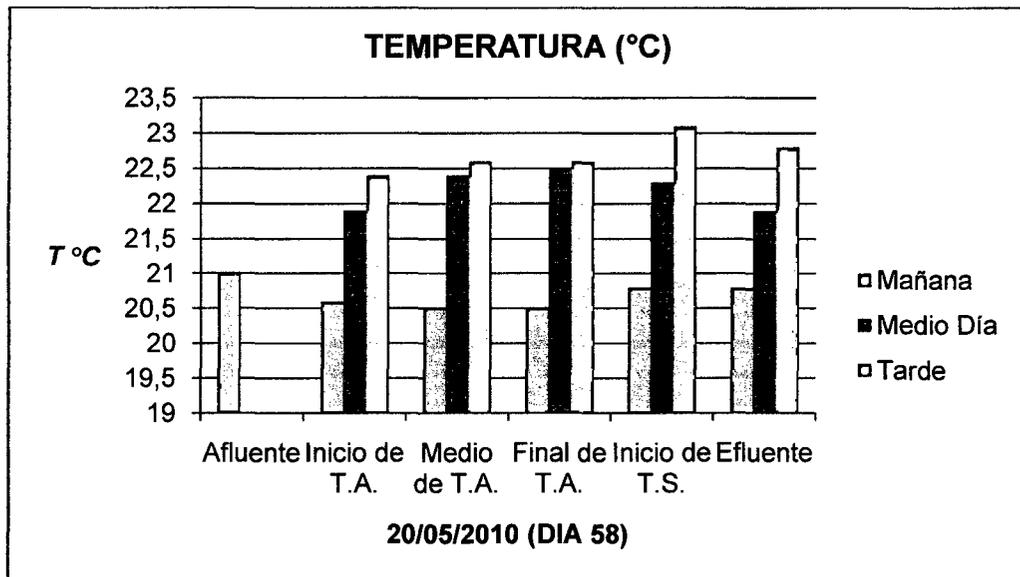


Gráfico N° 7.149: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

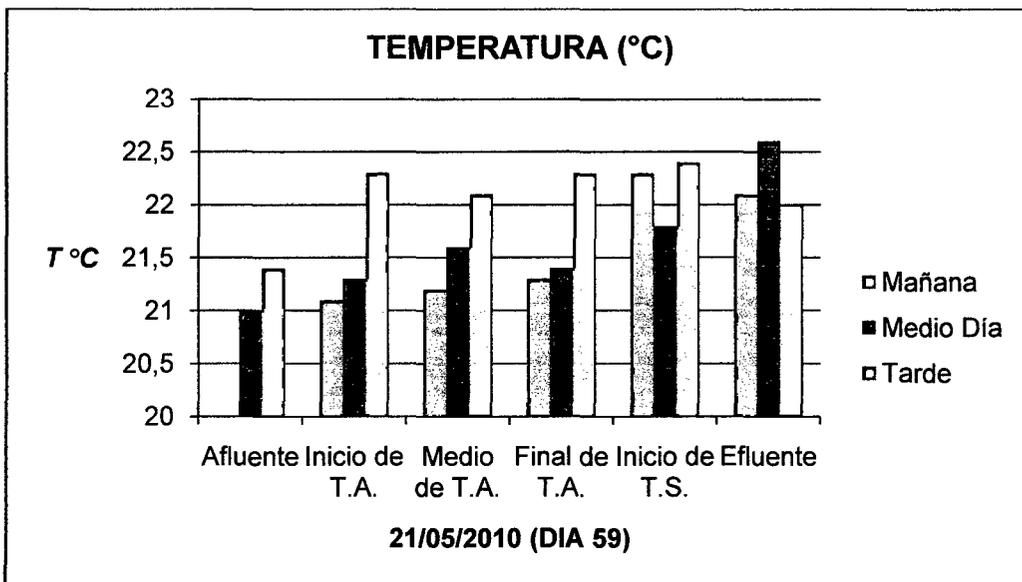


Gráfico N° 7.150: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

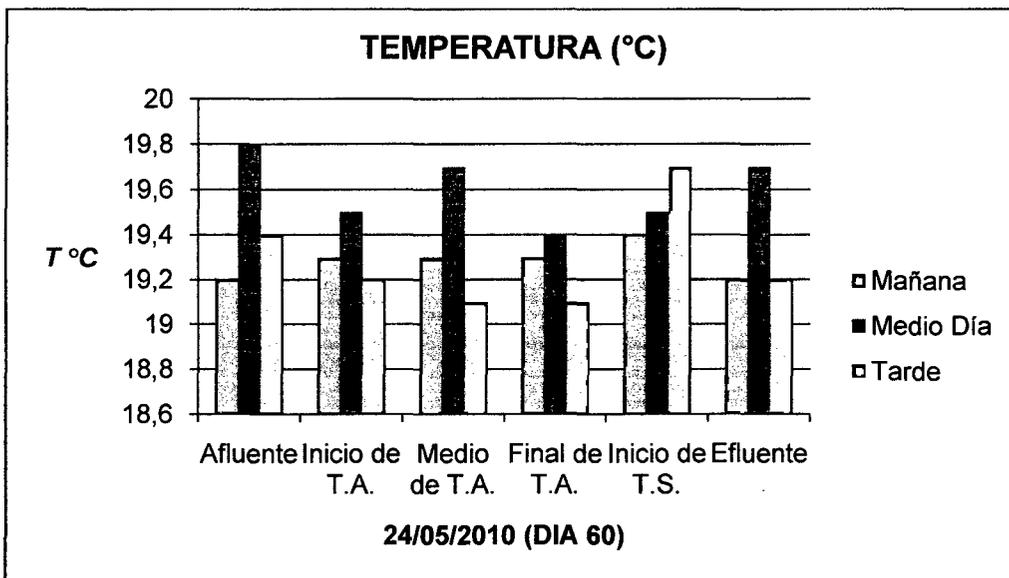


Gráfico N° 7.151: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

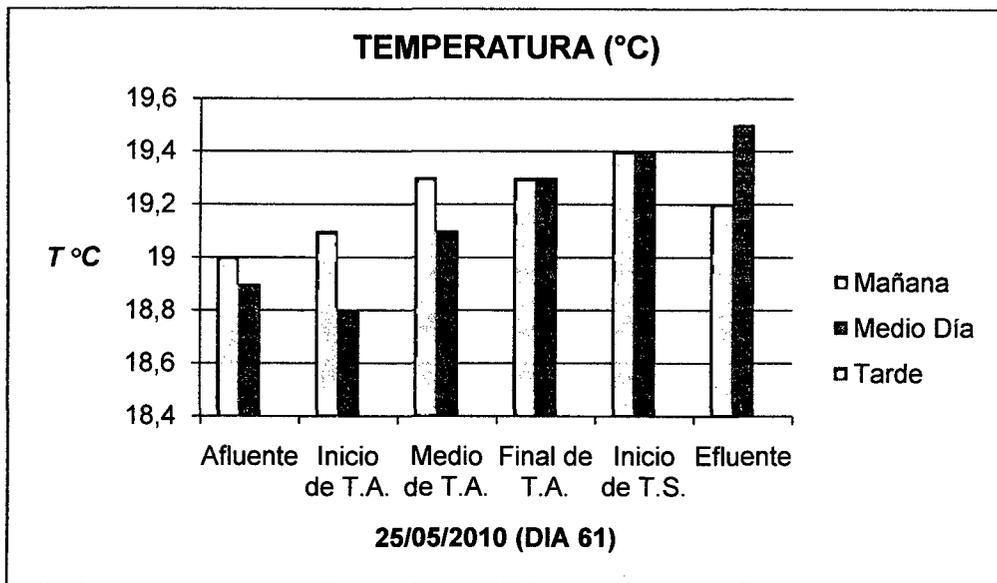


Gráfico N° 7.152: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

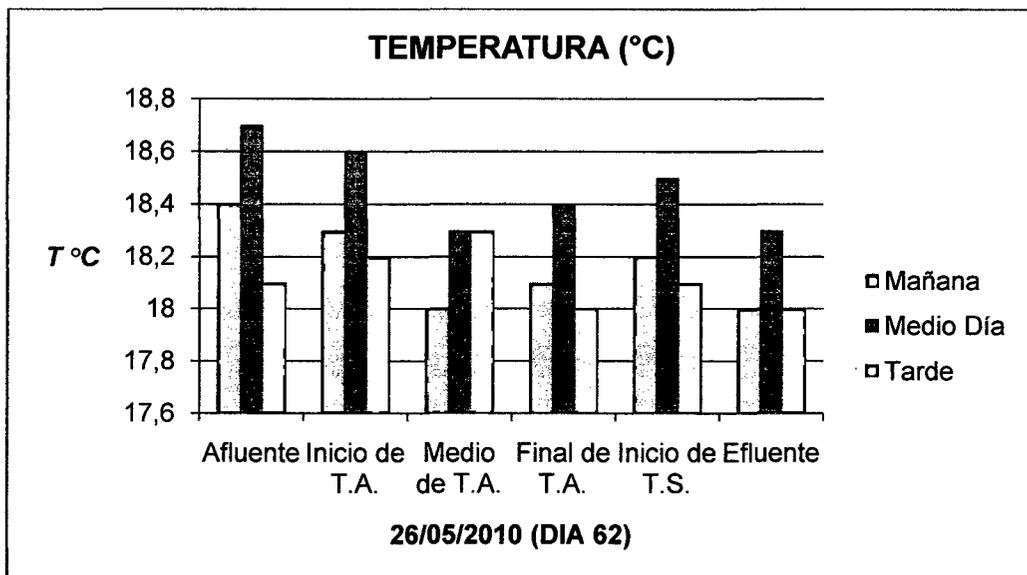


Gráfico N° 7.153: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

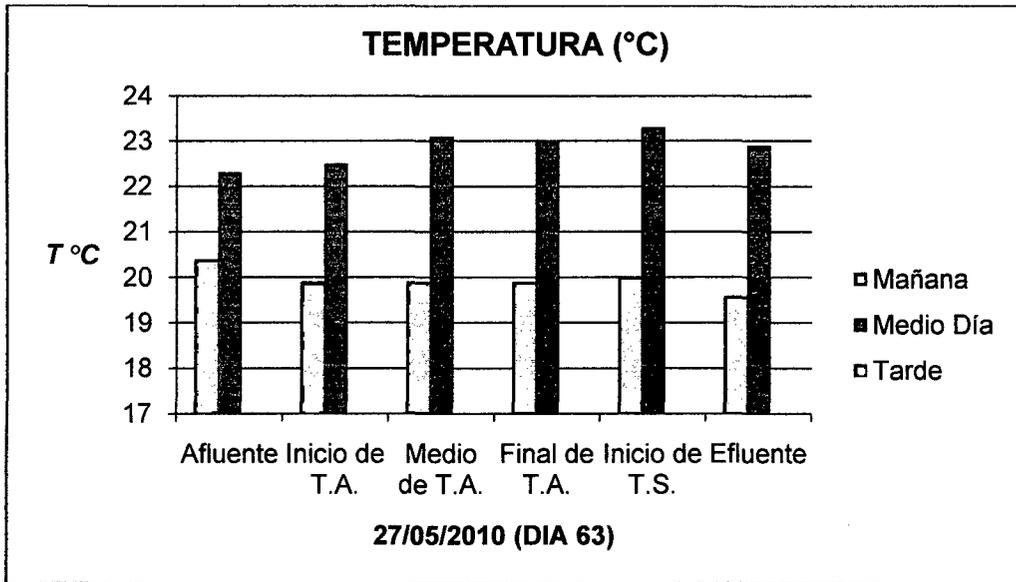


Gráfico N° 7.154: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

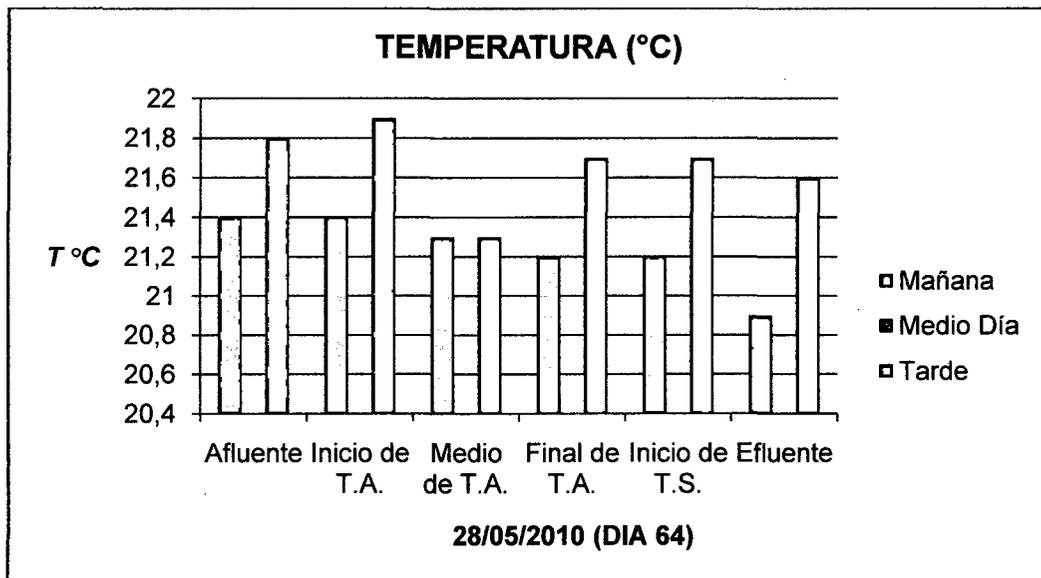


Gráfico N° 7.155: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

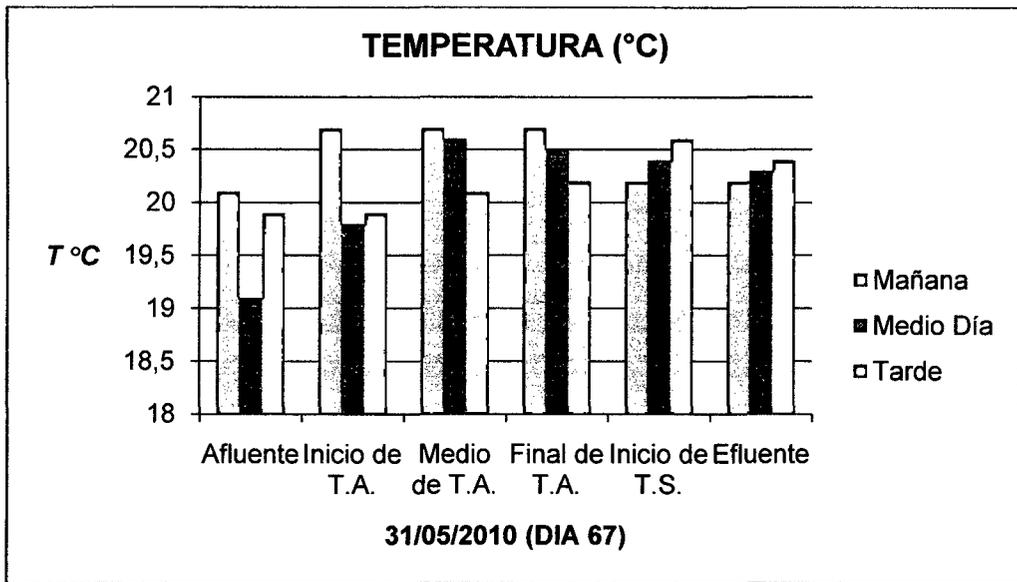


Gráfico N° 7.156: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

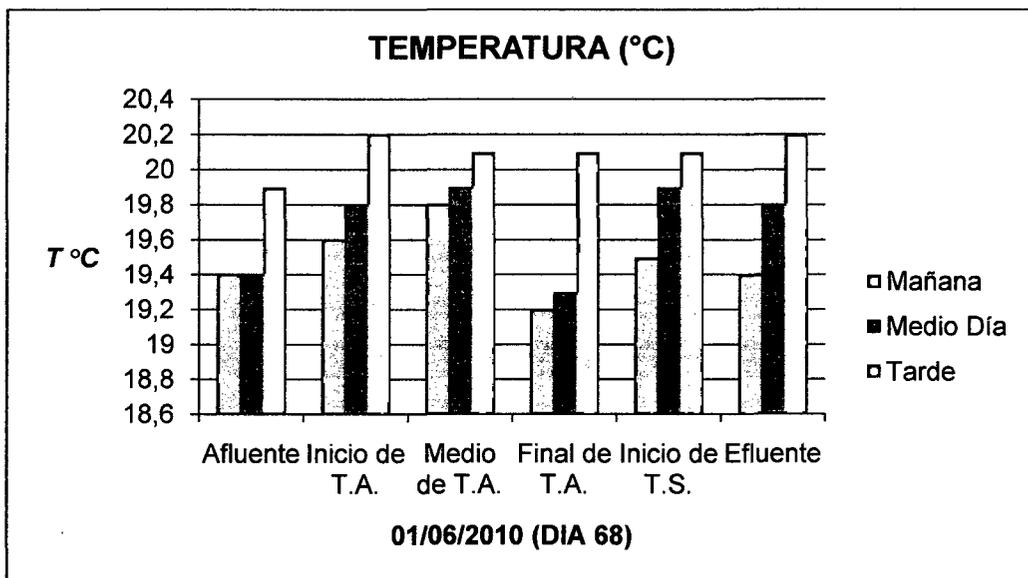


Gráfico N° 7.157: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

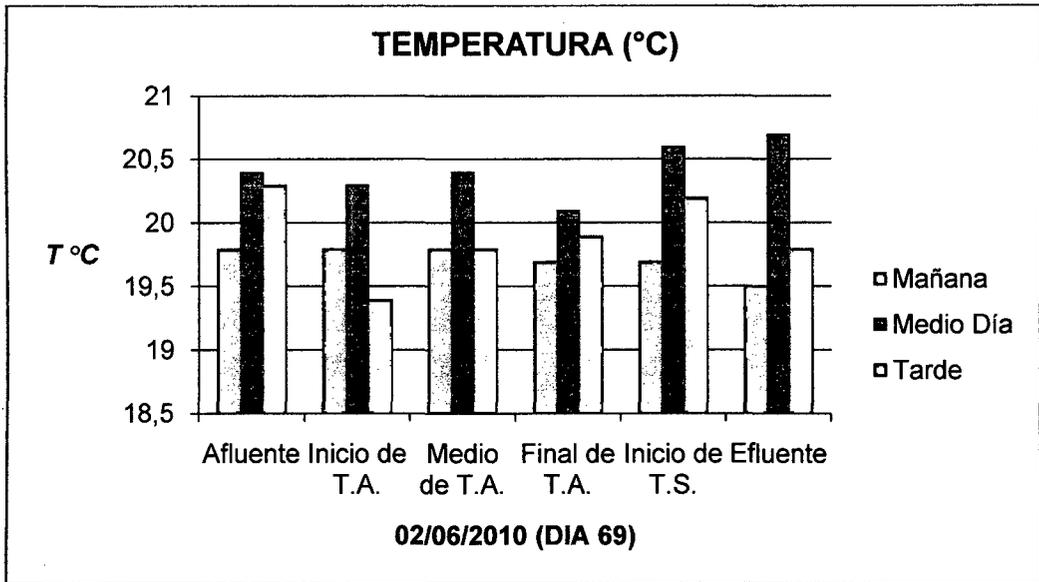


Gráfico N° 7.158: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

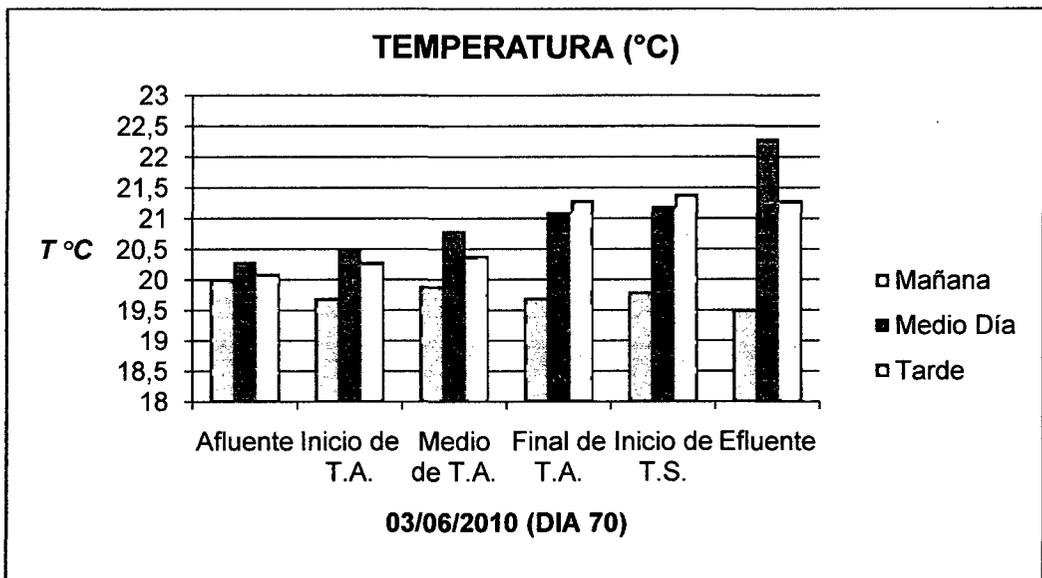


Gráfico N° 7.159: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

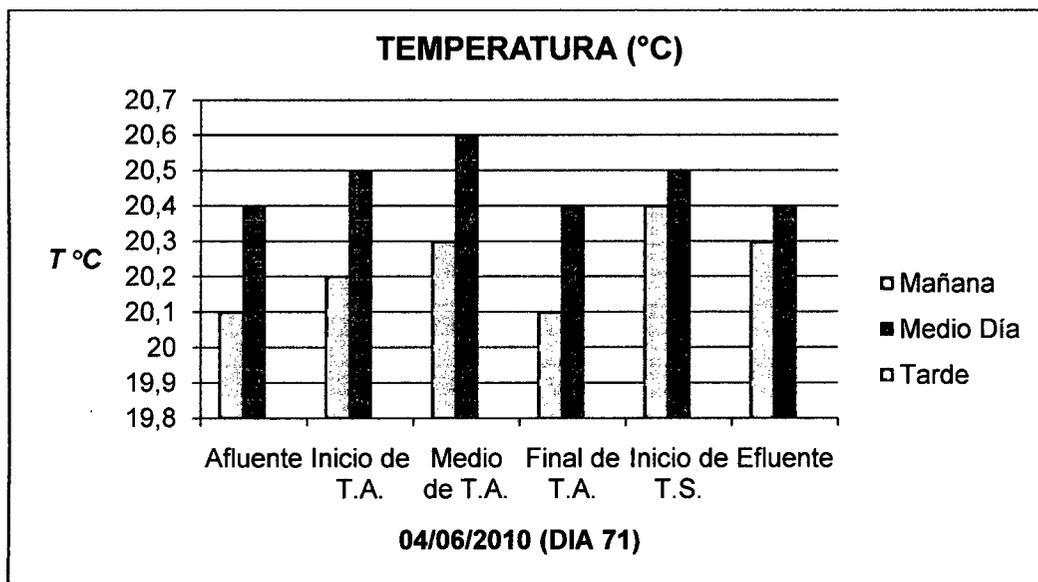


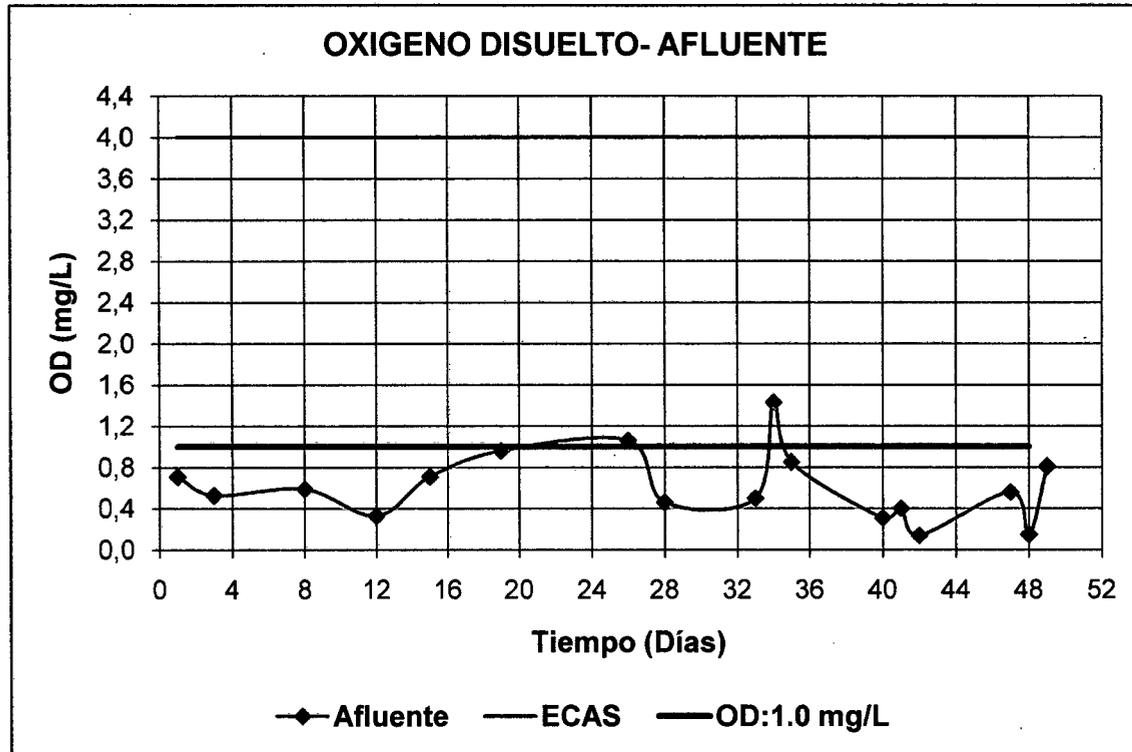
Gráfico N° 7.160: Variación de la Temperatura

En el gráfico se puede apreciar que la temperatura dentro del sistema va aumentando durante el día, debido principalmente a fuentes de calor como el sol, que ayuda a elevar durante el día la temperatura dentro de los tanques de aireación y sedimentación.

Durante las mediciones de temperatura, dentro del sistema se puede concluir que los van desde 20 a 27°C, este valor es óptimo y ofrecen buenas condiciones para que los microorganismos se desarrollen de manera óptima dentro del tanque de aireación.

7.11 RESULTADOS DE MEDICIONES DE OXIGENO DISUELTO

Durante la presente investigación se realizó la medición de la cantidad de oxígeno disuelto presente en el afluente (desagüe + lixiviado), tanque de aireación y tanque de sedimentación, para definir y verificar el comportamiento de este parámetro en el Sistema de Tratamiento.



En la presente Gráfica N° 7.161, se puede mostrar los valores de oxígeno disuelto que tiene el desagüe crudo y con lixiviado, estos valores son menores a 1, lo cual nos indica que se trata de un desagüe.

Gráfico N° 7.161: Oxígeno Disuelto en el Afluente

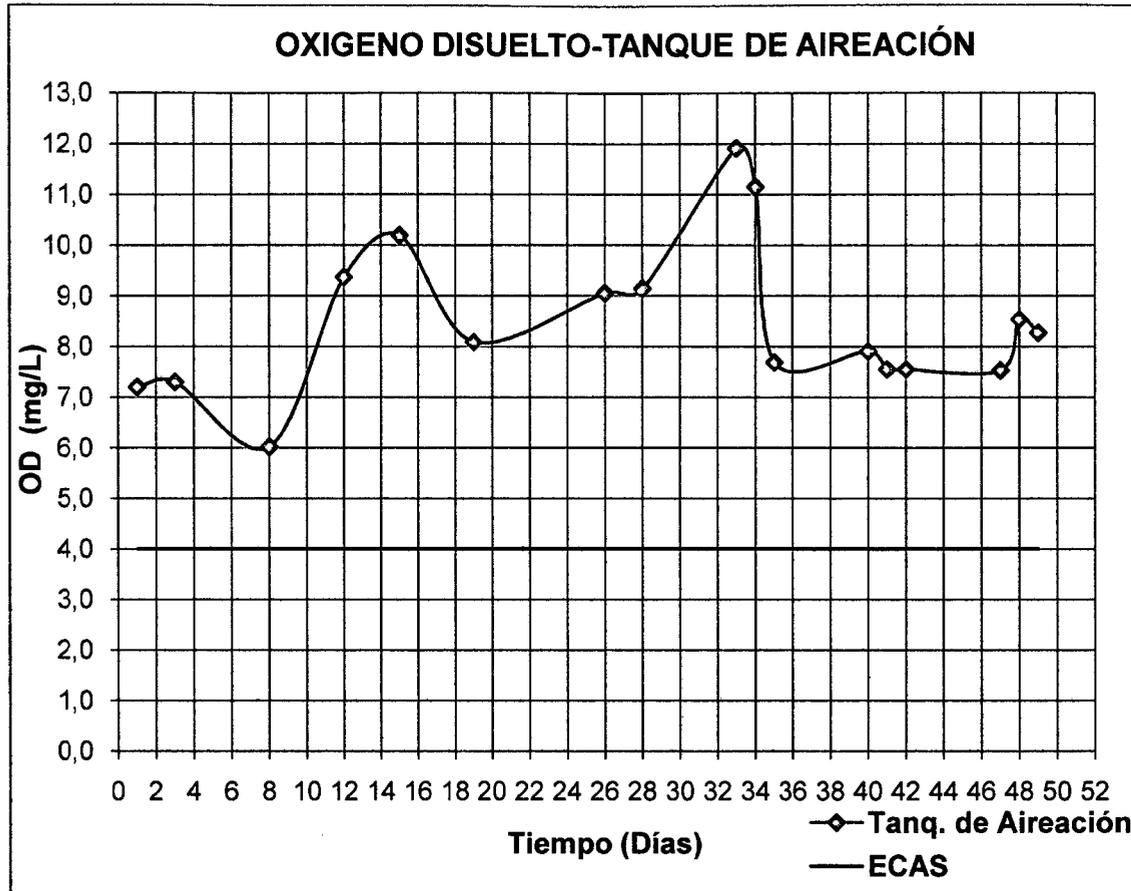
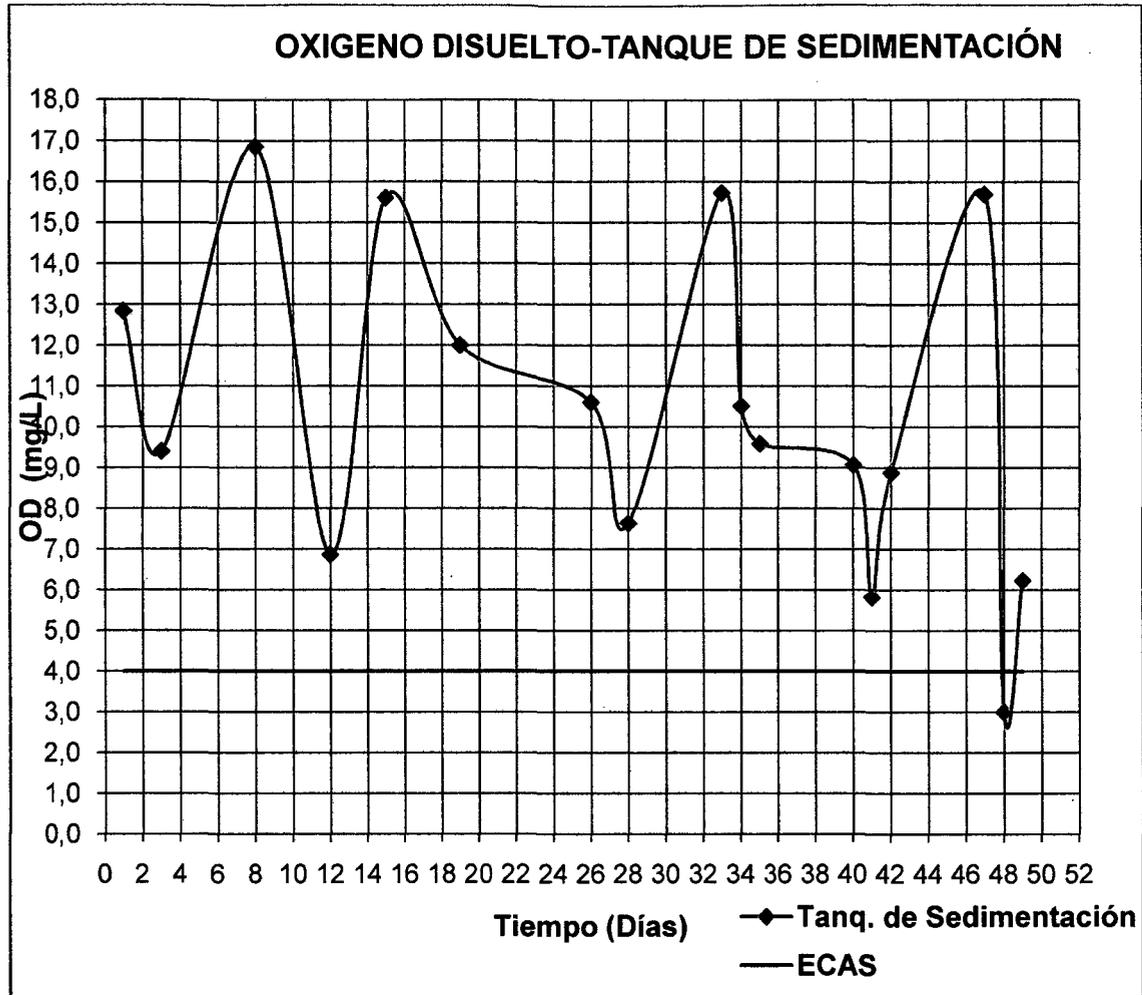


Gráfico N° 7.162: Oxígeno Disuelto en el Tanque de Aireación

En la presente Gráfica N°7.162, se puede mostrar los valores de oxígeno disuelto que tiene el tanque de aireación, como se podrá ver la buena aireación nos permite saturar el tanque, como se verá los resultados se encuentran desde 6 hasta 12 mg/L, de oxígeno disuelto.



En la presente Gráfica N°7.163, se puede mostrar los valores de oxígeno disuelto que tiene el tanque de sedimentación, como se podrá ver la buena aireación nos permite saturar el tanque, como se verá los resultados se encuentran desde 6 hasta 17 mg/L, de oxígeno disuelto, este incremento mayor al mostrado en el tanque de aireación es debido a la presencia de algas dentro del tanque.

Gráfico N° 7.163: Oxígeno Disuelto en el Tanque de Aireación

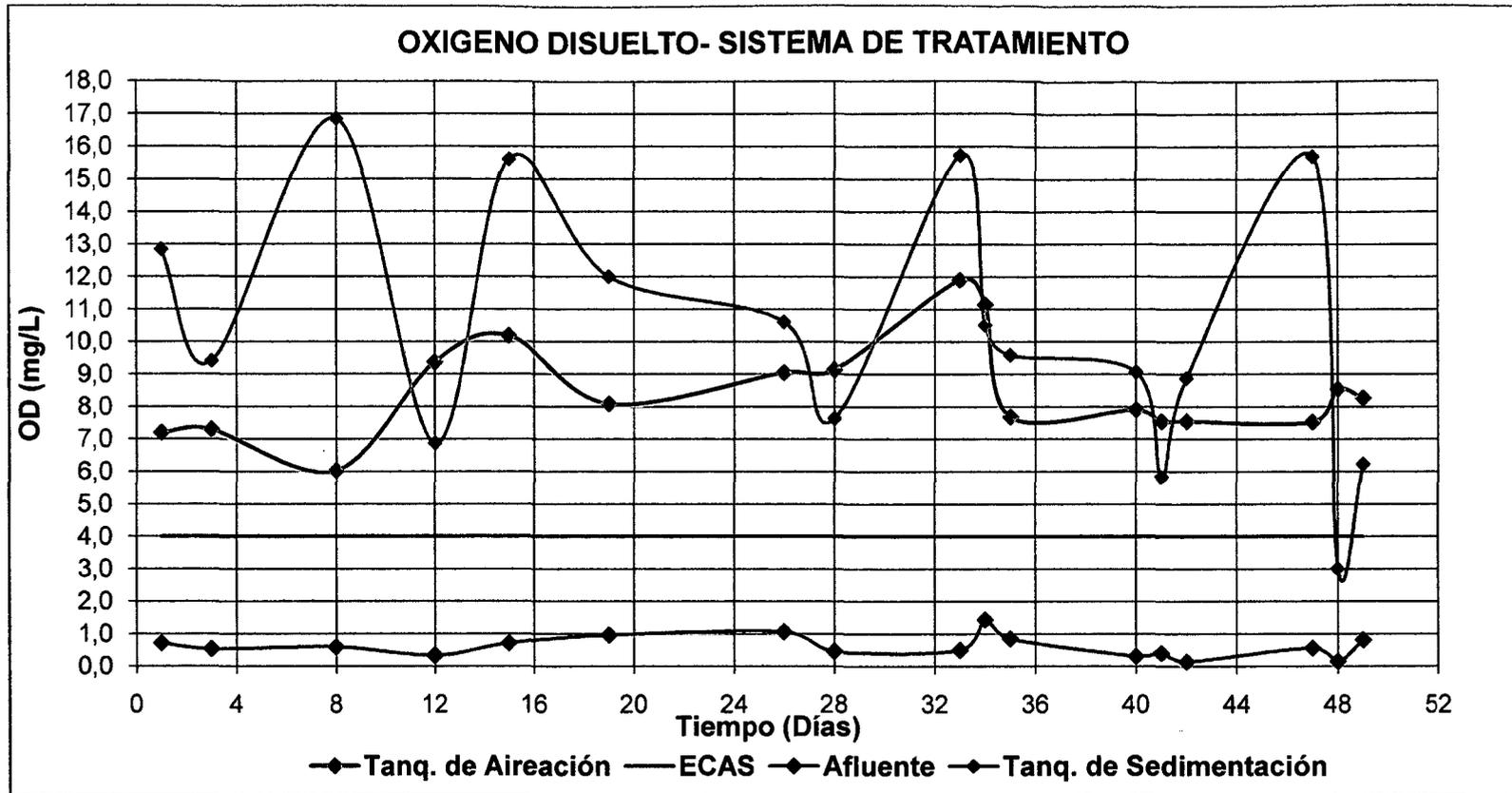


Gráfico N° 7.164: Oxígeno Disuelto en el Sistema de Tratamiento

En el presente gráfico se puede mostrar los valores del desague+lixiviado, a la entrada, luego en el tanque de aireación y finalmente en el tanque de sedimentación, según estos valores se puede concluir que en el tanque de aireación la oxigenación es buena y muy optima para que pueda ser tomado por los microorganismos aerobios presentes en el tanque.

7.12 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO

El lixiviado utilizado para la presente investigación fue obtenido de la Poza de Lixiviados del Relleno de Zapallal, que es operado por la Empresa RELIMA, a continuación mostramos los resultados de los parámetros medidos en el Lab. de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI.

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	2001	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ph		8.7	8.5	7.89	8.2	NO SE REALIZO POR AUSENCIA DE LIXIVIADO EN EL RS EL ZAPALLAL	8.4	8.3	8.3
Temperatura	°C	32	26	25	20		20	20	23.6
Aceites y Grasas	mg/l	2	36	1.58	<5.0		< 5	< 5	14.3
SST	mg/l	690	<4	260	85		44	44.8	62.9
DBO5	mg/l	1230	516.7	432	247		100	433.3	1880
DQO	mg/l	2760	5853	4800	3925.8		4902.2	5266.7	9180.3
Coliformes Totales	NMP/100ml	1.6x10 ⁴	7.0x10 ⁴	5.5x10 ³	300		< 2	14 x 10 ²	110
Metales pesados									
Cd	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	0.062		0.003	< 0,003	0.007
Cr	mg/l	2.086	9.231	0.69	1.42		0.74	0.6	1.36
Pb	mg/l	<0.01	0.616	<0.01	0.719		0.071	0.135	0.15
Ni	mg/l	0.487	<0.002	0.484	0.87		0.57	0.42	---
Zn	mg/l	0.544	3.404	0.66	0.394		0.257	0.271	0.205
Hg	mg/l	0.101	0.002	0.015	<0.0003		< 0,0006	< 0,0006	<0.0006
No Metales									
N	mg/l	14.6	104.72	117.18	3241	2414	1.81	3332.78	
P	mg/l	9.81	65.01	2.22	33.37	14.72	21.77	18.57	
As		---	---	---		---	---		

Cuadro N° 7.2: Registro de monitoreo anual del Lixiviado de Relleno de Zapallal.

Se realizaron mediciones del lixiviado en el laboratorio, los cuales presentamos a continuación.

Parámetro	Valor	Unidad de Medida
ph	8.1	
Temperatura	24.6	°C
DBO5 ₅	1536	Mg/l
DQO	4400	Mg/l

Cuadro N° 7.3: Resultado de monitoreo del lixiviado utilizado en la Investigación.

7.13 RESULTADOS DE MEDICIONES DE SOLIDOS

Durante la medición de sólidos en el reactor aerobio, se obtuvo valores bien bajos, a continuación mostramos los siguientes gráficos:

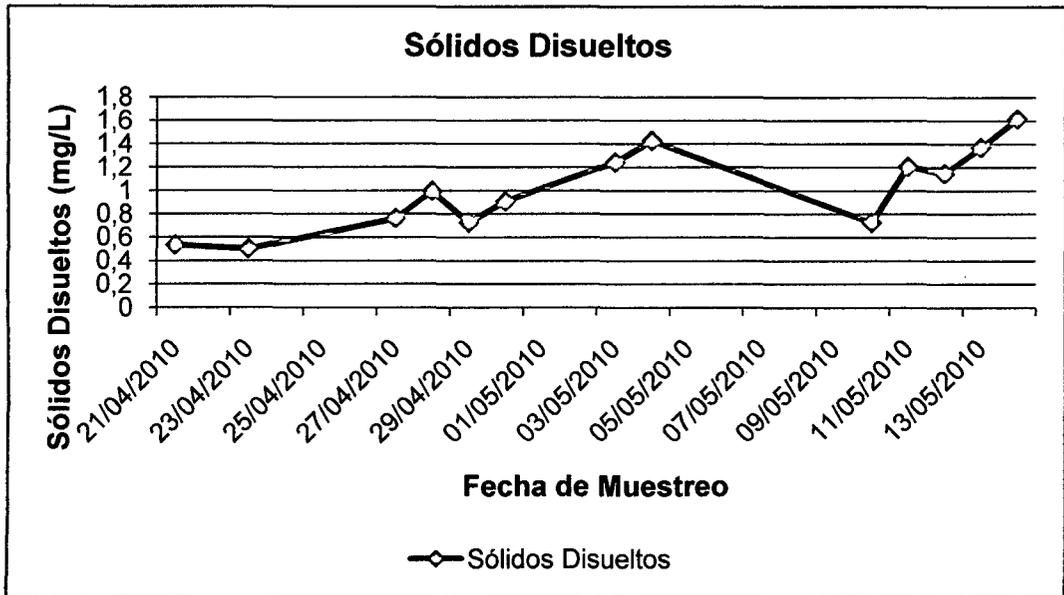


Gráfico N° 7.165: Sólidos Disueltos en el Reactor aerobio

Los valores de sólidos disueltos dentro del tanque de aireación son bien bajos debido principalmente a las bajas cargas con el que cuenta el desague doméstico que llega a la Planta de Tratamiento de la UNI.

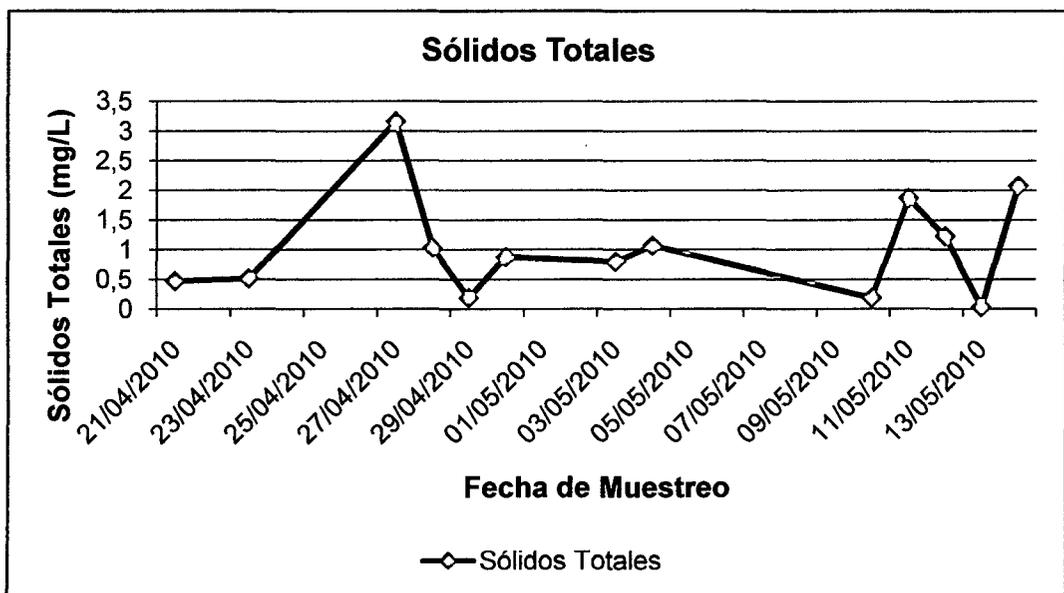


Gráfico N° 7.166: Sólidos Totales en el Reactor aerobio

La cantidad de sólidos totales baja, esto debido a los orígenes del desague doméstico.

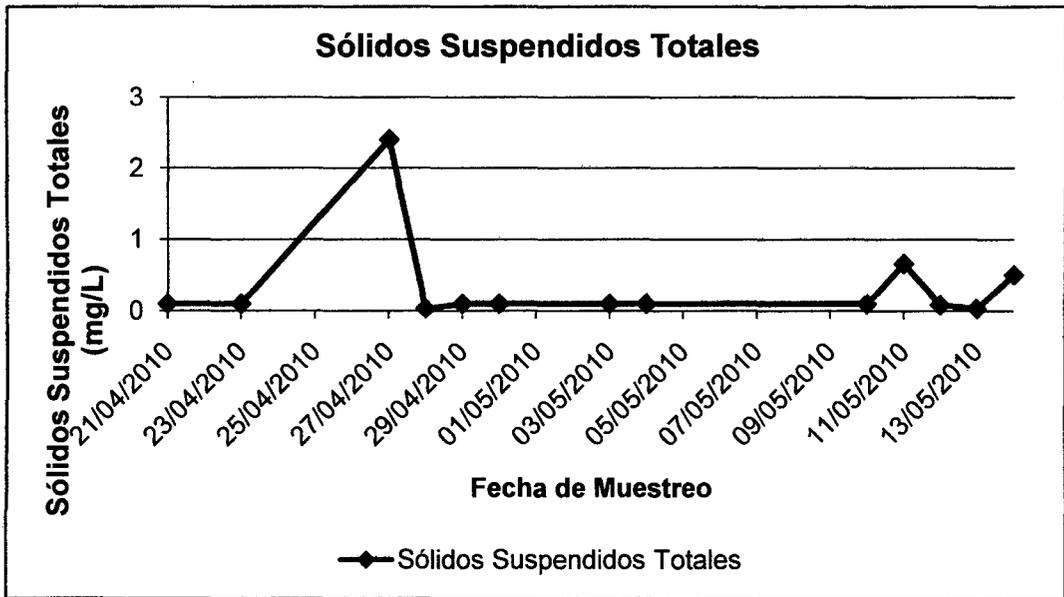


Gráfico N° 7.167: Sólidos Suspendidos Totales en el Reactor aerobio

Los valores de solidos suspendidos totales, dentro del tanque de aireación son bien bajos debido principalmente a las bajas cargas con el que cuenta el desague doméstico que llega a la Planta de Tratamiento de la UNI.

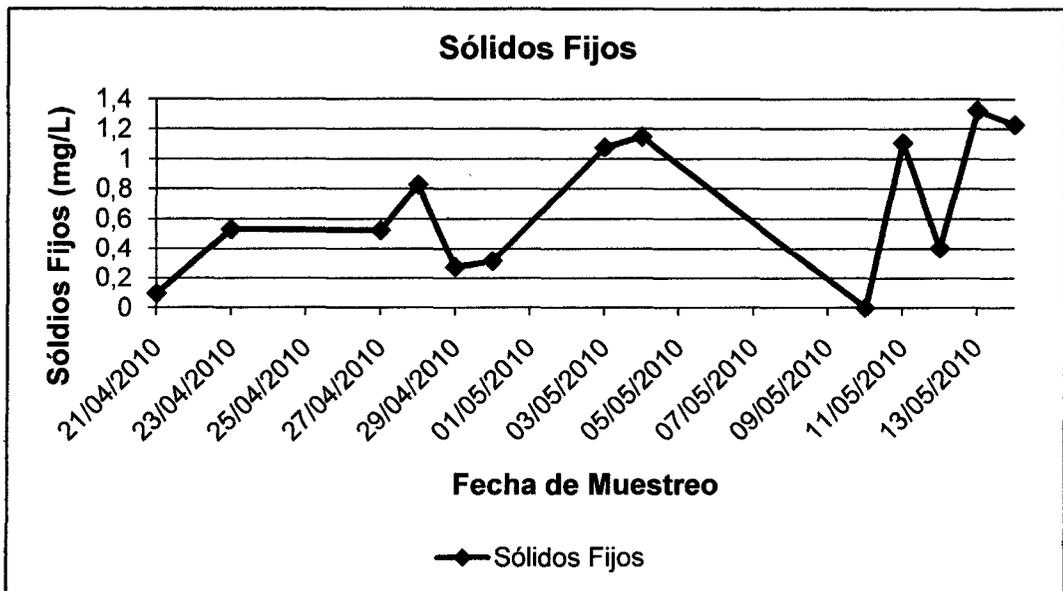


Gráfico N° 7.168: Sólidos Fijos en el Reactor aerobio

Los valores de solidos fijos, dentro del tanque de aireación son bien bajos debido principalmente a las bajas cargas con el que cuenta el desague doméstico que llega a la Planta de Tratamiento de la UNI.

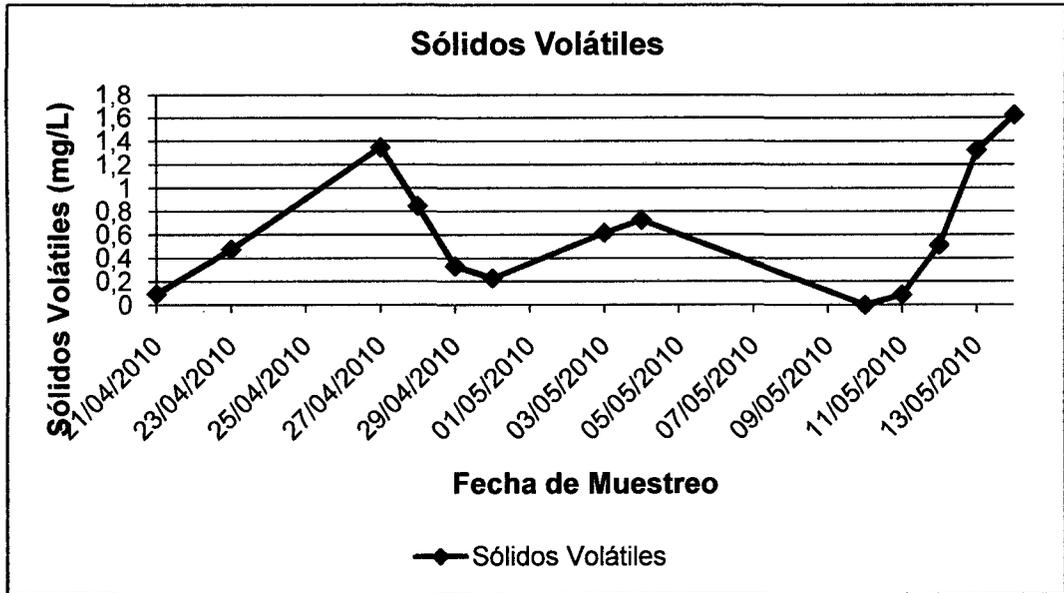


Gráfico N° 7.169: Sólidos Volátiles en el Reactor aerobio

Los valores de solidos volatiles, dentro del tanque de aireación son bien bajos debido principalmente a las bajas cargas con el que cuenta el desague doméstico que llega a la Planta de Tratamiento de la UNI.

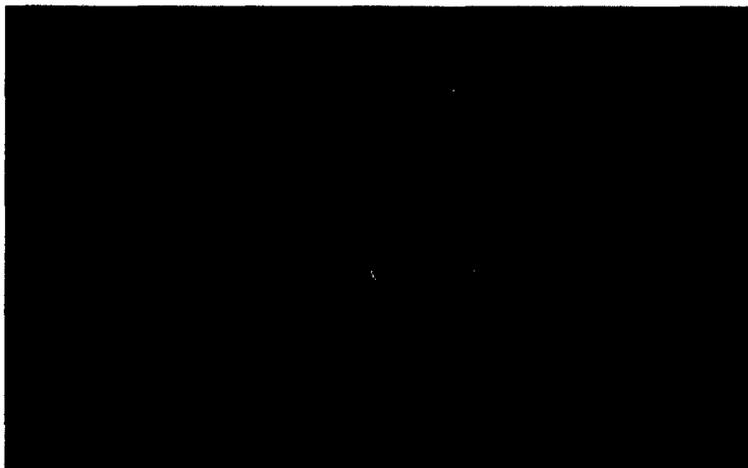
7.14 RECONOCIMIENTO DE ORGANISMOS OBSERVADOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Como sabemos existen tres reinos de microorganismos: Animal, Vegetal y Protisto, dentro de este último se encuentran los grupos eucariotidos y Procariotidos, los cuales obtienen su energía por el método autotrófico y heterótrofico, es decir, de reacciones inorgánicas de oxido-reducción y de la oxidación de la materia orgánica.

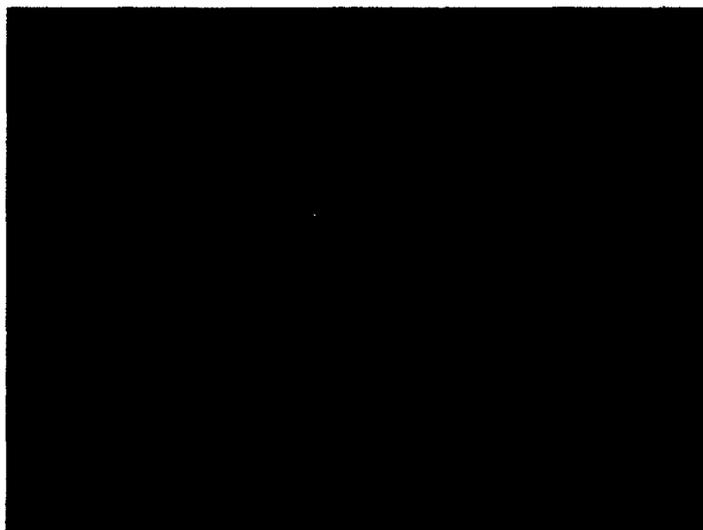
Dentro de los Procariótidos se encuentran las bacterias, que son responsables de casi la totalidad de remoción de sustrato orgánico, su tamaño varía entre 0.3 y 50Um. Las bacterias están compuestas en un 75-80% de H₂O y un 20% de material seco, del cual el 80 – 90% es orgánico y el resto inorgánico. Estos oxidan la materia orgánica, mediante el cede de un electrón por parte de esta que en este caso es el Hidrógeno, siendo el aceptor el oxígeno molecular, habiendo respiración aerobia, la cual es llevada a cabo por las bacterias aeróbicas.

En los Eucariotidos encontramos a los Prozoarios, que son microorganismos motiles, generalmente unicelulares y aeróbicos, siendo unos pocos anaeróbicos, sirven como pulimentadores, se alimentan de bacterias y materia orgánica particulada. Dentro de ellos encontramos los siguientes grupos: Flagelados, Ciliado Nadador, ciliado fijo, rotíferos, Suctorios, algas verdes, Diatomeas y otros de menor importancia para nuestro tipo de tratamiento.

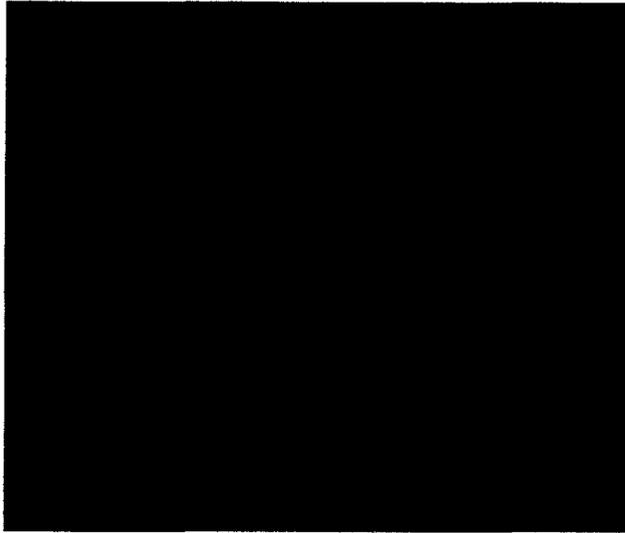
En el sistema de tratamiento que se realizo para la presente investigación, mediante el uso del microscopio se observo lo siguiente:

ALGAS:**Fotografía N° 7.5: Navicula**

Son células aisladas, pennadas y con la frustula simétrica, en vista valvar son alargadas y se estrechan en dirección a los extremos, como en un navio

**Fotografía N° 7.6: Calotrix**

Filamentos de color verde azulado, formados de una sola hilera de células, aislados o en colonias, envueltos, cada hilo en una matriz gelatinosa individual.



Fotografía N° 7.7: Alga NO identificada(*)

(*) No identificada, pero aun se sigue estudiando sus orígenes



Fotografía N° 7.8: Schizomeris

Algas filamentosas formadas de una sola serie de células y con uno de los extremos un poco más delgado que el otro.



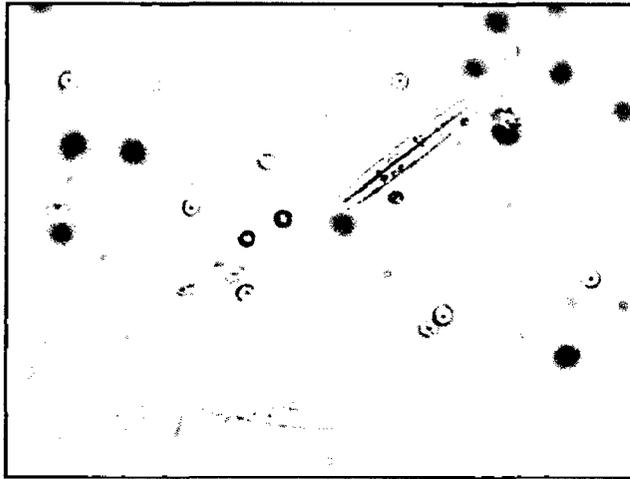
Fotografía N° 7.9: Crucigenia

Cenobios de forma generalmente cuadrangular, formados de 4 células de forma variable (generalmente elípticas o triangulares). En el centro del cenobio hay un hueco de forma cuadrangular. Las Células nunca poseen espinas u otros ornamentos.



Fotografía N° 7.10: Oocystis

Células elípticas u ovaladas, con membrana lisa, pero, a veces, con una pequeña dilatación redonda en cada uno de sus polos y, por ello, tienen el aspecto de un pequeño limón.



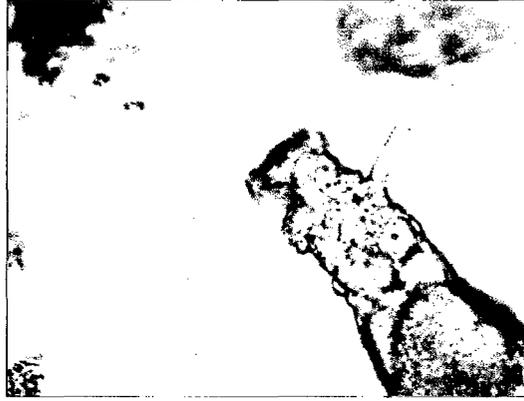
Fotografía N° 7.11: Vista de algas

En la siguiente vista se puede apreciar una variedad de algas, las cuales se encontraron presentes en el tanque de aireación.



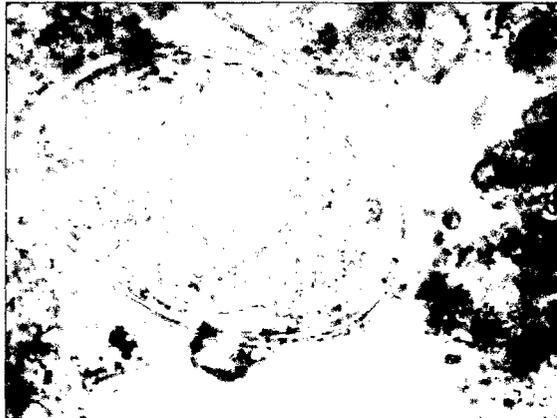
Fotografía N° 7.12: Hidrotietyon

Colonias cenobiales flotantes, macroscópicas, formadas de muchas mallas, como una red de pesca.

ROTIFEROS:

Fotografía N° 7.13: Philodina

Se puede apreciar en la Fotografía como el rotífero, Philodina, se comporta dentro del tanque de aireación, la actividad de este hace formar remolinos a su alrededor, por los cilios.



Fotografía N° 7.14: Philodina

En la presente Fotografía se muestra la Philodina en estado de quiste, pues toma esta forma cuando las condiciones no son las adecuadas dentro del tanque de aireación, principalmente debido a la carga de lixiviados.

Durante la investigación se determino una relación entre la actividad de los microorganismos y la eficiencia del sistema.

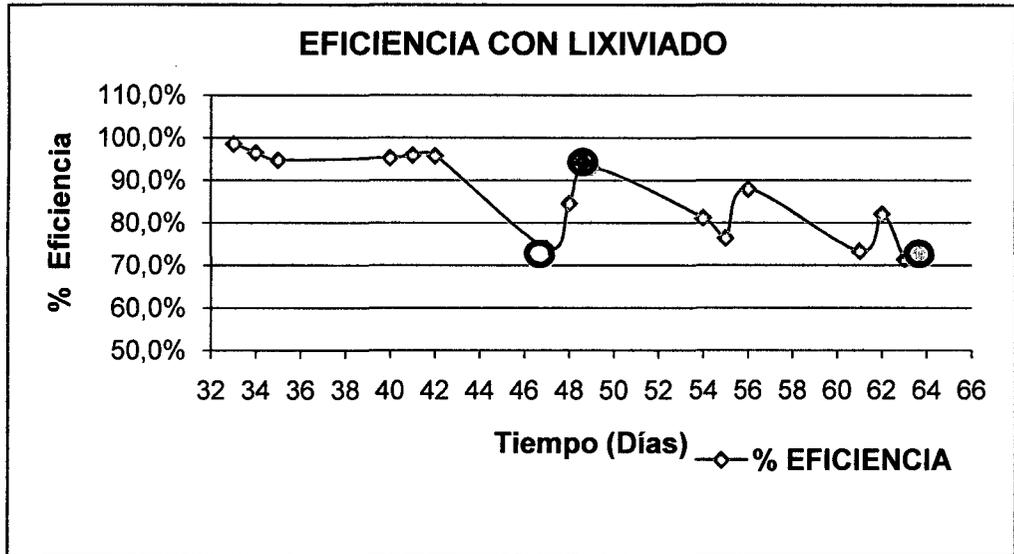
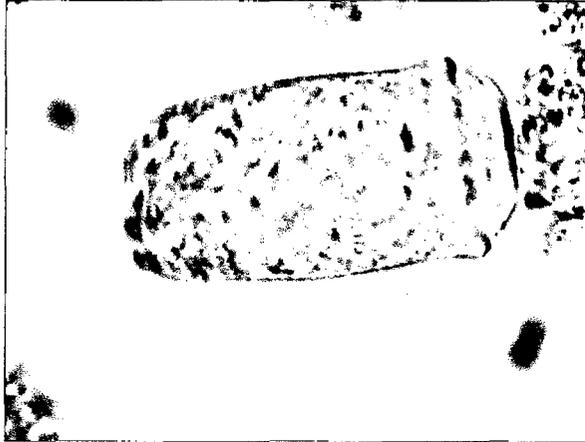


Gráfico N° 7.170: Eficiencia con desagüe doméstico crudo+ lixiviado

En el presente gráfico se puede apreciar como varía le eficiencia del sistema con la adición del lixiviado, en dosis graduales, a continuación explicaremos como relacionamos estos resultados con la actividad biológica.

NOTA:

- Muestra la etapa de aturdimiento de los microorganismos y donde visualmente se observa que en este caso los rotíferos, no tienen la misma actividad, debido a la cambio de concentración en el Afluente, en este caso que es la adición de lixiviado.



Fotografía N° 7.15: Phidolina

La forma que tiene el rotífero es distinta a su estructura normal y con mucha actividad, está en un proceso de aturdimiento, y debido al comportamiento, lo podemos relacionar con la eficiencia del sistema, que en este caso baja.

- Los rotíferos se han logrado acostumbrarse al tipo de sustrato que tiene el afluente agregado (desagüe doméstico + lixiviado), es decir ya se recuperaron en cuanto a su movimiento y actividad, según lo observado.



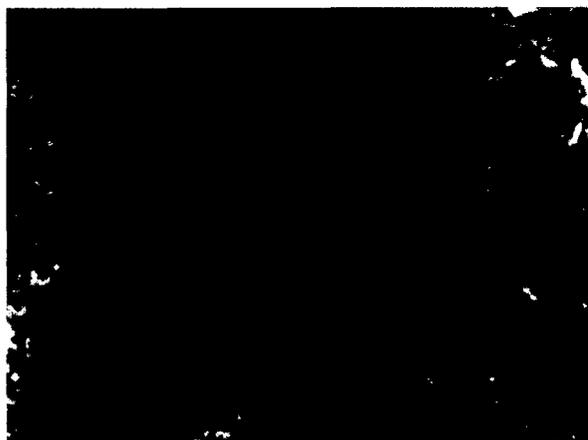
Fotografía N° 7.16: Phidolina

En la Fotografía mostrada se puede observar la actividad del rotífero, como se podrá ver tiene forma de cilios en la boca los cuales generan una forma de aspirar el agua, de esta manera limpia el desagüe y se alimenta de la materia orgánica y de algas presentes en el medio.

- La mayoría de los rotíferos ya no mantienen la misma actividad que se vio inicialmente, se han convertido en quistes, en forma de huevos transparentes, y la eficiencia del sistema ha disminuido, así como también la coloración del líquido en el tanque de aireación se torna de color café, casi un color al lixiviado.



Fotografía N° 7.17: Formación de huevo en la Philodina

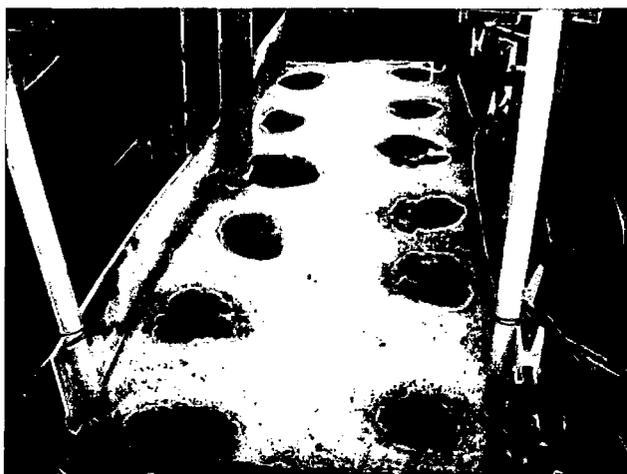


Fotografía N° 7.18: Formación de huevos de la especie Philodina

En la Fotografía mostrada se puede observar la forma que toma el rotífero cuando la eficiencia del sistema ha bajado con respecto a lo inicial, pero también cabe recalcar que este comportamiento tienen los rotíferos cuando ya se ha incrementado la dosis de lixiviado a 5%, mantienen una forma de quistes o huevos. Según consultas realizadas a biólogos, indicaron que estos pueden mantenerse por mucho tiempo en estas condiciones, hasta que en el medio se tenga una condición adecuada para su reestructuración.

7.15 OBSERVACIÓN EN EL SISTEMA PILOTO INSTALADO

También se mostrará a continuación Fotografías del sistema piloto utilizado, y en el cual describiremos lo que se vio y que se hizo, con la finalidad de mejorar la operación del sistema.



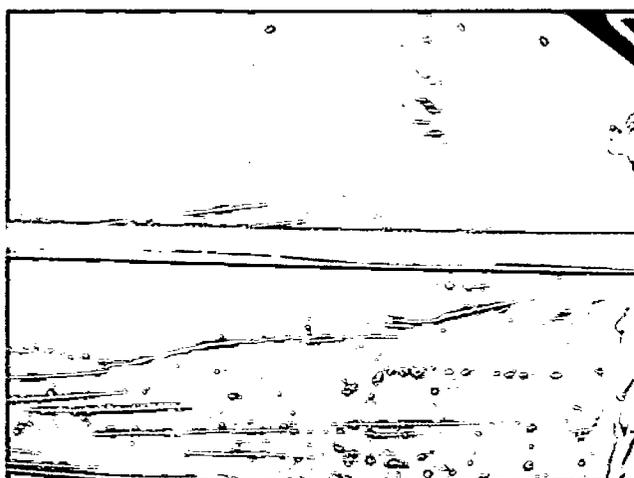
Fotografía N° 7.19: Reactor aerobio

En la presente Fotografía se muestra en el reactor la presencia de espumas producto de detergentes, esto se notaba por las mañanas y en algunos días, esto debido a que el desagüe es colectado de la zona cercana a la UNI, por el lavado de ropa que puede ser la principal actividad de la amas de casa en esta zona.



Fotografía N° 7.20: Vista de presencia de espuma

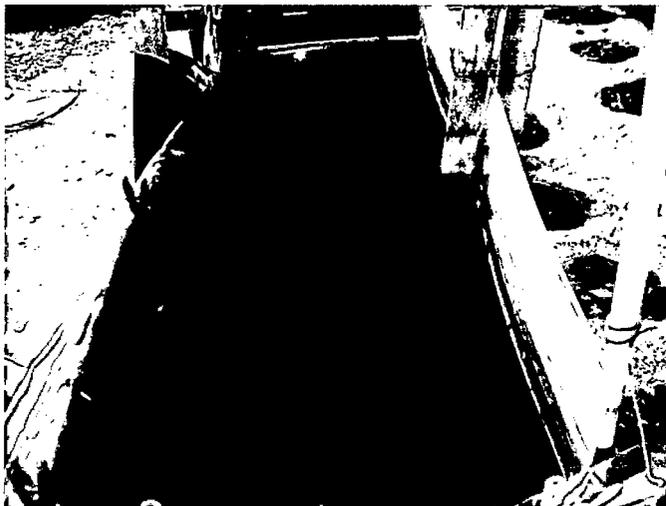
En la presente Fotografía se puede mostrar la formación de círculos ocasionados por la salida de aire desde los difusores instalados en el tanque de aireación, una manera visual de ver que la aireación sea uniforme en todo el espejo de agua es que todos estos círculos formados sean iguales.



Fotografía N° 7.21: Color del agua en los tanques

En la presente Fotografía se muestra la diferencia de colores del tanque aerobio y del tanque de sedimentación, el aerobio tiene una tonalidad oscura, con respecto al tanque de sedimentación que tiene un tono más claro, esto debido principalmente a la presencia de algas en estos tanques.

(El lado derecho es del tanque aireado y el de izquierda es del tanque de sedimentación).



Fotografía N° 7.22: Color del agua en los tanques

En la presente Fotografía se muestra la coloración verdosa en los dos tanques, esto debido a que durante el día había bastante sol, y la presencia de clorofila por la acción fotosintética de las algas, es lo que hacía predominar este color.



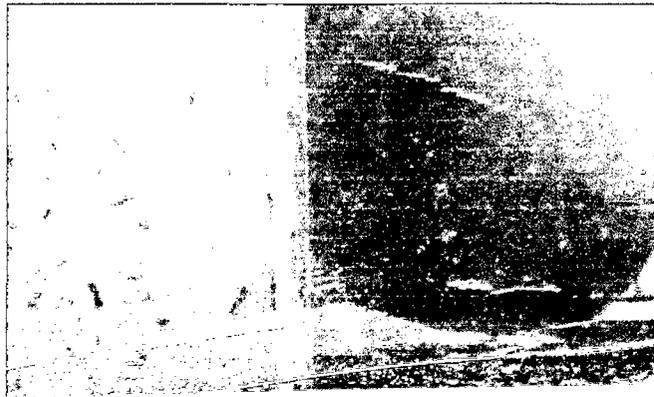
Fotografía N° 7.23: Formación de lodo en paredes de tanque

En la presente Fotografía se muestra la formación de lodo en las paredes del reactor, esto debido principalmente a que la cantidad de carga va aumentando diariamente.



Fotografía N° 7.24: Acumulación larvas en tanque de sedimentación

En la presente Fotografía se muestra la acumulación de larvas de mosquito, en las paredes del tanque de sedimentación, esto fue un inconveniente.



Fotografía N° 7.25: Vista de pared de los tanques

En la Fotografía se puede apreciar que en el tanque aireado se muestra una coloración amarillenta esto se dio principalmente cuando duplicamos el caudal en el sistema, pues inicialmente estaba trabajando con 1ml/seg, luego cambiamos a 2ml/seg.



Fotografía N° 7.26: Vista de parte superficial del tanque aireado.

En la Fotografía se puede apreciar que luego de incrementar el caudal a en el doble, en el reactor el desagüe toma una coloración verdoso, y es más clara, con respecto a lo inicial, al parecer aumentado la carga se mejoraba la eficiencia del sistema, pues comprobando con los resultados de DBO₅, la eficiencia aumento.



Fotografía N° 7.27: Vista lateral de los tanques (aireado-sedimentación).

En la Fotografía se puede apreciar que en el tanque aireado el color amarillento que tenía debido al incremento de caudal en el sistema, ha

regresado a tener una coloración verdosa, se ha estabilizado la eficiencia nuevamente, e incluso aumento.



Fotografía N° 7.28: Vista lateral de los tanques.

En la Fotografía N°7.27, se puede apreciar que la acumulación de larvas en las paredes del tanque de sedimentación a disminuido, esto debido a que se colocó gupis, en el tanque de sedimentación y el canal de interconexión, pues estos se alimentan de las larvas y ayudan de alguna manera a su eliminación de una manera biológica, teniendo en cuenta que no se agregó en el tanque aireado, pues acabarían con los microorganismos que se encuentran en el reactor, y la eficiencia del reactor no dará resultados óptimos de tratamiento.



Fotografía N° 7.29: Vista lateral de los tanques.

En la Fotografía se observa la coloración que toma el tanque, cuando ya se agrego el lixiviado a 5%, en estas condiciones la eficiencia del sistema disminuyo, y por la coloración misma se observa que las condiciones no son las mismas.



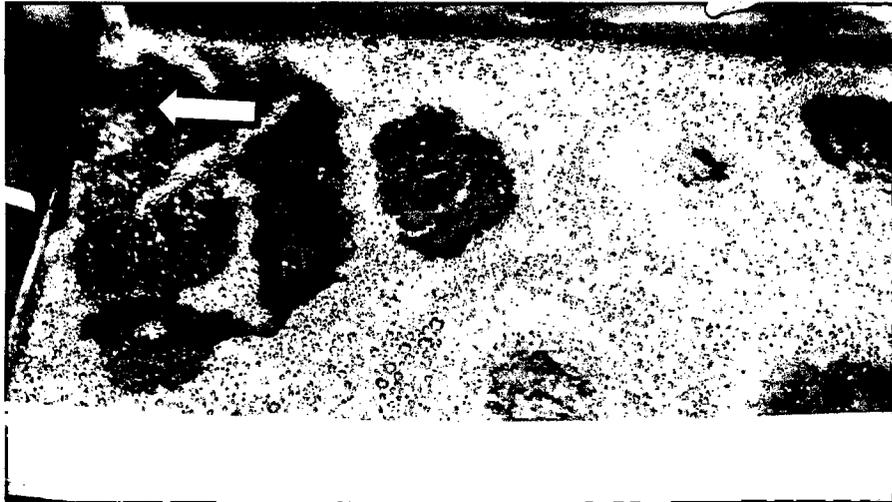
Fotografía N° 7.30: Muestra de desagüe con lixiviado

En la Fotografía se observa el desagüe con el lixiviado al 5%, como se observa este toma una coloración oscura, esto debido a que el lixiviado tiene un color oscuro.



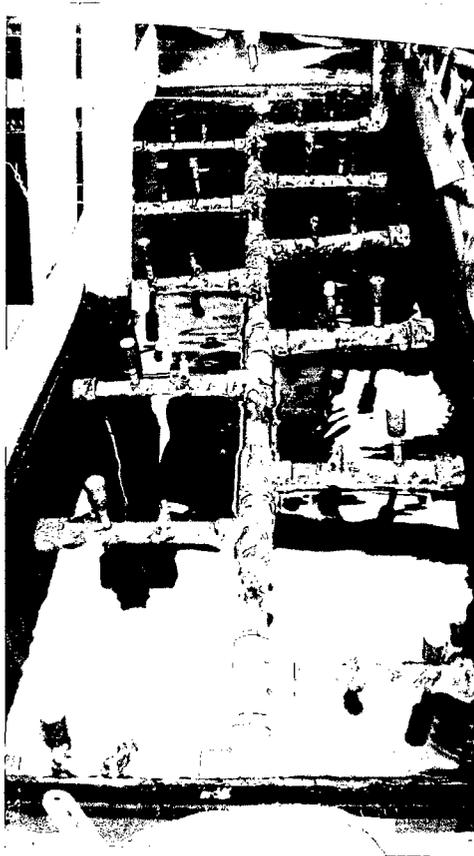
Fotografía N° 7.31: Vista de difusores

En la Fotografía se observa el momento en que los difusores se están extrayendo para ser cambiados, en este caso se cambio uno de ellos, pero esto no dio resultados buenos, pues como era nuevo, los poros en la piedra difusora, estaban limpios y por lo tanto salía mayor cantidad de oxigeno con respecto a los otros difusores, por lo tanto se llego a la conclusión que se debe cambiar todos los difusores en el mismo tiempo, o deben tener el mismo tiempo de uso, para dosificar la misma cantidad de aire en todo el tanque.



Fotografía N° 7.32: Vista del difusor cambiado.

Como se puede apreciar, al momento de cambiar solo uno de los difusores, y luego hacer operar el sistema, en este nuevo difusor se observó que salía mayor cantidad de aire con respecto al resto, es decir por este difusor salía prácticamente todo el aire suministrado de la bomba.



Fotografía N° 7.33: Vista de la red de difusores.

En la presente Fotografía se muestra la red de difusores que se utilizó en el sistema, como se podrá observar se usaron piedras difusores.

A continuación presentaremos, una secuencia de fotografías donde se observa el color del desagüe (con y sin lixiviado), del afluente (entrada), Tanque de Aireación, y Tanque de Sedimentación (efluente).

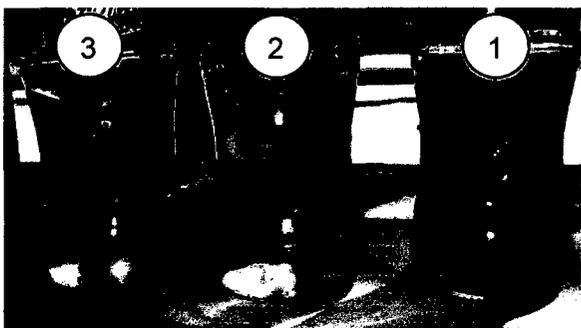


Leyenda

1	Afluente
2	Salida de Tan. Aireación
3	Salida de Tan. Sedimentación

Fotografía N° 7.34: Vista de las muestras de desagüe.

En la presente fotografía, podemos observar el tratamiento al inicio, solo con desagüe doméstico, como se podrá observar a la salida del sistema de aireación y sedimentación el agua sale totalmente claro.

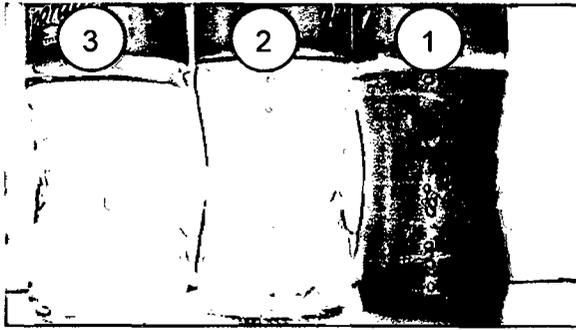


Leyenda

1	Afluente
2	Salida de Tan. Aireación
3	Salida de Tan. Sedimentación

Fotografía N° 7.35: Vista de las muestras de desagüe.

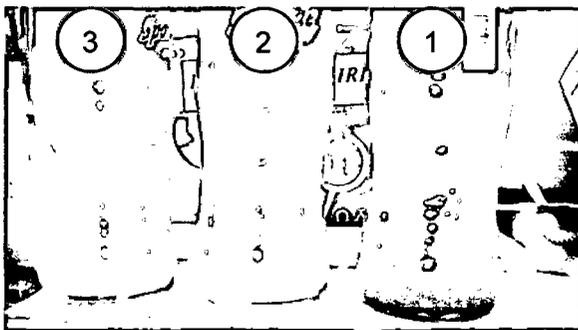
En la presente fotografía, podemos observar el tratamiento al inicio, solo con desagüe doméstico, como se podrá observar el agua sale totalmente claro.


Leyenda

1	Afluyente
2	Salida de Tan. Aireación
3	Salida de Tan. Sedimentación

Fotografía N° 7.36: Vista de las muestras de desagüe.

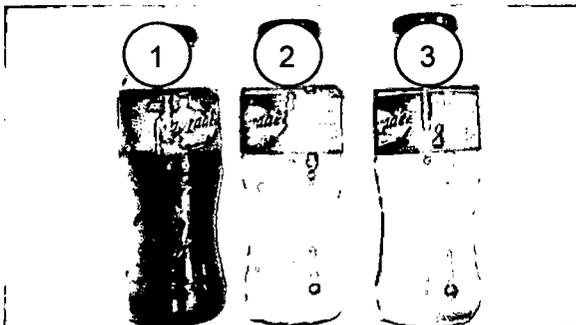
En la presente fotografía, podemos observar el tratamiento al inicio, solo con desagüe doméstico, como se podrá observar el agua sale totalmente claro.


Leyenda

1	Afluyente
2	Salida de Tan. Aireación
3	Salida de Tan. Sedimentación

Fotografía N° 7.37: Vista de las muestras de desagüe.

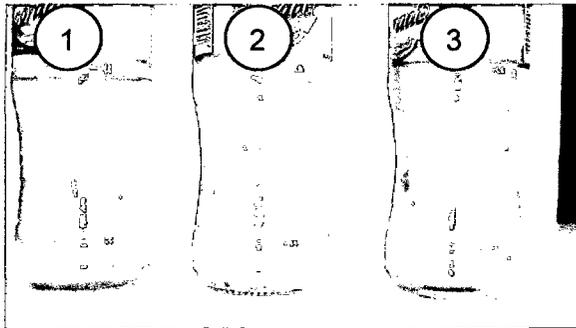
En la presente fotografía, podemos observar el tratamiento con un desagüe con mayor carga, como se podrá observar en el reactor aerobio la muestra se ve más turbia y a la salida del tanque de sedimentación sale más oscura.


Leyenda

1	Afluyente
2	Salida de Tan. Aireación
3	Salida de Tan. Sedimentación

Fotografía N° 7.38: Vista de las muestras de desagüe.

En la presente fotografía, podemos observar el tratamiento luego de agregar las primeras dosis de lixiviado (1%), el afluente se muestra más oscuro por la presencia del lixiviado, en el reactor aerobio la muestra está un poco más oscura, y a la salida del tanque de sedimentación es un poco verdosa.



Leyenda

1	Afluente
2	Salida de Tan. Aireación
3	Salida de Tan. Sedimentación

Fotografía N° 7.39: Vista de las muestras de desagüe.

En la presente fotografía, podemos observar el tratamiento luego de agregar la dosis más cargada de lixiviado (5%), el afluente se muestra más oscuro por la presencia del lixiviado, en el reactor aerobio la muestra está un poco más oscura y amarillenta, y a la salida del tanque de sedimentación es oscura y amarillenta.

CAPITULO 8

ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

8.1 RESPECTO A LA OPERACIÓN DEL SISTEMA PILOTO

8.1.1 TEMPERATURA AMBIENTAL

La temperatura es un factor muy importante en la formación y desarrollo de los microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica, influyendo fundamentalmente en la velocidad del metabolismo, por lo que el sistema funcionara más eficientemente si los valores de la temperatura están dentro del rango optimo para el desarrollo de estos microorganismos.

La temperatura del agua tiene una relación directa con la temperatura ambiente y por lo general la temperatura del agua fluctúa entre ± 1 °C en relación con la temperatura del aire, dependiendo esta de la estación del año en la que se encuentra.

En el experimento realizado, los resultados obtenidos para este parámetro oscilan entre los 18°C (valor registrado en la mañana del 26 de Mayo del 2010), y los 31°C (valor registrado en la tarde del 25 de Marzo del 2010). Este rango constituye un factor favorable, puesto que el metabolismo de las bacterias y la solubilidad de los sustratos, constituyen una alta eficiencia para temperaturas por sobre los 20°C y 25°C.

La temperatura en el transcurso de la investigación fue disminuyendo gradualmente, puesto que el inicio de esta fue en fines de verano (fines de marzo) y finalizo en otoño (inicios de Junio), por lo que la temperatura disminuirá aun mas al iniciarse el

invierno, factor que debe tenerse en cuenta puesto que la eficiencia disminuirá a un valor mínimo en esas fechas.

Esta disminución de la eficiencia en la digestión anaeróbica, puede explicarse debido a que temperaturas por debajo de los 20°C no permite la disponibilidad suficiente de sustrato para posibilitar el crecimiento bacteriano. Esta disposición de sustrato decae debido que un 40 a 50% de la materia orgánica esta constituida por materiales particulados cuya solubilización es muy lenta a bajas temperaturas.

8.1.2 VALORES DE PH

Según los resultados del Capítulo V, podemos observar valores de pH en el afluente que van desde un máximo de 8.2 al tratar solo agua residual y una disminución, al agregar el lixiviado al agua residual (al tratar el lixiviado diluido), a un valor mínimo de 7, esta disminución no es significativa para el tratamiento puesto que los microorganismos responsables del tratamientos (bacterias, rotíferos algas, etc.) se desarrollan sin problemas en rangos de pH de 6.5 a 9.0 aproximadamente

También se puede observar que el pH en el efluente (salida del sedimentador secundario) posee valores elevados en la primera etapa de la puesta en marcha de la planta piloto llegando hasta un valor de 10, pero al iniciarse la segunda etapa, es decir, al agregarse el lixiviado diluido al sistema, el pH en el efluente de la planta piloto disminuye hasta un valor de 7.

8.1.3 DBO5 DE LA PLANTA PILOTO

Se pudo diferenciar dos etapas durante la operación del sistema, la primera con agua residual pura y la segunda con el lixiviado diluido en agua residual, por lo que la DBO5 tuvo comportamientos diferentes en cada etapa.

En la primera etapa, al tratar solo agua residual, la DBO5 en el afluente de la planta piloto vario de acuerdo a la características del agua residual tomada, fluctuando este valor entre 70 a 110 mg/l de DBO5.

Mientras que en el efluente el valor de la DBO5 fue disminuyendo paulatinamente desde un valor de 10mg/l hasta estabilizarse en un valor de 2mg/l aproximadamente.

Esta estabilización de la DBO5 en el efluente de la planta piloto fue un indicador del fin de esta primera etapa, puesto que el sistema ya estaba funcionando a su máxima eficiencia.

La segunda etapa consistió básicamente en agregar concentraciones cada vez más elevadas de lixiviado diluido en agua residual a la planta piloto, con valores que iban desde 1% hasta 5%.

En esta etapa la DBO5 a la entrada de la planta piloto se elevo significativamente, este valor fue elevándose cada vez mas de acuerdo a la concentración de lixiviados que se estaba agregando, estos valores de DBO5 estaban entre un mínimo de 100 hasta un máximo de 220mg/l.

En el efluente de la planta piloto se noto una variación similar que en el afluente, es decir que en se fue elevando el valor de la DBO5 de de acuerdo a la concentración de lixiviado que se fue

agregando, estos valores fluctuaron entre un valor de 35 hasta un valor de 48mg/l.

El mismo efecto se tubo con las eficiencias del sistema, las cuales estuvieron en un valor constante de entre 95% en la primera etapa y disminuyo en la segunda etapa hasta un valor mínimo de 70%.

Esta disminución de la eficiencia fue más notorio a partir de concentraciones de 3% en adelante.

8.1.4 TURBIEDAD EN LA PLANTA PILOTO

La turbiedad en el afluente del sistema fluctuó entre 100(UNT) hasta valores de 340(UNT), esto dependiendo de las características del agua residual que ingresaba a la planta piloto.

Dentro de la planta piloto el valor de la turbiedad fluctuó durante la primera etapa entre valores de 200 a 100 (UNT), mientras que al llegar a su máxima eficiencia los valores en la planta piloto se estabilizaron en un valor aproximado de 40 UNT.

8.1.5 SÓLIDOS PRESENTES EN LA PLANTA PILOTO

Este parámetro tuvo valores muy bajos debido a que el agua residual tomada para la operación de la planta piloto tuvo cargas relativamente bajas, por lo que la formación de sólidos en el sistema no fue elevada.

Estos valores fluctuaron entre 0.5 a 3mg/l en sólidos totales, de 0.1 a 2.4mg/l en sólidos suspendidos, mientras en que sólidos disueltos los valores fluctuaron entre 0.5 a 1.6mg/l, así mismo en los sólidos suspendidos los valores fueron de 0.1 a 0.8mg/l, por

último los valores obtenidos para sólidos fijos fluctuaron entre 0.1 hasta valores de 1.2mg/t.

8.1.6 OXIGENO DISUELTO EN LA PLANTA PILOTO

Los valores del oxígeno disuelto en el afluente de la planta piloto fue prácticamente cero, puesto que como era agua residual pura los valores fluctuaban entre 0.1 a 1.1mg/l.

Por otro lado el oxígeno disuelto en el tanque de aireación el oxígeno disuelto estaba saturando el agua, teniendo valores de entre 7 a 10mg/l.

La variación del oxígeno disuelto en el tanque de sedimentación secundario de la planta piloto fue más significativa, puesto que en este tanque se apreció una proliferación de algas debido a la poca carga que entraba a esta unidad, dichas algas eran las responsables directas del oxígeno disuelto en esta unidad fluctuando este valor entre 7 a 17mg/l durante casi todo el tiempo que duro la investigación, llegando a valores de 3mg/l cuando se agregó la máxima concentración de lixiviado a la planta piloto (un valor de 5% en concentración de lixiviado diluido con agua residual).

El oxígeno disuelto en el sedimentador secundario fue mayor que en el tanque de aireación debido a que las algas producen oxígeno puro mientras que en la unidad aireada se está inyectando aire (que es un 21% de oxígeno aproximadamente)

8.1.7 MICROORGANISMOS PRESENTES EN LA PLANTA PILOTO

En la planta piloto se formaron una serie de microorganismos típicos de un sistema aireado, entre estos se observó algas (Naviculas, Calotrix, Schizomeris, Occystis, etc.), rotíferos

(philodina fue la más notoria en la plata piloto), bacterias, entre otros.

Lo más llamativo de estos microorganismos fue el comportamiento del rotífero "Philodina", puesto que se observó una abundancia de este rotífero cuando la planta piloto operaba con agua residual pura, pero al agregar las concentraciones de lixiviado en la planta disminuyó el número de estos debido a que se fueron enquistando ya que las condiciones no eran propicias para el normal desarrollo de estos rotíferos, así mismo su actividad se aletargaba de acuerdo al aumento de la concentración del lixiviado en la planta.

Dicha disminución se apreció en concentraciones de 3% en adelante, llegando a un enquistamiento total de dichos rotíferos en la máxima concentración aplicada de 5%.

8.1.8 OBSERVACIONES DURANTE LA OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO

Durante la operación de la planta piloto se presentaron distintos inconvenientes, uno de ellos fue la presencia de larvas de mosquitos en las unidades de la planta piloto, especialmente en el sedimentador secundario, este problema fue resuelto al agregar a dichas unidades "gupis" (peces muy pequeños), los cuales se alimentan de estas larvas.

Asimismo otro inconveniente fue la obturación de los difusores, los cuales se deben de cambiar todos a la vez, puesto que si solo se cambia uno el oxígeno va a tender a salir por el difusor nuevo ya que ejerce menos resistencia que los otros que ya están saturados.

CAPITULO 9

CONCLUSIONES

1. Según los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación, podemos concluir que diluyendo el lixiviado, provenientes del relleno sanitario de Zapallal, en aguas residuales en una concentración de 2% como máximo, se obtiene cargas orgánicas y concentraciones tóxicas que pueden ser tratadas en un sistema de tratamiento por lodos activados.
2. La dosificación de lixiviado en concentraciones de 2% a un sistema de tratamiento de lodos activados de aguas residuales, no altera el proceso biológico dentro del sistema y por consiguiente su eficiencia.
3. Al finalizar el periodo de monitoreo e investigación del tratamiento de las aguas residuales con lixiviado de un relleno sanitario, se llegó a obtener un efluente que se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles según los ECAs.
4. Técnicamente es factible el tratamiento de lixiviados diluidos con aguas residuales de origen doméstico en un proceso de Lodos Activados, debido a que en este proceso la remoción promedio de DBO5 está en el orden del 90 a 95%, cuando la concentración de lixiviado en el agua residual es del 2%.
5. Durante la realización de la investigación se encontró una relación entre el comportamiento de los microorganismos presentes en el reactor aireado, con la eficiencia del sistema en cuanto a DBO5, pues según las imágenes observadas en el microscopio se determinó que cuando los microorganismos están en su máxima actividad la eficiencia en cuanto a remoción de DBO5 es mayor en el reactor.

6. En la presente investigación se ha logrado encontrar una curva de dosis óptima de lixiviado, diluyendo de manera porcentual su aplicación, en dicha curva se observa que a mayor concentración de lixiviado disminuye la eficiencia del sistema.
7. Según los registros de los monitoreos realizados en cuanto a turbiedad, pH y temperatura, nos indican que el sistema con el que se trabajó operó de manera eficiente y continua durante todos los días.
8. Se ha determinado que cuando se cambia el sustrato en un proceso biológico, se altera el comportamiento de los microorganismos en el reactor, pues al aplicar otro sustrato estos entran en una fase de retardo y toman un determinado tiempo para su restablecimiento y volver a su actividad inicial, esto se comprobó cuando se añadió el lixiviado (proveniente del relleno sanitario Zapallal) diluido en aguas residuales a la planta piloto.
9. La calidad y origen del lixiviado es de muy importante conocer antes de agregar por dosis a una planta de tratamiento de lodos activados; es necesario hacer pilotos similares a esta investigación para determinar la dosis óptima, en caso se determinen lixiviados con mayor carga y diferente origen al utilizado en la presente investigación.
10. La eficiencia en un proceso aireado va aumentando conforme se estabiliza el sistema, tal como se aprecia con el parámetro de DBO₅, inicialmente el sistema al ser trabajado con agua residual, fue bajo este fue aumentando progresivamente hasta llegar a tener eficiencias altas.
11. La cantidad de carga que tiene el agua residual doméstica, que llega a la Planta de Tratamiento de la UNI, con el cual se trabajó, es baja, debido a que el origen de este afluente es principalmente doméstico, durante la investigación inicialmente se trabajó con un caudal de 1ml/seg, luego se aumentó a 2ml/seg, en el cual se notó que hubo un aumento de la

eficiencia, por lo que se concluye que es necesario cargas altas para obtener mejores resultados.

- 12.** La distribución adecuada y equidistante de los difusores influye en la eficiencia de un sistema aireado por lodos activados, en la presente investigación se utilizó una ramal de tubería de PVC, en el cual se colocaron los difusores a distancias iguales, con el cual se obtuvo una aireación uniforme en todo el sistema; el sistema de aireación utilizado, mantiene una pendiente de 1% aproximadamente, para que la cantidad de aire que emerge sea igual en todas las salidas, y con el cual se obtuvo una aireación uniforme en todo el reactor.
- 13.** Se identificó de los microorganismos (algas, rotíferos, etc.) presentes en un reactor biológico aireado, mediante el uso del microscopio,, los cuales influyen en el tratamiento y su vio su comportamiento durante la operación del sistema.
- 14.** Se identificó dentro de los microorganismos al Rotífero (Phidolina), como el principal influyente de la eficiencia del sistema, y se evaluó su comportamiento durante todo el proceso.

CAPITULO 10

RECOMENDACIONES

1. En cuanto al proceso de dilución del lixiviado con el agua residual, este debe realizarse luego de que el sistema ha operado eficientemente usando solo agua residual doméstica, luego de que este logre alcanzar su máxima eficiencia se podrá agregar el lixiviado.
2. Para la puesta en marcha de la Planta de Lodos Activados, se puede inocular de 1 a 3mg/l de lodo proveniente de un sistema similar, para acelerar el proceso.
3. Se recomienda evaluar detalladamente los dispositivos de entrada, salida y comunicación entre las unidades del modelo, así como el dispositivo de aireación, con el objetivo de proporcionar un adecuado comportamiento hidráulico para la oxigenación de la masa biológica.
4. Si luego de determinado tiempo de operación del sistema, y falle un difusor, se debe cambiar todos los difusores, pues la salida de aire por cada difusor va ser distinta, por las pérdidas de carga que se genera dentro de los poros, estos se encuentran tapados, y no garantiza la misma cantidad de aire en todos los difusores al cambiar solo uno, saldría todo el aire por este difusor nuevo y en el resto de difusores sería menor.

5. Es necesario realizar una buena dilución, o utilizar un dispositivo que controle bien el caudal de dosificación del lixiviado, para no alterar la carga dentro del sistema, pues en cada cambio de dosis, puede alterar el comportamiento de los microorganismos y no darles el tiempo adecuado para que se restablezcan y trabajen eficientemente.
6. Las muestras deberán ser colocadas en un congelador para mantener las condiciones iniciales al momento del muestreo y ser llevadas al laboratorio con mayor seguridad para la obtención de resultados confiables.
7. Para los análisis físicos como PH y Temperatura. son analizados in situ obteniendo datos más precisos que al ser analizados en laboratorio.
8. El agua residual utilizada, que llega a este sistema, proviene de varios sedimentadores, considerando; captación, desarenador, tanque séptico, y demás tanques de homogenización utilizados en la investigación, el lixiviado no pasa por estos sistemas pues solo se agrega antes del ingreso al reactor biológico.
9. Es necesario realizar el monitoreo de PH y Temperatura, si es posible tres veces al día, con la finalidad de saber que el sistema está operando de manera continua todo el día.
10. Es necesario, el uso de equipos de protección como, mascarillas guantes, mandil, cuando se trabaje con muestras de desagües y lixiviados, pues son perjudiciales y peligrosos para la salud.

CAPITULO 11

BIBLIOGRAFIA

A. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- ✘ **Lagunas Aereadas Mecanicamente:** Organización mundial de la Salud
Ing. Sergio Rolim Mendoza, Santa Fe Bogota- Colombia, setiembre de
1999
- ✘ **Metodología para la Estimación de la Producción y Concentración
de Lixiviado de un Relleno Sanitario;** Borzacconi, Liliana / López, Iván
/ Anido, Carlos; Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y
Ambiental N° 25; México - 1996.
- ✘ **Cantidad y contenidos de lixiviados de rellenos de desechos
domésticos.**Ehrig,Hans-Jürgen. San José. CR. 1992.
- ✘ **Atenuación Natural de Contaminantes Producidos en Rellenos
Sanitarios;** Espinoza, Carlos / González, Andrea; Río de Janeiro-2000.
- ✘ **Método de Balance de Agua para la Estimación de la Generación
de Lixiviados en Rellenos Sanitarios;** Orta Ledesma, Ma. Teresa /
Sánchez Gómez, Jorge / Cruz Rivera, Reynaldo / Rojas Valencia, María
Neptalí; AIDIS 2000
- ✘ **Caracterização dos Líquidos Percolados Gerados por Disposição
de Lixo Urbano;** Cristina Filomêna Pereira Rosa / Blundi, Carlos
Eduardo; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental;
AIDIS – 2000.

- ✎ **Atenuación Natural de Contaminantes Producidos en Rellenos Sanitarios;** Espinoza, Carlos / González, Andrea; Río de Janeiro-2000.

- ✎ **Metodología para la Estimación de la Producción y Concentración de Lixiviado de un Relleno Sanitario;** Borzacconi, Liliana / López, Iván / Anido, Carlos; Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Nº 25; México - 1996.

- ✎ **Reducción de los Tiempos de Estabilización en Rellenos Sanitarios Operados con Recirculación de Lixiviados Tratados;** Palma, Juan H. / Valenzuela. Pamela I.; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental-1999

- ✎ **Método de Balance de Agua para la Estimación de la Generación de Lixiviados en Rellenos Sanitarios;** Orta Ledesma, Ma. Teresa / Sánchez Gómez, Jorge / Cruz Rivera, Reynaldo / Rojas Valencia, María Neptalí; AIDIS 2000

- ✎ **Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Desechos Domésticos /** Dr. Ing. Hans Jürgen Ehrig / Traducción de la Academia Tica de Español / Noviembre 1992.

- ✎ **Identification, Detection, and Spatial Resolution of Clostridium Populations Responsible for Cellulose Degradation in a Methanogenic Landfill Leachate Bioreactor /** P.C. Burrell, C.O. Sullivan, H. Song, W.P. Clarke an L.L. Blackall / American Society for Microbiology - 2004

- ✎ **Análisis de Agua y Desagüe;** Jimeno Blasco, Enrique / Centro de Estudiantes de la Facultad de Ingeniería Ambiental – UNI.

- ✎ **Tratamento do Esgotos Sanitarios por Processo Anaeróbio e Disposicao Controlada no Solo /** Programa de Pesquisa em Saneamiento Básico – PROSAB / José Roberto Campos -1999

- ✎ **Hidrobiología aplicada a la Ingeniería Sanitaria/ Samuel Murgel**
Branco/Lima – Perú -1969

B. REFERENCIAS EN LA WEB:

- ✎ http://icc.ucv.cl/geotecnia/05_publicaciones/publicaciones.htm
- ✎ <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031968/031968-01.pdf>
- ✎ <http://www.ods.org.pe/odsv2/>