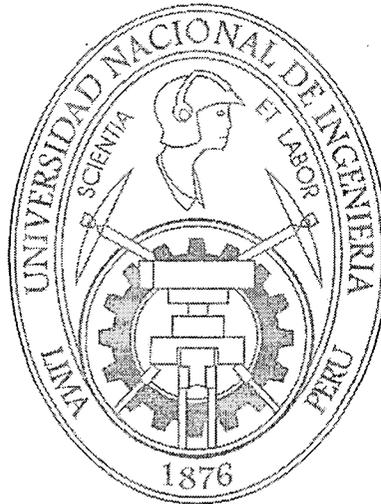


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**"DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA PARA
DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA
EN UN REACTOR UASB Y SU POST-TRATAMIENTO
CON PLANTAS ACUÁTICAS (JACINTO DE AGUA)
TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA A ESCALA
DE LABORATORIO"**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

**RENE ARMANDO DAVALOS NAVARRO
FRANK CHARLES TUNY ROJAS**

LIMA, PERÚ

2011

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Reynaldo Dávalos Alejo y Cristina Navarro Quispe, a mis Hermanos José, Karina y Alex, quienes me tuvieron paciencia y comprensión durante mí etapa universitaria, gracias por su apoyo incondicional.

DAVALOS NAVARRO, RENE ARMANDO

Esta tesis es dedicada a mis padres Carlos Tuny Aguilar y Guadalupe Rojas Cabrera, a mis hermanas Susan y Mayda, quienes con su comprensión y apoyo concretaron mis metas en mi etapa universitaria.

FRANK CHARLES TUNY ROJAS.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento sincero a las diferentes personas que contribuyeron de una u otra manera en la realización de esta tesis. Dentro de ellas a nuestras familias; Dávalos Navarro - Tuny Rojas y hermanos.

A nuestro asesor de tesis el Ing. Otto Rosasko Gerkes, quien nos brindo la disponibilidad de su tiempo para con nosotros en la asesoría de la tesis con sus aportes, críticas y sugerencias.

A la Universidad Nacional de Ingeniería y en forma especial a la Facultad de Ingeniería Ambiental por los conocimientos adquiridos en nuestra etapa como estudiantes, de igual manera a los profesores de los diferentes cursos.

A nuestros amigos Kenny Mendoza Morante, Percy Inca Valenzuela por el apoyo en la tesis durante los meses de trabajo.

A la Ing. Rosa Yaya B. y al Ing. Juan C. Alarcón del CITRAR - UNI, así como los señores Manuel y Víctor por su apoyo desinteresado durante la realización de la tesis.

Al Sr. Ricardo Jara y la Sra. Margarita del laboratorio N° 20 de la Universidad Nacional de Ingeniería, quienes colaboraron muy amablemente en nuestro objetivo.

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se presenta el estudio de la influencia del tiempo de retención hidráulica (TRH) en el proceso de tratamiento de aguas residuales domésticas en un Reactor UASB y su pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con plantas Jacinto de Agua.

La planta piloto está ubicada en la Universidad Nacional de Ingeniería específicamente en CITRAR – UNI, Lima Perú

Inicialmente se realizó el diseño, construcción y montaje del Reactor UASB y la unidad del pos-tratamiento con humedal de flujo superficial.

La unidad de sedimentación tiene un volumen de 200 L, el Reactor UASB un volumen efectivo de 44 L y la unidad de pos-tratamiento de flujo superficial con plantas jacinto de agua cuyo volumen es 90 L, durante el arranque del Reactor UASB el TRH fue de 24 h. con un caudal de operación de 0.568mL/s consiguiendo valores de remoción después de haber arrancado el sistema para la DQO de 60% y para la DBO del 58%. Luego al tener que variar el TRH a 14h y 4h se trabajó con caudales de operación de 0.99mL/s y 3.45mL/s respectivamente.

La carga hidráulica en el Reactor UASB para los TRH de 24, 14 y 4 h. fue de 1000 L/m².día, 1714.29 L/m².día y 6000 L/m².día respectivamente. La velocidad ascensional en el Reactor UASB para los TRH de 24, 14 y 4 h. fue de 4.17cm/h, 7.14cm/h y 25cm/h respectivamente.

Una vez en funcionamiento el sistema se procedió a caracterizar las muestras de las 3 unidades unidad de sedimentación, unidad de tratamiento Reactor UASB y unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas acuáticas Jacinto de agua, al inicio se tuvieron problemas debido a la proliferación de algas en las paredes del Reactor UASB, a consecuencia del ingreso de luz al Reactor UASB y se creaban las condiciones para el desarrollo

de las algas, la medida correctiva inmediata fue la protección del Reactor UASB fue cubrirlo con plástico oscuro con la finalidad de evitar el ingreso de la luz.

Las caracterizaciones de las muestra se iniciaron el día 04/03/2010 y culminó el día 25/06/2010. El mantenimiento de las unidades se realizaba semanalmente, con la finalidad de no tener problemas en la operación del sistema, un problema común era la acumulación de grasas y sedimentos en el separador de gases, sólidos y líquidos (GSL) del Reactor UASB que eran arrastrados hacia la otra unidad de post-tratamiento, a esto hay que agregarle la proliferación de los zancudos en dicha unidad lo cual se pudo controlar con los peces "Guppys" que se alimentaban de las larvas restringiendo su proliferación. La muerte de los zancudos creaba problemas de obstrucción en las tuberías de interconexión en la unidad del pos-tratamiento y fue remediado con un régimen de limpieza continua tres veces por semana.

En cuanto a los resultados obtenidos de la investigación se detalla lo siguiente:

A lo largo de nuestra investigación uno de los factores que influyen mayormente en la degradación de la materia orgánica es la temperatura. Para nuestra investigación la temperatura eficiente varia entre los 18 °C hasta los 28 °C, un rango óptimo mesofílico si comparamos los datos de otros investigadores (Lettinga, 1980, Lettinga et. al., 1995).

En cuanto al pH, la variación para los TRH fue de 6.89 a 8.06. No se presento cambio considerable, por el contrario se mantuvo dentro del rango óptimo lo cual garantizaba el buen desarrollo de los microorganismos.

Para nuestra investigación la DBO máxima del agua residual fue de 304 mg/L y una minima de 156 mg/L. Para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje de remoción para la DBO son las siguientes: en la unidad de sedimentación fueron de 69.44%, 49.80% y 52.61% como máximo y un mínimo de 15.38%, 8.89% y 11.56% respectivamente, en el Reactor UASB fue de 58.33%, 53.13% y 42.70% como máximo y un mínimo de 28.73%, 24.81% y 7.98% respectivamente, en la unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas Jacinto de agua los valores fueron de 87.10%, 79.48% y 71.44% como máximo y un mínimo de 40%, 60.98% y 46.80% respectivamente.

En cuanto al sistema total de tratamiento para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje de remoción para la DBO fueron 97.31%, 89.50% y 83.31% como máximo y un mínimo de 82.24%, 80.59% y 71.16% respectivamente, obteniéndose de esta manera buenos resultados.

Para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje de remoción para la DQO son las siguientes: en la unidad de sedimentación fueron de 65.62%, 46.15% y 34.12% como máximo y un mínimo de 40.81%, 11.34% y 20% respectivamente, en el Reactor UASB fue de 61.37%, 40.19% y 38.28% como máximo y un mínimo de 23.94%, 32.29% y 8% respectivamente, en la unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas Jacinto de agua los valores fueron de 73.47%, 54.29% y 54.11% como máximo y un mínimo de 35.71%, 45.45% y 48.98% respectivamente.

En cuanto al sistema total de tratamiento para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje de remoción para la DQO fueron 92.61%, 82.72% y 79.22% como máximo y un mínimo de 85.80%, 70.85% y 68% respectivamente.

De estos resultados obtenidos la unidad de sedimentación que a la vez era la unidad de almacenamiento removía un porcentaje considerable de la materia orgánica lo que confirma la importancia de tener una unidad de sedimentación primaria en un sistema de tratamiento.

Se concluye que las tres unidades están removiendo materia orgánica. Para el Reactor UASB hay una remoción que es directamente proporcional con el TRH, es decir que para obtener una mejor remoción de la DBO, se optaría por un TRH mayor ya que se tendría un mayor tiempo de contacto.

En la unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas Jacinto de agua se obtuvieron buenos resultados, los porcentajes de remoción fueron más del 60%, esto indica que tratar efluentes después del Reactor UASB con plantas acuáticas se logra alcanzar mejor calidad de agua tratada.

En cuanto a los valores de los sólidos totales en el agua residual tuvieron una variación de 1228 mg/L como máximo a un mínimo de 524mg/L.

Para un TRH de 24, 14 y 4h. los valores de los sólidos totales son las siguientes: en la unidad de sedimentación fue de 864mg/L, 920mg/L y 980mg/L como máximo y un mínimo de 472mg/L, 596mg/L y 692mg/L respectivamente, en el Reactor UASB fue de 648mg/L, 720mg/L y 820mg/L como máximo y un mínimo de 360mg/L, 468mg/L y 676mg/L respectivamente, y por ultimo en la unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas Jacinto de agua fue de 465mg/L, 647mg/L y 750mg/L como máximo y un mínimo de 346mg/L, 435mg/L y 575mg/L respectivamente. Se puede notar claramente que conforme el TRH disminuye los valores de los sólidos totales aumentan esto es fácil de entender debido que a menor TRH hay un mayor caudal de operación lo que hace que la velocidad de sedimentación sea menor a la velocidad ascensional de las partículas y por ende estas serán arrastradas a la salida de las unidades de tratamiento.

En cuanto a los valores de los sólidos disueltos en el agua residual fueron de 988mg/L como máximo y un mínimo de 428mg/L.

Para un TRH de 24, 14 y 4h. los valores de los sólidos disueltos son las siguientes: en la unidad de sedimentación fue de 716mg/L, 676mg/L y 856mg/L como máximo y un mínimo de 420mg/L, 516mg/L y 620mg/L respectivamente, en el Reactor UASB fue de 612mg/L, 668mg/L y 776mg/L como máximo y un mínimo de 332mg/L, 424mg/L y 532mg/L respectivamente, y por ultimo en la unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas Jacinto de agua fue de 512mg/L, 624mg/L y 725mg/L como máximo y un mínimo de 340mg/L, 411mg/L y 531mg/L respectivamente. Podemos decir que ocurre algo similar como los sólidos totales dependerán de los TRH y el caudal de operación.

En cuanto a los valores de los sólidos suspendidos en el agua residual fueron de 368mg/L como máximo a un mínimo de 52mg/L.

Para un TRH de 24, 14 y 4h. los valores de los sólidos suspendidos son las siguientes: en la unidad de sedimentación fue de 256mg/L, 292mg/L y 136mg/L como máximo y un mínimo de 16mg/L, 40mg/L y 72mg/L respectivamente, en el

Reactor UASB fue de 176mg/L, 168mg/L y 152mg/L como máximo y un mínimo de 8mg/L, 24mg/L y 16mg/L respectivamente, y en la unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas Jacinto de agua fue de 72mg/L, 32mg/L y 46mg/L como máximo y un mínimo de 4mg/L, 12mg/L y 25mg/L respectivamente. Podemos decir que ocurre algo similar como los sólidos totales dependerán de los TRH y el caudal de operación.

En cuanto a la conductividad eléctrica para un TRH de 24, 14 y 4h los valores promedios son las siguientes: Para el agua residual fue de 761 us/cm, 1040.55 us/cm y 1130.38 us/cm respectivamente; en la unidad de sedimentación fue de 734.69 us/cm, 1094.77 us/cm y 1097.13 us/cm respectivamente; en el Reactor UASB fue de 727.38 us/cm, 1017.64 us/cm y 1122.50 us/cm respectivamente; y por ultimo en la unidad de pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial con Plantas Jacinto de agua fue 735.38 us/cm, 1093.64 us/cm y 1108.88 us/cm respectivamente. Podemos concluir que los valores obtenidos para la conductividad eléctrica nos indican que hay sales disueltas en el agua y que además guardan una relación directa con los valores de los sólidos disueltos, es decir a mayor valor de conductividad eléctrica mayor será la cantidad de sales disueltas. Además la conductividad eléctrica guarda una relación inversamente proporcional al TRH, es decir a mayor TRH menor será la conductividad eléctrica como se puede verificar en los resultados obtenidos (Capítulo VIII).

GLOSARIO DE TERMINOS

AGV:	Acido graso volátil.
CaCO ₃ :	Carbonato de calcio.
CITRAR-UNI	Centro de investigación de tratamiento de aguas residuales
CTO:	Consumo total de oxígeno.
DBO ₅ :	Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día.
DQO:	Demanda química de oxígeno.
GSL:	Gases, sólidos y líquidos.
OD:	Oxígeno disuelto
PTAR:	Planta de tratamiento de aguas residuales.
RAFA:	Reactor anaerobio de flujo ascendente.
SD:	Sólidos Disueltos.
SST:	Sólidos suspendidos totales.
SSV:	Sólidos suspendidos volátiles.
ST:	Sólidos totales.
SUNASS:	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
TRH:	Tiempo de retención hidráulica.
UASB:	Upflow Anaerobic Sludge Blanket, Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos.

INDICE

Capítulo I		Pág. 01
1.	INTRODUCCIÓN	Pág. 01
1.1	ASPECTOS SANITARIOS	Pág. 01
1.2	MARCO LEGAL	Pág. 02
1.2.1	Normas Nacionales	Pág. 02
1.2.2	Límites máximos permisibles para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales	Pág. 03
1.2.3	Estándares nacionales de calidad ambiental para agua	Pág. 04
Capítulo II		Pág. 05
2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	Pág. 05
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	Pág. 05
	I. Planteamiento e identificación del problema.	Pág. 05
	II. Justificación de la Investigación	Pág. 07
2.2	OBJETIVO PRINCIPAL	Pág. 07
2.3	OBJETIVOS SECUNDARIO	Pág. 07
2.4	HIPÓTESIS	Pág. 08
2.5	VARIABLES DEL ESTUDIO	Pág. 08
2.5.1	Variable independiente	Pág. 08
2.5.2	Variable dependiente	Pág. 08
2.5.3	Variable intervinientes	Pág. 09
2.6	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	Pág. 09
Capítulo III		Pág. 12
3.	MARCO TEÓRICO	Pág. 12

3.1	REACTOR UASB	Pág. 12
3.1.1	Fundamentos del proceso UASB	Pág. 16
3.1.2	Parámetros de seguimiento en un Reactor UASB	Pág. 16
3.1.2.1	Temperatura	Pág. 17
3.1.2.2	PH.	Pág. 17
3.1.2.3	DBO	Pág. 18
3.1.2.4	DQO	Pág. 18
3.1.2.5	Ácidos grasos volátiles (AGV)	Pág. 18
3.1.2.6	Alcalinidad	Pág. 19
3.1.2.7	Sólidos	Pág. 19
3.1.3	Características del Reactor UASB	Pág. 20
3.1.4	Ventajas del Reactor UASB	Pág. 20
3.1.5	Desventajas del Reactor UASB	Pág. 21
3.2	TRATAMIENTO CON PLANTAS ACUÁTICAS (Eichhornia crassipes-Jacinto de agua)	Pág. 22
3.2.1	Características de la especie Eichhornia crassipes (Jacinto de agua)	Pág. 22
3.2.2	Historia	Pág. 24
3.2.3	Composición química	Pág. 24
3.2.4	Mecanismos de depuración	Pág. 25
3.2.5	Interrelación del Jacinto de agua y mecanismos de depuración que ocurren dentro del estanque	Pág. 26
3.2.6	Efecto depurador	Pág. 31
3.2.7	Aspectos técnicos de estanques de Jacinto de agua para depuración de aguas industriales.	Pág. 32

3.2.7.1	Condiciones para el tratamiento	Pág. 32
3.2.7.2	Preparación de la planta	Pág. 32
3.2.7.3	Preparación del estanque	Pág. 33
3.2.7.4	Mantenimiento	Pág. 34
3.2.7.5	Diseño y distribución del estanque	Pág. 34
3.2.8	Pretratamiento de aguas residuales industriales	Pág. 37
3.2.9	Comparación del efecto depurador del Jacinto de agua con respecto a otras especies de macrófitos flotantes.	Pág. 38
3.2.10	Ventajas de los estanques de Jacinto de agua	Pág. 39
3.2.11	Desventajas de los estanques de Jacinto de agua	Pág. 40
Capítulo IV		Pág. 42
4.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	Pág. 42
4.1	UBICACIÓN DEL REACTOR	Pág. 42
4.1.1	Ubicación de la CITRAR-UNI	Pág. 42
4.1.2	Ubicación del Reactor UASB en CITRAR-UNI	Pág. 43
4.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EMPLEADO	Pág. 44
4.3	MUESTRA DE DESAGUE PARA SER TRATADA	Pág. 45
4.4	CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL REACTOR UASB	Pág. 46
4.4.1	Esquema general de las unidades	Pág. 46
4.4.2	Dimensionamiento de las unidades	Pág. 47
4.4.3	Unidad de sedimentación	Pág. 50
4.4.4	Reactor UASB	Pág. 54

4.5	UBICACIÓN DEL TANQUE MARIOTTE	Pág. 58
4.6	TRATAMIENTO CON PLANTAS ACUÁTICAS	Pág. 59
4.7	INSTALACIÓN DEL TERMÓMETRO	Pág. 62
Capítulo V		Pág. 63
5.	PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR	Pág. 63
5.1	ARRANQUE DEL REACTOR	Pág. 63
5.1.1	Prueba hidráulica	Pág. 63
5.1.2	Acondicionamiento del Reactor UASB	Pág. 64
5.1.3	Inoculación de lodo al Reactor UASB	Pág. 67
5.1.4	Tiempo de arranque del Reactor UASB	Pág. 71
5.1.5	Instalación del Tanque Mariotte	Pág. 72
Capítulo VI		Pág.74
6.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR UASB	Pág.74
6.1	FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA	Pág.74
6.2	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	Pág.93
Capítulo VII		Pág.104
7.	ANÁLISIS DEL LABORATORIO	Pág.104
7.1	PUNTO DE MUESTREO	Pág.104
7.2	ANÁLISIS REQUERIDOS	Pág.105
7.2.1	Temperatura (T)	Pág.105
7.2.2	Potencial de hidrogeno (pH)	Pág.106
7.2.3	Caudal	Pág.106
7.2.4	Conductividad eléctrica	Pág.107
7.2.5	Oxígeno disuelto (OD)	Pág.108
7.2.6	Turbiedad	Pág.108
7.2.7	Sólidos	Pág.108
7.2.8	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	Pág.112
7.2.9	Demanda química de oxígeno (DQO)	Pág.115

7.2.10	Producción de biogas	Pág.117
Capitulo VIII		Pág.119
8.	PRESENTACION E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	Pág.119
8.1	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO	Pág.119
8.1.1	Temperatura	Pág.119
8.1.2	PH.	Pág.128
8.1.3	Turbiedad	Pág.137
8.1.4	Caudal	Pág.147
8.1.5	Conductividad eléctrica	Pág.152
8.1.6	Oxigeno disuelto (OD)	Pág.157
8.1.7	Sólidos totales	Pág.162
8.1.8	Sólidos Disueltos	Pág.167
8.1.9	Sólidos Suspendidos	Pág.172
8.1.10	Sólidos Sedimentables	Pág.177
8.1.11	Sólidos Fijos totales	Pág.182
8.1.12	Sólidos volátiles totales	Pág.186
8.1.13	Sólidos fijos disueltos	Pág.190
8.1.14	Sólidos volátiles disueltos	Pág.194
8.2	ANÁLISIS BIOLÓGICOS	Pág.198
8.2.1	Demanda bioquímica de oxigeno (DBO)	Pág.198
8.2.2	Demanda química de oxigeno (DQO)	Pág.208
8.2.3	Producción de Biogás	Pág.218
8.2.4	Correlación lineal del porcentaje de remoción de la DQO versus el TRH.	Pág.221
8.2.5	Correlación lineal del porcentaje de remoción de la DQO versus la temperatura ambiental	Pág.222

Capitulo IX	Pág.224
9. CONCLUSIONES	Pág.224
Capitulo X	Pág.229
10. RECOMENDACIONES	Pág.229
Capitulo XI	Pág.231
11. BIBLIOGRAFÍA	Pág.231
Capitulo XII	Pág.235
ANEXOS 1	Pág.235
1. ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA	Pág.235

RELACIÓN DE TABLAS

TABLA 1.1	Resumen de las Normas Peruanas para Aguas Receptoras.	Pág. 03
TABLA 1.1	Resumen de los límites máximos permisibles	Pág. 04
TABLA 2.1	Cobertura de agua y saneamiento en el Perú-año 2004.	Pág. 05
TABLA 2.2	Porcentaje de población que tiene acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado.	Pág. 06
TABLA 3.1	Comparación de diversos sistemas de tratamiento de agua residual	Pág. 13
TABLA 3.2	Aspectos importantes de diferentes sistemas de tratamiento de agua residual	Pág. 15
TABLA 3.3	Composición química del Jacinto de agua	Pág. 25
TABLA 3.4	Remoción de contaminantes por las plantas o lagunas	Pág. 39
TABLA 4.1	Tabla de resumen (24 h.)	Pág. 48
TABLA 4.2	Tabla de resumen (14 h.)	Pág. 49
TABLA 4.3	Tabla de resumen (4 h.)	Pág. 49
TABLA 8.1	Valores de temperatura - TRH. 24 h.	Pág.120
TABLA 8.2	Valores de temperatura - TRH. 14 h.	Pág.121
TABLA 8.3	Valores de temperatura - TRH. 4 h.	Pág.122
TABLA 8.4	Valores promedio de temperatura	Pág.123
TABLA 8.5	Valores de pH - TRH. 24 h.	Pág.129
TABLA 8.6	Valores de pH - TRH. 14 h.	Pág.130
TABLA 8.7	Valores de pH - TRH. 4 h.	Pág.131
TABLA 8.8	Valores promedio de pH	Pág.132
TABLA 8.9	Valores de turbiedad - TRH. 24 h.	Pág.138
TABLA 8.10	Valores de turbiedad - TRH. 14 h.	Pág.139
TABLA 8.11	Valores de turbiedad - TRH. 4 h.	Pág.140

TABLA 8.12	Valores promedio de turbiedad	Pág.141
TABLA 8.13	Variación del caudal aforado y TRH. - TRH. 24 h.	Pág.147
TABLA 8.14	Variación del caudal aforado y TRH. - TRH. 14 h.	Pág.148
TABLA 8.15	Variación del caudal aforado y TRH. - TRH. 4 h.	Pág.149
TABLA 8.16	Valores promedio del TRH. real	Pág.149
TABLA 8.17	Valores promedio de caudal real	Pág.149
TABLA 8.18	Valores de conductividad - TRH. 24 h.	Pág.152
TABLA 8.19	Valores de conductividad - TRH. 14 h.	Pág.153
TABLA 8.20	Valores de conductividad - TRH. 4 h.	Pág.153
TABLA 8.21	Valores promedio de conductividad	Pág.154
TABLA 8.22	Valores de oxígeno disuelto - TRH. 24 h.	Pág.157
TABLA 8.23	Valores de oxígeno disuelto - TRH. 14 h.	Pág.158
TABLA 8.24	Valores de oxígeno disuelto - TRH. 4 h.	Pág.158
TABLA 8.25	Valores promedio de oxígeno disuelto	Pág.159
TABLA 8.26	Valores de sólidos totales - TRH. 24 h.	Pág.162
TABLA 8.27	Valores de sólidos totales - TRH. 14 h.	Pág.163
TABLA 8.28	Valores de sólidos totales - TRH. 4 h.	Pág.163
TABLA 8.29	Valores promedio de sólidos totales	Pág.164
TABLA 8.30	Valores de sólidos disueltos - TRH. 24 h.	Pág.167
TABLA 8.31	Valores de sólidos disueltos - TRH. 14 h.	Pág.168
TABLA 8.32	Valores de sólidos disueltos - TRH. 4 h.	Pág.168
TABLA 8.33	Valores promedio de sólidos disueltos	Pág.169
TABLA 8.34	Valores de sólidos suspendidos - TRH. 24 h.	Pág.172
TABLA 8.35	Valores de sólidos suspendidos - TRH. 14 h.	Pág.173
TABLA 8.36	Valores de sólidos suspendidos - TRH. 4 h.	Pág.174
TABLA 8.37	Valores promedio de sólidos suspendidos	Pág.174
TABLA 8.38	Valores de sólidos sedimentables - TRH. 24 h.	Pág.177
TABLA 8.39	Valores de sólidos sedimentables - TRH. 14 h.	Pág.178
TABLA 8.40	Valores de sólidos sedimentables - TRH. 4 h.	Pág.178
TABLA 8.41	Valores promedio de sólidos sedimentables	Pág.179
TABLA 8.42	Valores de sólidos fijos totales - TRH. 24 h.	Pág.182
TABLA 8.43	Valores de sólidos fijos totales - TRH. 14 h.	Pág.182
TABLA 8.44	Valores de sólidos fijos totales - TRH. 4 h.	Pág.183
TABLA 8.45	Valores promedio de sólidos fijos totales	Pág.183

TABLA 8.46	Valores de sólidos volátiles totales - TRH. 24 h.	Pág.186
TABLA 8.47	Valores de sólidos volátiles totales - TRH. 14 h.	Pág.186
TABLA 8.48	Valores de sólidos volátiles totales - TRH. 4 h.	Pág.187
TABLA 8.49	Valores promedio de sólidos volátiles totales	Pág.187
TABLA 8.50	Valores de sólidos fijos disueltos - TRH. 24 h.	Pág.190
TABLA 8.51	Valores de sólidos fijos disueltos - TRH. 14 h.	Pág.190
TABLA 8.52	Valores de sólidos fijos disueltos - TRH. 4 h.	Pág.191
TABLA 8.53	Valores promedio de sólidos fijos disueltos	Pág.191
TABLA 8.54	Valores de sólidos volátiles disueltos - TRH. 24 h.	Pág.194
TABLA 8.55	Valores de sólidos volátiles disueltos - TRH. 14 h.	Pág.194
TABLA 8.56	Valores de sólidos volátiles disueltos - TRH. 4 h.	Pág.195
TABLA 8.57	Valores promedio de sólidos volátiles disueltos	Pág.195
TABLA 8.58	Valores de la DBO - TRH. 24 h.	Pág.199
TABLA 8.59	Valores de la DBO - TRH. 14 h.	Pág.199
TABLA 8.60	Valores de la DBO - TRH. 4 h.	Pág.200
TABLA 8.61	Valores promedio de la DBO	Pág.200
TABLA 8.62	Valores de la DQO - TRH. 24 h.	Pág.208
TABLA 8.63	Valores de la DQO - TRH. 14 h.	Pág.209
TABLA 8.64	Valores de la DQO- TRH. 4 h.	Pág.209
TABLA 8.65	Valores promedio de la DQO	Pág.210
TABLA 8.66	Valores de la producción del biogas en el Reactor UASB TRH. 24 H.	Pág.218
TABLA 8.67	Valores de la producción del biogas en el Reactor UASB TRH. 14 h.	Pág.219
TABLA 8.68	Valores promedio de la producción del biogas en el Reactor UASB	Pág.219
TABLA 8.69	Valores promedio de eficiencia de la DQO en el sistema total de tratamiento	Pág.221

TABLA 8.70 Valores promedio de eficiencia de la DQO en el sistema total de tratamiento y de la temperatura ambiental

Pág.222

RELACIÓN DE GRÁFICOS

GRÁFICO 8.1 Variación de temperatura – agua residual	Pág.124
GRÁFICO 8.2 Variación de temperatura - unidad de sedimentación	Pág.125
GRÁFICO 8.3 Variación de temperatura - Reactor UASB	Pág.126
GRÁFICO 8.4 Variación de temperatura – Tratamiento con planta Jacinto de agua	Pág.127
GRÁFICO 8.5 Variación de pH – agua residual	Pág.133
GRÁFICO 8.6 Variación de pH - unidad de sedimentación	Pág.134
GRÁFICO 8.7 Variación de pH - Reactor UASB	Pág.135
GRÁFICO 8.8 Variación de pH - Tratamiento con plantas Jacinto de agua	Pág.136
GRÁFICO 8.9 Variación de turbiedad – agua residual	Pág.142
GRÁFICO 8.10 Variación de turbiedad - unidad de sedimentación	Pág.143
GRÁFICO 8.11 Variación de turbiedad - Reactor UASB	Pág.144
GRÁFICO 8.12 Variación de turbiedad - Tratamiento con plantas Jacinto de agua	Pág.145
GRÁFICO 8.13 Variación de turbiedad	Pág.146
GRÁFICO 8.14 Variación de tiempo de retención hidráulico	Pág.150
GRÁFICO 8.15 Variación de caudal	Pág.151
GRÁFICO 8.16 Variación de conductividad	Pág.155
GRÁFICO 8.17 Variación de oxígeno disuelto	Pág.160
GRÁFICO 8.18 Variación de sólidos totales	Pág.165
GRÁFICO 8.19 Variación de sólidos disueltos	Pág.170
GRÁFICO 8.20 Variación de sólidos suspendidos	Pág.175
GRÁFICO 8.21 Variación de sólidos sedimentables	Pág.180
GRÁFICO 8.22 Variación de sólidos fijos totales	Pág.184
GRÁFICO 8.23 Variación de sólidos volátiles totales	Pág.188
GRÁFICO 8.24 Variación de sólidos fijos disueltos	Pág.192
GRÁFICO 8.25 Variación de sólidos volátiles disueltos	Pág.196

GRÁFICO 8.26 Eficiencia de remoción de la DBO - unidad de sedimentación	Pág.201
GRÁFICO 8.27 Eficiencia de la remoción de la DBO – unidad de tratamiento Reactor UASB	Pág.202
GRÁFICO 8.28 Eficiencia de la remoción de la DBO – post-tratamiento con humedal de flujo superficial	Pág.203
GRÁFICO 8.29 Eficiencia de la remoción de la DBO – sistema total de tratamiento.	Pág.204
GRÁFICO 8.30 Eficiencia de la remoción de la DBO para las unidades de tratamiento – 24 h.	Pág.205
GRÁFICO 8.31 Eficiencia de la remoción de la DBO para las unidades de tratamiento – 14 h.	Pág.206
GRÁFICO 8.32 Eficiencia de la remoción de la DBO para las unidades de tratamiento – 4 h.	Pág.207
GRÁFICO 8.33 Eficiencia de remoción de la DQO - unidad de sedimentación	Pág.211
GRÁFICO 8.34 Eficiencia de remoción de la DQO – unidad de tratamiento Reactor UASB	Pág.212
GRÁFICO 8.35 Eficiencia de remoción de la DQO – post-tratamiento con humedal de flujo superficial.	Pág.213
GRÁFICO 8.36 Eficiencia de remoción de la DQO – sistema total de tratamiento	Pág.214

GRÁFICO 8.37 Eficiencia de la remoción de la DQO para las unidades de tratamiento – 24 h.

Pág.215

GRÁFICO 8.38 Eficiencia de la remoción de la DQO para las unidades de tratamiento – 14 h.

Pág.216

GRÁFICO 8.39 Eficiencia de la remoción de la DQO para las unidades de tratamiento – 4 h.

Pág.217

GRÁFICO 8.40 Biogás producido en el Reactor UASB. Pág.220

GRÁFICO 8.41 Porcentaje de remoción DQO vs TRH.. Pág.221

GRÁFICO 8.42 Porcentaje de remoción DQO vs Temperatura Ambiental Pág.223

RELACIÓN DE FOTOS

FOTOGRAFIA N° 01	CITRAR -UNI	Pág. 42
FOTOGRAFIA N° 02	Ubicación del Reactor UASB con su pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial, ubicado al costado del Desarenado de la planta.	Pág. 43
FOTOGRAFIA N° 03	Habilitaciones que descargan las aguas residuales a CITRAR	Pág. 45
FOTOGRAFIA N° 04	Unidad de sedimentación	Pág. 50
FOTOGRAFIA N° 05	Base del Tanque y línea de aducción	Pág. 52
FOTOGRAFIA N° 06	Reactor UASB	Pág. 54
FOTOGRAFIA N° 07	Reactor UASB, deflectores y separador de sólidos, gases y líquidos	Pág. 56
FOTOGRAFIA N° 08	Equipamiento del Tanque Mariotte	Pág. 58
FOTOGRAFIA N° 09	Unidades para la siembra de la planta Jacinto de agua	Pág. 60
FOTOGRAFIA N° 10	Unidad de pos-tratamiento complementario con plantas Jacinto de agua	Pág. 61
FOTOGRAFIA N° 11	Termómetro instalado en la parte inferior de la unidad de sedimentación	Pág. 62
FOTOGRAFIA N° 12	Prueba hidráulica de las uniones, juntas y empalmes	Pág. 63
FOTOGRAFIA N° 13	Extracción de lodo del RAFA-CITRAR-UNI	Pág. 64
FOTOGRAFIA N° 14	Traslado de la muestra de lodo extraída del RAFA	Pág. 66
FOTOGRAFIA N° 15	Inoculación del lodo recolectado del RAFA al Reactor UASB	Pág. 67

FOTOGRAFIA N° 16 Llenado del Reactor UASB con desagüe domestico	Pág. 68
FOTOGRAFIA N° 17 Llenado del Reactor UASB con desagüe domestico	Pág. 70
FOTOGRAFIA N° 18 Tanque Mariotte conectado a la parte superior del Reactor UASB	Pág. 72
FOTOGRAFIA N° 19 Reactor UASB. Proliferación de algas	Pág. 74
FOTOGRAFIA N° 20 Cono invertido, su función es de separador de sólidos, gases y líquidos esta ubicado en la parte superior del Reactor UASB	Pág. 75
FOTOGRAFIA N° 21 Reactor UASB protegido de la luz	Pág. 77
FOTOGRAFIA N° 22 Reactor UASB con una sola unidad de post-tratamiento	Pág. 78
FOTOGRAFIA N° 23 Unidades para el post tratamiento del Reactor UASB	Pág. 80
FOTOGRAFIA N° 24 Unidades para el post tratamiento del Reactor UASB	Pág. 81
FOTOGRAFIA N° 25 Controlador de nivel de agua, para obtener un caudal homogéneo	Pág. 83
FOTOGRAFIA N° 26 Controlador de nivel de agua a detalle	Pág. 84
FOTOGRAFIA N° 27 Bombeo de agua residual	Pág. 86
FOTOGRAFIA N° 28 Reactor UASB y sistema de post-tratamiento con planas Jacinto de agua	Pág. 87
FOTOGRAFIA N° 29 Operador regulando el caudal de ingreso al reactor UASB	Pág. 88
FOTOGRAFIA N° 30 Reactor UASB rotulado y en operación	Pág. 90

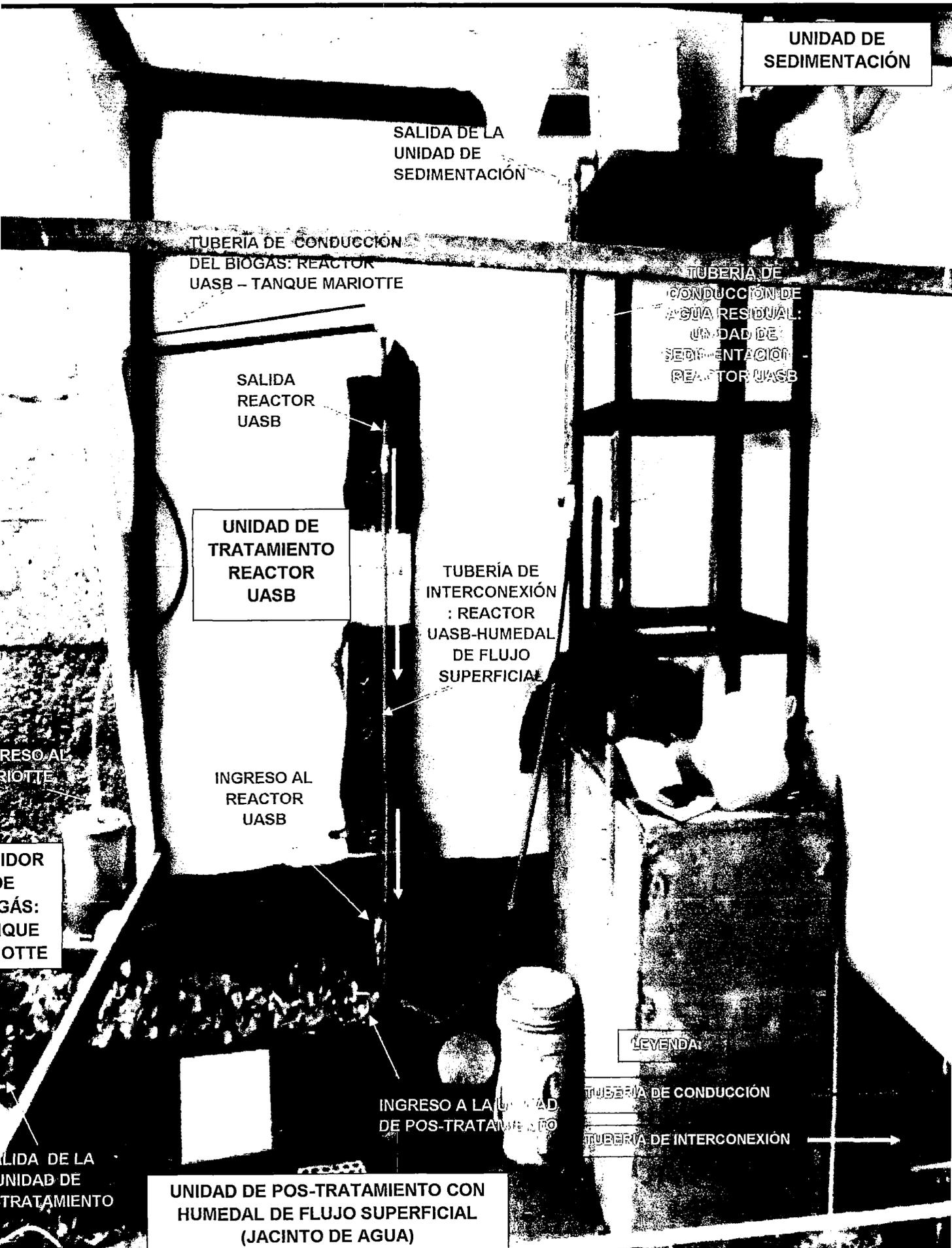
FOTOGRAFIA N° 31	Unidades de Post-tratamiento del efluente del Reactor UASB mediante flujo superficial con plantas Jacinto de agua	Pág.91
FOTOGRAFIA N° 32	Realizando el mantenimiento al Reactor	Pág.93
FOTOGRAFIA N° 33	Componente de sedimentación colmatada	Pág.94
FOTOGRAFIA N° 34	Parte posterior del cono (separador de sólidos gases y líquido)	Pág.95
FOTOGRAFIA N° 35	Mantenimiento del Reactor UASB	Pág.96
FOTOGRAFIA N° 36	Parte interior del cono (separador de sólidos, gases y líquidos)	Pág.97
FOTOGRAFIA N° 37	Tapa del Reactor con presencia de microorganismos	Pág.97
FOTOGRAFIA N° 38	Crecimiento de lodo	Pág.98
FOTOGRAFIA N° 39	Reactor Limpio	Pág.99
FOTOGRAFIA N° 40	Cambio de Jacinto de agua	Pág.100
FOTOGRAFIA N° 41	Proliferación de zancudos	Pág.101
FOTOGRAFIA N° 42	Proliferación de zancudos	Pág.102
FOTOGRAFIA N° 43	Los puntos de toma de muestra	Pág.104
FOTOGRAFIA N° 44	Muestras tomadas en cada punto de análisis	Pág.105
FOTOGRAFIA N° 45	Determinación de la temperatura ambiental	Pág.105
FOTOGRAFIA N° 46	Aforamiento para la determinación del caudal de agua residual en la salida de la unidad de sedimentación	Pág.106
FOTOGRAFIA N° 47	Determinación de la conductividad eléctrica	Pág.107
FOTOGRAFIA N° 48	Turbidímetro para determinar la turbiedad	Pág.108
FOTOGRAFIA N° 49	Acondicionamiento de las capsulas en el desecador	Pág.109
FOTOGRAFIA N° 50	Pesado de las capsulas	Pág.110

FOTOGRAFIA N° 51 Filtrando la muestra para determinar los sólidos disueltos	Pág.110
FOTOGRAFIA N° 52 Filtrando las muestras para determinar los sólidos Disueltos totales y volátiles	Pág.111
FOTOGRAFIA N° 53 Determinación de Sólidos sedimentables mediante el cono	Pág.112
FOTOGRAFIA N° 54 Llenando los frascos con muestras	Pág.113
FOTOGRAFIA N° 55 Incubando las muestras por 5 días	Pág.114
FOTOGRAFIA N° 56 Determinación de la DBO luego de incubarlo por 5 días	Pág.114
FOTOGRAFIA N° 57 Viales para determinar la DQO	Pág.115
FOTOGRAFIA N° 58 Incubación de la muestra en los viales para determinar la DQO	Pág.115
FOTOGRAFIA N° 59 Reactor para pruebas de DQO	Pág.116
FOTOGRAFIA N° 60 Tanque Mariotte, con el que estima la producción de biogas.	Pág.118

RELACIÓN DE ESQUEMAS

ESQUEMA N° 3.1	Esquema de un Reactor UASB con sus principales dispositivos. Fuente Lettinga ef. al (1980)	Pág. 14
ESQUEMA N° 3.2	Esquema de un sistema de tratamiento con Jacinto de agua	Pág. 34
ESQUEMA N° 3.3	Esquema de un humedal con especies flotantes	Pág. 35
ESQUEMA N° 3.4	Sección transversal de un sistema de tratamiento de aguas con Jacinto de agua	Pág. 36
ESQUEMA N° 3.5	Sistema de un estanque en serie	Pág. 37
ESQUEMA N° 4.1	Componentes principales del tratamiento piloto	Pág. 46
ESQUEMA N° 4.2	Detalles para la construcción del Reactor mediante un cilindro y cono acrílicos	Pág. 55
ESQUEMA N° 4.3	Sección del deflector y el separador de sólidos, gases y líquidos	Pág. 57
ESQUEMA N° 6.1	Esquema de unidades de post tratamiento del Reactor UASB	Pág. 82
ESQUEMA N° 6.2	Esquema del controlador en el sedimentador	Pág. 85

TERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN REACTOR UASB Y SU POS-TRATAMIENTO CON PLANTAS ACUÁTICAS (JACINTO DE AGUA TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA A ESCALA DE LABORATORIO"



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ASPECTOS SANITARIOS

El tratamiento de las aguas residuales domésticas es una de las prácticas de tratamiento que más se ha desarrollado, y de acuerdo a los lineamientos ambientales mundiales una de las que más se ha utilizado por los resultados obtenidos en los diversos tratamientos.

Las aguas residuales no sólo concentran aguas con una carga orgánica elevada sino también en algunos casos contienen concentraciones de diferentes productos como son las descargas industriales u otras actividades, por ejemplo para optimizar un tipo de tratamiento de aguas residuales domésticas de toda una localidad de familias, asentamientos humanos, urbanizaciones, ciudades, etc. **se incida en la realización de una detallada caracterización que nos indique el tipo de agua residual que se genera y es ahí donde se determinará el tipo de tratamiento a utilizar.**

Según lo descrito en el párrafo anterior nos hace pensar que únicamente con la caracterización completa bastaría para la determinación del tipo de tratamiento a utilizar, sin embargo de acuerdo a las experiencias conocidas y la revisión de diversos proyectos de inversión en nuestro país nos hace creer que se debería respaldar gran parte de este tipo de planteamientos de tratamiento con investigaciones ejecutadas o la investigación de su comportamiento para una planta piloto.

Uno de los tipos de tratamiento desarrollados ampliamente y considerados masivamente en muchos países en vías de desarrollo es el Reactor UASB (“**Upflow Anaerobic Sludge Blanket**”, “**Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos**”), lo

anteriormente señalado hace que mostremos interés en optimizar aún más ciertos parámetros de tratamiento en los Reactores UASB así como en su post-tratamiento mediante flujo superficial con plantas acuáticas jacinto de agua.

1.2. MARCO LEGAL

1.2.1 NORMAS NACIONALES

La calidad del agua residual depende del uso de las aguas del cuerpo receptor al cual se vierte, o del uso directo de las aguas residuales tratadas.

La ley general de Aguas Decreto Ley N° 17752 y los Decretos supremos N° 261-69-AP y N° 007-83-SA clasifica los cuerpos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país respecto a sus usos de la siguiente manera:

- I.* Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.
- II.* Aguas de abastecimientos domésticos con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aprobados por el Ministerio de Salud.
- III.* Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
- IV.* Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).
- V.* Aguas de zonas de pesca de mariscos bivalvos.
- VI.* Aguas de zonas de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial.

Tabla 1.1: Resumen de las Normas Peruanas para Aguas Receptoras

PARAMETRO	USOS					
	I	II	III	IV	V	VI
Coliformes Totales (NMP/100ml)	8.8	20 000	5 000	5 000	1 000	20 000
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	0	4 000	1 000	1 000	200	4 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/l)	5	5	15	10	10	10
Oxígeno Disuelto OD (mg/l)	3	3	3	3	5	4
pH	05-09	05-09	05-09	05-09	05-09	05-09

Fuente: Reglamento Ley N° 17752 y los Decretos supremos N° 261-69-AP y N° 007-83-SA

1.2.2 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS O MUNICIPALES.

Con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente, el Ministerio del Ambiente publicó el 16/03/2010 en el diario El Peruano el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, por el cual se aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.

Los límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR son:

Tabla 1.2: Resumen de los límites máximos permisibles

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

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

1.2.3 ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA.

Según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM mediante el Ministerio del Ambiente aprueba los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, lo cual decreta:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componentes básicos de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministerio del Ambiente (**Ver anexo 01**)

CAPÍTULO II

2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

I. PLANTEAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

a) Cobertura del servicio:

En el año 2004, la población total del Perú fue de 27.5 millones de habitantes, de los cuales el 71% residió en el área urbana y el 29% en el área rural, en la tabla 2.1 se presenta la cobertura actual de servicios de agua potable y saneamiento a nivel nacional, donde se aprecia una cobertura de 76% de agua y 57% en servicios de saneamiento. En lo que respecta, a las áreas urbanas la cobertura fue de 81% en agua y 68% en saneamiento. Por otro lado, en las áreas rurales, donde vive un 27% de la población, la cobertura de agua potable fue de 62% y saneamiento de 30%. (Plan de Saneamiento 2006 – 2015, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, Lima - Perú).

Tabla 2.1 Cobertura de agua y saneamiento en el Perú – año 2004

ENTIDAD	POBLACIÓN	POBLACIÓN SERVIDA AGUA POTABLE		POBLACIÓN SERVIDA SANEAMIENTO	
	Millones de habitantes	Millones de habitantes	%	Millones de habitantes	%
Urbano	19.6	15.9	81	13.4	68
SEDAPAL	8.0	7.1	89	6.7	84
EPS's Grandes	5.4	4.5	82	3.7	68
EPS's Medianas	3.0	2.4	79	1.8	61
EPS's Pequeñas	0.7	0.4	71	0.3	51
Otras Administraciones	2.5	1.5	60	0.8	33
Rural	7.9	4.9	62	2.4	30
COBERTURA TOTAL	27.5	20.8	76	11.97	57

Fuente: Indicadores de Gestión de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento del Perú. 2001-2004, SUNASS. Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento

Elaboración: VMCS-DNS

La **cobertura de tratamiento de aguas servidas se estimó en 27% a nivel nacional en el año 2007**. Es decir que casi las tres cuartas partes de las aguas residuales generadas no recibieron ningún tipo de tratamiento previo a su disposición final, lo cual representa un serio problema de contaminación al medio ambiente. La cobertura de tratamiento de aguas residuales en el año 1997 fue de un 13%. En el año 2005 solamente dos empresas trataron todas sus aguas negras, entre ellas la empresa de la Provincia de Marañón (Sunáas indicadores 2007).

La gran mayoría de las aguas negras del área metropolitana de Lima-Callao se descargan sin tratamiento al mar, resultando una fuerte contaminación de las playas.

Debido a esta información obtenida se requiere poner mayor énfasis al tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales ya que seguirán contaminado los cuerpos receptores, por ello se desarrollan diversas tecnologías apropiadas en función al costo de operación y mantenimiento que van de la mano con investigaciones realizadas en el Perú, de éste modo se podrán garantizar buenos y completos diseños que garanticen un adecuado tratamiento, y se complementen con adecuados manuales de operación y mantenimiento.

Tabla 2.2 Porcentaje de población que tienen acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado.

		Urbano (74% de la población)	Rural (26% de la población)	Total
Agua potable	Definición amplia	89%	65%	83%
	Conexiones domiciliarias	82%	39%	71%
Saneamiento	Definición amplia	74%	32%	63%
	Alcantarillado	67%	7%	52%

Fuente: Programa de Monitoreo Conjunto OMS/UNICEF (JMP/2006). Datos de agua y saneamiento basados en "Desigualdades en el acceso, uso y gasto con el agua potable en América Latina y el Caribe: Perú," (PAHO febrero de 2001; basado en el ENNIV (1997)) y Encuesta Demográfica y de la Salud en el Perú (1996).

II. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

En nuestro país, de acuerdo a la información recopilada, son pocas las investigaciones sobre sistemas de tratamientos empleando unidades de tratamiento Reactores UASB, por lo tanto es importante conocer las ventajas y desventajas de estas unidades de tratamiento, así mismo en cuánto puede contribuir dicha unidad para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Muchos proyectos se realizan sin considerar las ventajas y/o desventajas de las unidades de tratamiento dejándose llevar por referencias. Cabe indicar que los Reactores UASB tienen muchas ventajas comparativas con respecto a otros tipos de tratamientos, pero en las pocas investigaciones encontradas no se encuentran bases de datos que sustenten dichas ventajas.

Debido a que hay poca información sobre el efecto que podría causar el tiempo de retención hidráulica en el tratamiento del agua residual doméstico empleando Reactores UASB y un post-tratamiento con plantas acuáticas Jacinto de agua, se quiere demostrar que los tiempos de retención son muy importantes para el diseño ya que estos podrían ocasionar complicaciones en el funcionamiento de un sistema de tratamiento a escala real.

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL:

- ✓ Determinar experimentalmente el tiempo de retención hidráulica óptimo del Reactor UASB en función al porcentaje de remoción de la materia orgánica.

2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS:

- ✓ Caracterización del agua residual doméstica.
- ✓ Encontrar los parámetros de operación y funcionamiento en nuestro sistema de tratamiento piloto.
- ✓ Caracterización del efluente de la unidad de sedimentación, Reactor UASB, y en la unidad de post-tratamiento con humedal de flujo superficial con plantas Jacinto de agua.

2.4 HIPÓTESIS:

- ✓ Según experiencias pasadas las eficiencias del tratamiento de las aguas residuales domésticas con un Reactor UASB y la unidad de post-tratamiento con humedales de flujo superficial con plantas Jacinto de agua se ven influenciadas por el tiempo de retención hidráulica (TRH), por lo tanto se tendrá mayor remoción de la materia orgánica a mayor tiempo de retención hidráulica.

2.5 VARIABLES DEL ESTUDIO:

Teniendo en consideración los indicadores de contaminación, se han seleccionado para el proceso de monitoreo las siguientes variables:

2.5.1 Variable independiente

- ✓ Lodo proveniente del RAFA CITRAR - UNI

2.5.2 Variable dependiente

- ✓ La calidad de agua en el efluente del sistema de tratamiento realizado y caracterizada con los siguientes parámetros:
 - ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
 - ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO)
 - ✓ Sólidos Totales
 - ✓ Sólidos Disueltos
 - ✓ Sólidos Suspendidos Totales (SST)
 - ✓ Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV)
 - ✓ Sólidos Sedimentables (SS)
 - ✓ Conductividad Eléctrica
 - ✓ Potencial de Hidrogeno (pH).
 - ✓ Oxígeno Disuelto (O.D.)
 - ✓ Producción de Biogás

2.5.3 Variable intervinientes

- ✓ Temperatura (° T)
- ✓ Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)
- ✓ Caudal (Q)

2.6 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Actualmente, los tratamientos biológicos han cobrado un gran interés en los procesos de tratamiento de aguas residuales. Su utilización se fundamenta en el aprovechamiento de la capacidad de microorganismos para degradar, acumular, adsorber, precipitar o volatilizar una gran variedad de contaminantes presentes en aguas o efluentes. Una etapa que juega un importante rol en el desarrollo de estos procesos, es el diseño de los reactores biológicos.

En el diseño del reactor biológico se tuvo en cuenta, además del tipo de proceso microbiológico, el efecto del flujo, el tiempo de retención, el pH, la temperatura, la biomasa, la concentración de nutrientes y la velocidad de agitación para que se desarrolle en forma óptima la conversión de los lodos arsenicados, provenientes del proceso de potabilización del agua que se realiza en las plantas localizadas en Antofagasta y Calama en el país de Chile. (*Elizabeth Lam Esquenazi, et al, 2011.*)

Últimas experiencias referidas a la determinación de parámetros de diseño y operación de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB) a escala piloto, para el tratamiento de aguas residuales municipales. Se operaron Reactores UASB cilíndricos con capacidades de 34, 84 y 126 L, con distintas relaciones altura-diámetro, alimentados con agua residual municipal proveniente del Colector Marginal Izquierdo Río Valle, utilizando como inóculos Lodo Granular Cervecerero y Lodo Primario Municipal llevado a condiciones anaerobias. Se evaluaron tiempos de retención hidráulica entre 24 y 4 horas, con velocidades de ascenso entre 0,07 y 0,43 m/h, con cargas orgánicas asociadas entre 0,10 y 3,63 Kg DQO/m³. d. Se alcanzaron remociones de materia orgánica hasta 76% en términos de DQO y DBO_{5, 20}, incrementándose generalmente a medida que lo hacía la

velocidad de ascenso. Se concluye que para el tratamiento de aguas residuales diluidas se puede operar con tiempos de retención tan bajos como 4 h, pero su diseño debe contemplar menores relaciones alto/ancho, de forma que las velocidades no superen los 0,30 m/h, por la posibilidad de arrastre de lodo. (*Dilia I. Montoya et al, 2003*).

Otro estudio que se realizó fue el efecto del tiempo de retención hidráulica (TRH) en el funcionamiento de un Reactor UASB tratando efluentes cárnicos bajo condiciones mesofílicas. Se evaluó la concentración promedio de demanda química de oxígeno (DQO) del efluente cárnico de 8500 mg DQO/L a TRH de 36, 24 y 12 h obteniéndose cargas orgánicas (CO) de 5,7; 8,5 y 17 kg DQO/m³d respectivamente. Cada TRH se mantuvo hasta alcanzar valores estables en los parámetros operacionales. Los resultados demostraron la eficiencia del Reactor UASB tratando efluentes cárnicos obteniéndose un porcentaje de remoción de DQO promedio de 79% para la CO de 17 kg DQO/m³d a TRH de 12 h. Se obtuvo una disminución en el porcentaje de remoción de DQO promedio entre 1 y 8% con la variación del TRH. Los cambios en el TRH afectaron la concentración de AGV y SSV, obteniéndose los máximos valores para el TRH de 12 h. El porcentaje de metano estuvo en el rango de 59 – 64%. (*Yaxcelys A. Caldera M. et al, 2006*).

Se operaron tres Reactores tipo UASB, utilizando glucosa como sustrato con una carga orgánica de 1 kg DQO/kg SSV.d y diferentes TRH en cada digester. El objetivo fue determinar la influencia del TRH sobre el arranque y la eficiencia de remoción de la DQO.

Los resultados muestran que TRH de 6 y 12 ayudaron a la obtención de arranques relativamente rápidos (85 y 75 días respectivamente) mientras que a 24 h el arranque fue más largo (146 días). Asimismo, se observó que a 6 h de TRH, en presencia de una alta concentración de sales de nitrógeno, la tasa de crecimiento de los microorganismos fue elevada. Las eficiencias de remoción obtenidas oscilaron entre 78.5 y 82.7 % en los tres casos (*Marcela Lara M. et al, 1995*).

Un trabajo de investigación realizó un estudio comparativo acerca de la capacidad depuradora de cinco plantas acuáticas flotantes sobre las aguas residuales. Para analizar el efecto depurador de las plantas se trabajó además con controles (sin plantas) los cuales funcionaron como lagunas de estabilización.

Los resultados obtenidos demuestran que mediante el uso de estas plantas se pueden obtener buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de las aguas residuales domésticas, siendo significativo las remociones en carga de nitrógeno entre 7 y 38 kg de NTK/Ha.d y cargas de fósforo entre 0,9 y 13 kg de Pt/Ha.d, observándose que el tamaño de la planta así como su sistema radicular influyen en la remoción de contaminantes.

Las plantas utilizadas presentan velocidades de crecimiento entre 123 y 487 g/m².d (peso húmedo), con un contenido de proteínas entre 25 y 30% (base seca). ***(Rodríguez Pérez de Agredas Celia et al, "Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales", La Habana Cuba)***

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

3.1 REACTOR UASB

El Reactor UASB fue desarrollado en la década de los años 70 por el Prof. Lettinga y su equipo de la Universidad Agrícola de Wageningen – Holanda. Es un tipo de Reactor anaerobio hoy utilizado muy frecuentemente en el tratamiento de aguas residuales es el Reactor UASB (del término inglés: upflow anaerobic sludge blanket), el cual es un Reactor de flujo ascendente y manto de lodos y se ha utilizado en industrias de producción de alimentos, plantas azucareras, cervecerías, fábricas de conservas alimenticias, industrias de celulosa y papel, etc.

Varias unidades en escala real están ubicadas en diferentes países, operando en regiones tropicales y subtropicales; sin embargo, pocos estudios se han realizado en regiones con clima templado (van Haandel y Lettinga, 1994).

En la Tabla 3.1 se presenta una comparación entre diversos sistemas de tratamiento de agua residual en función a la población atendida y la superficie requerida.

El esquema 3.1 muestra un esquema del Reactor UASB con sus principales dispositivos, siendo el más característico el separador gases, sólidos y líquidos (GSL). Este separador es colocado en el Reactor y divide la parte inferior o zona de digestión, donde hay un lecho (manto) de lodos responsable de la digestión anaerobia y una parte superior o zona de sedimentación. El agua residual ingresa por el fondo del Reactor y sigue una trayectoria ascendente, pasando por la zona de digestión, atravesando una abertura existente en el separador GSL y entra a la zona de sedimentación. La materia orgánica presente se mezcla con el lodo anaerobio presente en la zona de digestión, existiendo la digestión anaerobia que resulta en la producción de gas y el crecimiento de lodo.

Tabla 3.1 Comparación de diversos sistemas de tratamiento de agua residual

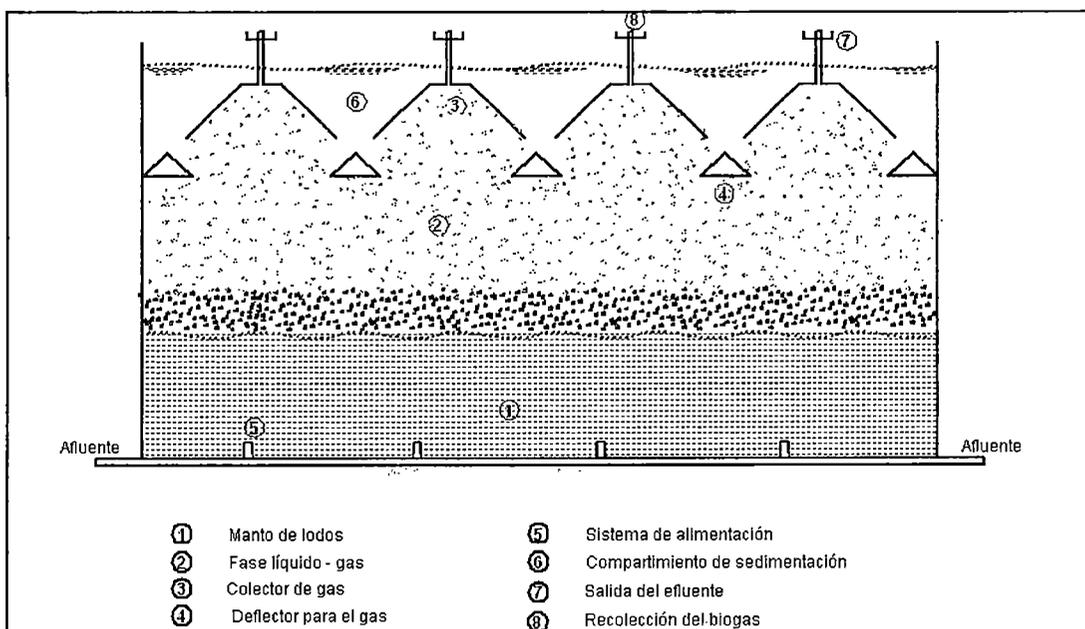
Sistema	Población beneficiaria (habitantes)	Contribución per cápita (L/hab día)	Superficie requerida (m²/hab)
Aplicación en el suelo			
Irrigación	7000	150	22.5 a 87.0 ¹
Rebalse de agua por tierra	7000	150	7.5 a 22.5 ¹
Infiltración	7000	150	0.3 a 10.5 ¹
Lagunas de estabilización	1000 a 50000	150	2.6 ¹
Facultativa	1000 a 50000	150	2.3 ²
Anaerobia + facultativa	1000 a 50000	150	0.4 ²
Aireación + sedimentación			
Tanque séptico + infiltración en Pozas	500	150	4 to 6 ¹
+ Filtro anaerobio (Upflow)	500	150	0.3 ¹
Lagunas de oxidación	Sobre 10000	150	0.2 ⁴
Sistema convencional	Sobre 10000	150	0.03 ⁵
Lodos activados + Digestión anaerobia		250	0.05 ⁵
UASB Reactor	Sobre 1000	150	0.01 a 0.11 ⁶
		250	0.02 a 0.12 ⁶

¹ Superficie tierra, circulación, etc. no incluida, ² Incluido estimada de 30% del área para circulación, pendiente, etc., ³ Máxima población: 500 habitantes (Norma Brazileira), ⁴ Lechos de secado incluido, ⁵ Considerando secado mecánico de lodos, ⁶ El menor valor corresponde al secado mecánico de lodos; el mayor a lechos de secado

Fuente: Vieira y García (1992).

El líquido continúa ascendiendo y pasa por las aberturas que existen en el separador GSL. Debido a la forma del separador, el área disponible para la

ascensión aumenta a medida que el líquido se aproxima a la superficie del agua, por tanto su velocidad tiende a disminuir. De ese modo los flocs de lodo que son arrastrados y pasan por las aberturas del separador encuentran una zona tranquila. En esa zona es posible que la velocidad de sedimentación de una partícula se torne mayor que la velocidad de arrastre del líquido a una determinada altura.



Esquema N° 3.1 Esquema de un Reactor UASB con sus principales dispositivos. Fuente: Lettinga *et. al.* (1980).

Cuando se acumula una cantidad suficientemente grande de sólidos el peso aparente de ellos se tornará mayor que la fuerza de adherencia, de modo que estos se deslizarán, entrando nuevamente en la zona de digestión en la parte inferior del Reactor. De esta manera la presencia de una zona de sedimentación encima del separador GSL resulta en la retención de lodos, permitiendo la presencia de una gran masa en la zona de digestión, en tanto que se descarga un efluente libre de sólidos sedimentables.

Las burbujas de biogás que se forman en la zona de digestión, suben a la fase líquida donde encuentran una interfase líquido-gas, presente debajo del separador GSL. En esta interfase las burbujas se desprenden,

formando una fase gaseosa. Los flocs de lodos eventualmente adheridos a las burbujas, pueden subir hasta la interfase pero al desprenderse del gas caen para ser parte nuevamente del manto de lodos en la zona de digestión. Las burbujas de gas que se forman debajo del separador precisan ser desviadas para evitar que pasen por las mismas aberturas, creando turbulencia en la zona de sedimentación. Por tanto se utilizan obstáculos que funcionan como deflectores de gas debajo de las aberturas. En la Tabla 3.2 se pueden observar algunos aspectos relevantes de algunos tipos de tratamiento de agua residual

Tabla 3.2 Aspectos importantes de diferentes sistemas de tratamiento de agua residual

Aspecto	Lodos activados	Lagunas de estabilización	UASB
Desempeño			
Remoción de sólidos en suspensión	> 95 %	> 80 %	> 80 %
MO	> 95 %	> 90 %	> 80 %
Patógenos	90 %	> 99.99 %	> 80 %
Nutrientes	> 90 %	> 20 %	> 20 %
Tamaño			
Tiempo de permanencia	12 – 24 h	20 – 30 días	4 – 8 h
Volumen per cápita	75 – 150 l	3 – 4 m ³	25 – 50 l
Área per cápita	0.02 – 0.04 m ²	3 – 4 m ²	0.01 – 0.02 m ²
Costos			
Construcción	Muy alto	Muy alto	Bajo
Operación	Muy alto	Bajo	Bajo
Mantenimiento	Muy alto	Bajo	Bajo
Problemas causados	Aerosoles	Insectos, olores, estética (paisaje)	Olores
Otros			
Simplicidad	Complicada	Simple	Simple
Confiabilidad	Depende de la energía eléctrica, a veces el lodo no decanta	Olores cuando no hay sol	Confiable

Fuente: Van Haandel (1998).

3.1.1 FUNDAMENTOS DEL PROCESO UASB

El desarrollo de tecnologías anaerobias para el tratamiento de lodos y residuos de alto contenido de materia orgánica se ha incrementado en los últimos 10 años. En condiciones anaerobias suelen ocurrir procesos como la desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénicas. La conversión de la materia presente en el agua residual en metano es realizada por una comunidad microbiológica heterogénea compuesta por dos bacterias: **No Metanogénicas y Metanogénicas.**

La relación simbiótica que debe mantener el grupo de bacterias conserva una asociación sintrófica ya que las bacterias acetogénicas conocidas como bacterias productoras obligadas de Hidrógeno producen Acetato e hidrógeno, el cual es utilizado por las bacterias metanogénicas y hidrogenofilicas.

Los métodos de tratamiento anaerobio se han desarrollado en dos líneas.

a) Bajas tasas de aplicación (Digestores de Biogás, Tanques Sépticos, Lagunas Anaerobias).

b) Altas tasas de Carga Orgánica (Reactores con Crecimiento Celular en Suspensión, Reactores con Biopelícula Fija).

El Reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un Reactor de Biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH_4 y CO_2 .

3.1.2 PARAMETROS DE SEGUIMIENTO EN UN REACTOR UASB

La operación del Reactor está basada en el monitoreo de varios parámetros. Estos parámetros están relacionados ya sea con el agua residual, el lodo, el Reactor, el contacto del agua residual con el lodo y la forma como esté distribuido en el interior del Reactor. En esta parte se discutirán los parámetros más importantes los cuales son

necesarios para la operación del sistema UASB.

3.1.2.1 Temperatura

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15°C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la sedimentación, mientras que por encima de 15 °C la biodegradación se incrementa. La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. Los ambientes anaeróbicos en relación con la temperatura pueden subdividirse en tres categorías: psicofílico (0 a 20°C), mesofílico (20 a 40 °C) y termofílico (45 a 65°C). Si el intervalo de temperatura en el Reactor cambia, es necesario arrancar el Reactor de nuevo. En el rango mesofílico, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye a la mitad por cada 10°C de descenso por debajo de 35°C. Los cambios de temperatura en el intervalo mesofílico pueden tolerarse normalmente, pero cuando la temperatura desciende la carga también debe disminuirse de acuerdo con el descenso de la actividad esperada.

3.1.2.2 Potencial de hidrogeno (pH)

La influencia del pH sobre la producción de metano está relacionada con la concentración de ácido graso volátil (AGV). Los diferentes grupos bacterianos presentan niveles de actividad satisfactorios a pH próximos pero un poco diferentes; los hidrolíticos entre 7,2 y 7,4, los acetogénicos entre 6,5 y 7,5. Las bacterias metanogénicas disminuyen su actividad si el pH aumenta por encima de 7,8. Cuando la capacidad metanogénica está continuamente sobrecargada y no se añade la base necesaria para neutralizar los ácidos grasos volátiles (AGV) presentes, el sistema de tratamiento se convertirá en un Reactor de acidificación, el pH de este efluente estará entre 4,5 y 5,3.

3.1.2.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20 °C y en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Se utiliza para el cobro de la tasa retributiva. Medida en el afluente y efluente del Reactor permite calcular la remoción del mismo.

3.1.2.4 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es una medida de la materia orgánica en la muestra equivalente, a la cantidad de oxígeno que se puede oxidar químicamente en un medio ácido. Puede relacionarse con la DBO5. La oxidación se realiza con un agente oxidante fuerte en un medio ácido. Tiene la misma importancia que la DBO5.

3.1.2.5 Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

Son la mayoría de los productos intermedios de la digestión anaeróbica del material degradable a metano: ácidos acético, propiónico y butírico. Se mide en mg Ac. Acético/L. La concentración de ácido graso volátil (AGV) en el efluente debe ser muy baja y debe mantenerse en estos niveles ya que los incrementos de éstos por encima de la capacidad buffer del sistema tiene un efecto inhibitor de los compuestos intermedios que se produce en función de su grado de ionización.

La actividad metanogénicas está, así mismo, relacionada con la capacidad de tiempo que el lodo tiene para adaptarse a los ácido graso volátil (AGV) del sustrato usado. Los ácido graso

volátil (AGV) son degradados por bacterias acetogénicas hasta ácido acético, que constituye el mayor sustrato de las bacterias metanogénicas.

3.1.2.6 Alcalinidad

Cuantifica la capacidad del agua residual de neutralizar ácidos. Se mide en mg de CaCO_3/L . Es debida principalmente a la presencia de iones bicarbonato, carbonato e hidroxilo. Se ha demostrado que cuando la relación entre ácido graso volátil (AGV) y la alcalinidad del medio supera 0,3-0,4 es indicador de fallo inminente en el sistema de digestión anaerobia.

3.1.2.7 Sólidos

La materia suspendida o disuelta que se encuentra en un agua residual recibe el nombre de sólidos. Se divide en tres categorías:

- Sólidos Totales: sedimentables, suspendidos y disueltos.
- Sólidos Suspendidos: porción retenida por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poros.
- Sólidos Disueltos: porción que pasa por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poros.

Estos a su vez se dividen en fijos (quedan después de la ignición de la muestra) y volátiles (pérdida de peso de la muestra durante la ignición). La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de Reactores biológicos, que junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el Reactor.

Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) representan la porción orgánica de los sólidos suspendidos totales (SST).

3.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL REACTOR UASB:

- Mayor superficie para la adhesión de microorganismos.
- Mayor concentración de bacterias que en otros sistemas, lo cual permite operar con velocidades de carga orgánica más elevadas.
- Minimización de problemas de colmatación por sólidos.
- Elevada velocidad de transferencia de materia, que facilita el tratamiento de aguas con un alto contenido de materia orgánica.
- Pérdida de presión en el lecho moderada.
- Concentración de lodos volátiles en la fuente moderada.

3.1.4 VENTAJAS DEL REACTOR UASB:

- Baja producción de lodos (10% en relación al tratamiento aerobio).
- Bajos requerimientos nutricionales.
- El proceso puede manejarse con altas cargas intermitentes.
- Los lodos se conservan (sin alimentación) por largos períodos de tiempo.
- Producción de metano aprovechable.
- Bajos costos de operación al no requerir oxígeno.
- Identificación y medición de productos intermedios que proporcionan parámetros de control adicionales.
- Costo de inversión bajo.
- La fermentación ácida y metánica, así como la sedimentación tienen lugar en el mismo tanque, por lo cual las plantas son muy compactas.
- Como no hay relleno, se reduce la posibilidad de cortos circuitos, obstrucciones y puntos muertos.
- El consumo de potencia es bajo, puesto que el sistema no requiere ninguna agitación mecánica.
- La retención de biomasa es muy buena y por eso no es necesario reciclar el lodo.

3.1.5 DESVENTAJAS DEL REACTOR UASB:

- Las bacterias anaerobias (particularmente las metanogénicas) se inhiben por un gran número de compuestos.
- El arranque del proceso es lento.
- Su aplicación debe ser monitoreada.
- Puede requerir un pulimiento posterior de su efluente.
- Generación de malos olores si no es eficazmente controlado.

3.2 TRATAMIENTO CON PLANTAS ACUÁTICAS (*Eichhornia crassipes* - Jacinto de agua)

3.2.1 Características de la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)

- Nombre científico o latino: *Eichhornia crassipes*
- Nombre común o vulgar: Jacinto de agua, Camalote, Lampazo, Violeta de agua, Buchón, Taruya, Lirio de agua, lechuga de agua, lechuguino.
- Familia: Pontederiaceae (Pontederiáceas).
- Origen: cursos de agua de la cuenca del Amazonas, en América de Sur.
- Se han distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos.
- Son consideradas malas hierbas, que pueden obstruir en poco tiempo una vía fluvial o lacustre.
- Especie flotante de raíces sumergidas. Carece de tallo aparente, provisto de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.
- Hojas sumergidas lineares, y las emergidas, entre obovadas y redondeadas, provistas de pequeñas hinchazones que facilitan la flotación.
- En verano produce espigas de flores lilas y azuladas que recuerda vagamente a la del jacinto.
- Las raíces son muy características, negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes, negros violáceos cuando son adultas.
- Usos: para adornar pequeños lagos, embalses, pero sobre todo para estanques y también acuarios.

- Ofrece un excelente refugio para los peces protegiéndolos del sol excesivo, de las heladas y a los alevines del embate de las aves de pecho amarillo de nombre benteveos (*Pitangus sulphuratus*).
- Las raíces constituyen un excelente soporte para la puesta de huevos (desove) de las especies ovíparas (*carasius*, *carpas*, etc.), Las raíces del camalote no sólo le servirán de soporte para los huevos, si no que son un refugio para los alevines, e incluso en ellas se desarrolla una microflora que sirve como alimento inicial para los mismos.
- Luz: sol o semisombra. Requiere iluminación intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una rampa luminosa completa.
- Temperaturas: en invierno la planta debe ser protegida en invernadero frío en climas con heladas, manteniéndola siempre en agua.
- Se cultiva a una temperatura entre 20-30 °C. No resiste los inviernos fríos (hay que mantenerla entre 15-18 °C en contenedores con una profundidad de al menos 20cm. y una capa delgada de turba en el fondo). Puede rebrotar en primavera si se hiel.
- Necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación.
- Multiplicación: mediante división de los rizomas.
- Durante el verano se reproduce fácilmente por medio de estolones que produce la planta madre, llegan formarse verdaderas "islas" de gran porte.
- Esta especie está considerada entre las 100 especies más invasoras del mundo por la UICN (Unión internacional para la conservación de la naturaleza). Es por ello que hoy en día se desaconseja su utilización por particulares, para evitar que se siga extendiendo esta plaga a los ríos por imprudencia en su uso.
- Como consecuencia de su proliferación está creando en ríos y lagos importantes problemas en canales de riego agrícolas y afecciones a los ecosistemas ribereños, ya que cubre como una manta toda la superficie del río, por su fácil reproducción vegetativa y sexual. Esto

se debe a que es una especie alóctona sin predadores, ni competidores en muchos sitios.

- Como es invasora, puede que al retirar el exceso de un estanque o acuario particular, vaya a parar a entornos naturales y cause estos daños ecológicos.

3.2.2 Historia

Se introdujo primero en los Estados Unidos desde Venezuela y se exhibió en la Exposición de Algodón de Nueva Orleans en 1884. Los amantes de los jardines la adoptaron como planta ornamental sembrándola en piscinas y estanques. Al poco tiempo, superaron los límites de estanques ornamentales e invadieron los arroyos, canales, conductos de aguas de regadío, vías fluviales y lacustres, convirtiéndose así en una molesta plaga.

Las potencialidades de esta planta fueron descubiertas por Sir Albert Howard en 1920. Este brillante científico especializado en agricultura, realizó estudios sobre la planta en India y publicó artículos relacionados con el aprovechamiento de ésta en la depuración de aguas residuales, usos derivados como abono orgánico y alimento para ganado porcino.

3.2.3 Composición química

Así como las algas, la hierba del lecho del río y demás plantas acuáticas, el jacinto de agua tiene un alto contenido de agua entre 93 y 95%. Esta composición varía dependiendo del medio en el cual crezca la planta. Cuando hay escasez de elementos fertilizantes, se inhibe el crecimiento de la planta. Por el contrario, en abundancia de nutrientes, la planta se desarrolla a su máximo límite, adquiriendo un intenso color azul-verdoso.

Para realizar el análisis de la composición del jacinto de agua se tomaron dos muestras, la primera (1) de un estanque pobre en nutrientes y la segunda (2) de una corriente lenta en donde las sales tienden a acumularse.

Tabla Nº 3.3 Composición química del Jacinto de agua.

	Contenido de agua %	Materia seca %	Nitrógeno % Sustancia seca	Ceniza % Sustancia seca
Nº 1	93.0	7.0	1.33	23.17
Nº 2	93.4	6.6	2.01	23.90

3.2.4 Mecanismos de depuración

Los principales mecanismos de depuración del jacinto de agua que actúan sobre las aguas residuales industriales son los siguientes:

Eliminación de sólidos en suspensión: Los sólidos se eliminan por sedimentación, decantación, filtración y degradación a través del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas del jacinto de agua.

Eliminación de materia orgánica: La eliminación de la materia orgánica del agua es realizada por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta y que reciben el oxígeno a través de un sistema de aireación muy especializado. Una parte de la aireación del agua también se realiza por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua. También se elimina una parte de la materia orgánica por sedimentación.

Eliminación de nitrógeno: El nitrógeno se elimina por diversos procesos: absorción directa por la planta y, en menor medida, por fenómenos de nitrificación-desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias.

Eliminación de fósforo: El fósforo se elimina por absorción por el jacinto de agua, adsorción sobre las partículas de arcilla y precipitación de fosfatos insolubles, principalmente con Fe y Al, en suelos ácidos y con calcio en suelos básicos.

Eliminación de microorganismos patógenos: Por filtración y adsorción en partículas de arcilla, acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), toxicidad por antibióticos producidos por las raíces y por la radiación UV contenida en los rayos solares.

Trazas de Metales: Tienen una alta afinidad por adsorción y complejación con materia orgánica y pueden ser acumulados en los humedales. También existen transformaciones microbianas y asimilación por la planta, mediante la raíz, la cual atrapa y fija entre sus tejidos concentraciones hasta de 100 mil veces superiores a las del agua que las rodea.

La reducción o eliminación de contaminantes de las aguas residuales, por medio de ecosistemas acuáticos, con la participación activa de plantas superiores (macrófitas) adaptadas al medio acuático (hidrófitos), se conoce tradicionalmente como fitodepuración. La fitodepuración de las aguas residuales puede efectuarse por humedales naturales, en los que el hombre no interviene en su construcción o mediante humedales artificiales especialmente diseñados y construidos para la optimización de su función depuradora.

3.2.5 Interrelación del jacinto de agua y mecanismos de depuración que ocurren dentro del estanque.

En el medio ambiente natural, cuando interacciona el agua, el suelo, las plantas y microorganismos y la atmósfera, se producen procesos físicos, químicos, y biológicos. Los sistemas de tratamiento se diseñan para aprovechar estos procesos con objeto de proporcionar tratamiento al agua.

Los procesos que intervienen en los sistemas de tratamiento natural incluyen muchos de los utilizados en las plantas de tratamiento.

- Sedimentación
- Filtración
- Transferencias de gases
- Adsorción
- Intercambio iónico
- Precipitación química
- Conversión y descomposición biológica

- Procesos propios como la fotosíntesis, la fotooxidación, y la asimilación de las plantas.

A diferencia de los sistemas mecánicos, en los que los procesos se llevan a cabo, de forma secuencial, en diferentes tanques y Reactores a velocidades aceleradas como consecuencia del aporte energético, en estos sistemas los procesos se producen a velocidades "naturales" y tienden a realizarse de forma simultánea en un único "ecosistema".

El sistema del jacinto de agua es un filtro vivo, es un sistema de tratamientos de aguas abajo costo, hecho por el hombre de tal forma de emular y maximizar los procesos naturales de purificación conocidos y que se producen en estos sistemas.

En estos sistemas las plantas acuáticas bombean oxígeno desde el aire (atmósfera) hacia las raíces para así poder sobrevivir dentro de su hábitat.

La fina capa de oxígeno que cubre las raíces de las plantas que soportan a una población diversa de microbios aerobios que digieren moléculas orgánicas y a su vez liberan dióxido de carbono y agua.

La combinación de digestión y la absorción que toma lugar en este sistema provee de una reducción del CTO (Consumo Total de Oxígeno) y en la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y en las concentraciones compuestos tóxicos (metales pesados).

Estos tratamientos son capaces de eliminar, hasta cierto punto, casi todos los constituyentes del agua considerada como contaminantes.

- Sólidos suspendidos
- Materia Orgánica
- Nitrógeno
- Fósforo
- Elementos traza.
- Compuestos orgánicos de traza.

➤ Microorganismos patógenos.

a) **Sólidos suspendidos.-** Los sólidos suspendidos del agua se eliminan por sedimentación, potenciada por las reducidas velocidades de circulación y por la escasa profundidad, y por filtración a través de las formas vivas y de los desechos vegetales. En la interfase suelo se produce una eliminación adicional.

b) **Materia orgánica.-** La materia orgánica degradable presente en el agua, ya sea soluble o insoluble, se elimina por degradación microbiana. Los microbios responsables de esta degradación suelen estar asociados a películas que se desarrollan sobre la superficie de las partículas del suelo, vegetación y desechos vegetales. En general, éstos sistemas se diseñan y explotan de modo que resulte posible mantener condiciones aeróbicas, con la intención de que la degradación de la materia orgánica se realice, principalmente, gracias a la acción de microorganismos aeróbicos, ya que la descomposición aeróbica tiende a ser mas rápida y completa que la anaerobia y por lo tanto, se consiguen evitar los problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia.

c) **Nitrógeno.-** El nitrógeno es un elemento esencial puesto que es un elemento de proteínas. Las fuentes de nitrógeno en un estanque incluyen principalmente nitrógeno atmosférico (N_2) y productos de descomposición provenientes de materias orgánicas presentes en el estanque. La transformación y eliminación de nitrógeno en estos sistemas implica una serie de procesos y reacciones complejas. Los mecanismos implicados en la eliminación de nitrógeno del agua dependen de la forma en que esta presente el nitrógeno.

- Nitrógeno orgánico
- Nitrógeno amoniacal (NH_3 Amoniac libre o No Ionizado y NH_4 Amonio Ionizado).
- Nitrógeno en forma de nitratos (Nitritos NO_2 y Nitrato NO_3)
- Desnitrificación Biológica

c.1) Nitrógeno orgánico.- El nitrógeno orgánico asociado a los sólidos suspendidos presentes en el agua, se elimina por sedimentación y filtración. El nitrógeno orgánico en fase sólida se puede incorporar directamente al humus del suelo, que consiste en moléculas orgánicas complejas de gran tamaño que contienen carbohidratos complejos, proteínas, sustancias proteínicas y ligninas. Parte del nitrógeno orgánico se hidroliza para formar aminoácidos que se pueden descomponer, adicionalmente para producir iones amonio (NH_4).

c.2) Nitrógeno amoniacal.- En estos sistemas de tratamiento, el nitrógeno amoniacal puede seguir diferentes vías de descomposición. El amoníaco soluble se puede eliminar por volatilización directa a la atmósfera en forma de amoníaco gas. Esta vía de eliminación es de un 10%.

La mayor parte del amoníaco afluente y del amoníaco convertido se absorbe temporalmente, mediante reacciones de intercambio iónico, sobre las partículas del suelo y sobre las partículas orgánicas dotadas de carga. El amoníaco absorbido es apto para el consumo por la vegetación y los microorganismos, o para la conversión a nitrógeno en forma de nitrato mediante la nitrificación biológica bajo condiciones aeróbicas.

c.3) Nitrógeno en forma de nitrato.- No sufre reacciones de intercambio iónico debido a su carga negativa, permanece en solución, y es transportado como parte del agua percolada. Si no se elimina por consumo de las plantas o por procesos de desnitrificación, el nitrato es lixiviado o percolado alcanzando las aguas subterráneas subyacentes. La vegetación puede asimilar los nitratos, pero ello solo se produce en las proximidades de las raíces durante los periodos de crecimiento activo, la que posteriormente se debería recoger y retirar de sistema.

Los nitratos son fácilmente asimilados para nuevos tejidos por las plantas, o se convierte en nitrógeno elemental por la bacteria de desnitrificación. Algunos nitratos se pierden en los sedimentos.

- d) Desnitrificación / Nitrificación Biológica.-** Los nitratos también se eliminan por desnitrificación biológica y posterior liberación del óxido nítrico gaseoso y del nitrógeno molecular a la atmósfera. En los sistemas acuáticos la desnitrificación biológica es el principal mecanismo de eliminación de nitrógeno. Para que la desnitrificación sea completa, es necesario que la relación carbono/nitrógeno sea de al menos 2:1.

En la nitrificación, la bacteria del género *Nitrosomonas* convierte el amoníaco en nitrito, y la bacteria del género *Nitrobacter* convierte nitrito en nitrato bajo ciertas condiciones. Estas formas inorgánicas pueden ser tóxicas, es por esta razón que la amonificación, nitrificación y desnitrificación son procesos importantes en los sistemas de acuicultura.

- f) Fósforo.-** Los principales procesos de eliminación de fósforo que se producen son por adsorción, precipitación química y las plantas que los consumen. El fósforo, normalmente presente en forma de ortofosfato, es absorbido por minerales arcillosos y determinadas fracciones orgánicas de la matriz del suelo. La precipitación química con calcio (a pH's neutros o alcalinos) o con hierro o aluminio (a pH's ácidos), se produce a menor velocidad que los fenómenos de adsorción. Estos sistemas acuáticos, presentan un potencial de eliminación de fósforo limitado.

- h) Elementos traza.-** La eliminación de los elementos traza (principalmente metales) se produce, fundamentalmente, por el mecanismo de adsorción (término que engloba reacciones de adsorción y precipitación) y, en menor grado, mediante la asimilación de algunos metales por parte de las plantas.

Los metales son retenidos en el suelo o en los sedimentos de los sistemas acuáticos. Los rendimientos de eliminación suelen ser menores al 80% debido al contacto limitado con sólidos y sedimento.

- i) Compuestos Orgánicos a nivel de traza.-* Los compuestos orgánicos de traza se eliminan del agua por volatilización y adsorción seguidas de degradación biológica o fotoquímica.

En general, los sistemas permiten eliminar una fracción importante de los compuestos orgánicos de traza; sin embargo los datos de que se dispone en la actualidad no permiten predecir los rendimientos de eliminación de compuestos individuales.

- j) Microorganismos.-* Los mecanismos de eliminación de las bacterias y parásitos (protozoos y helmintos) comunes a la mayoría de los sistemas de tratamiento natural incluyendo la muerte, retención, sedimentación, atrapamiento, depredación, radiación, desecación y adsorción. Los virus se eliminan casi exclusivamente por adsorción y posteriormente muerte.

3.2.6 Efecto depurador

Experimentos realizados demuestran que mediante el uso de estas plantas se pueden obtener buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de aguas residuales, siendo significativo las remociones en carga de nitrógeno entre 7 y 38 kg de NTK/Ha.d y cargas de fósforo entre 0,9 y 13 kg de Pt/Ha.d, observándose que el tamaño de la planta así como su sistema radicular influyen en la remoción de contaminantes. Las plantas utilizadas presentan velocidades de crecimiento entre 123 y 487 g/m².d (peso húmedo), con un contenido de proteínas entre 25 y 30% (base seca).

3.2.7 Aspectos técnicos de estanques de Jacinto de agua para depuración de aguas industriales.

3.2.7.1 Condiciones para el tratamiento

- A) **Topografía.** El terreno debe tener una topografía uniforme horizontal o con ligera pendiente.
- B) **Característica del suelo.** Los suelos mas indicados son aquellos de permeabilidad lenta (<5 mL/hora). Es necesario minimizar las pérdidas de agua por percolación.
- C) **Clima.** El jacinto de agua puede tolerar temperaturas entre 16 y 30 °C, con el óptimo comprendido entre 20 y 26 °C.
- D) **Profundización.** Desde 0.45 m hasta 1.2 m para tratar de que el agua tenga un mezclado vertical para que entre en contacto las raíces de las plantas con las zonas en las que se encuentran las bacterias. A menores concentraciones de nutrientes del agua se puede manejar profundidades mayores, puesto que las raíces de la planta crecen en longitud y los absorben también del suelo.
- E) **Carga orgánica.** La carga orgánica expresada en términos de DBO puede variar entre 1 y 30 ppm al día (10 y 300 kg/ha.día).

3.2.7.2 Preparación de la planta

Selección.- La cepa inicial se puede extraer de humedales naturales. Se escogen las plantas más pequeñas y que estén floreciendo para ayudar en los procesos reproductivos. Las plantas grandes se rechazan puesto que fácilmente se estropean en su recolección, transporte, desinfección y siembra.

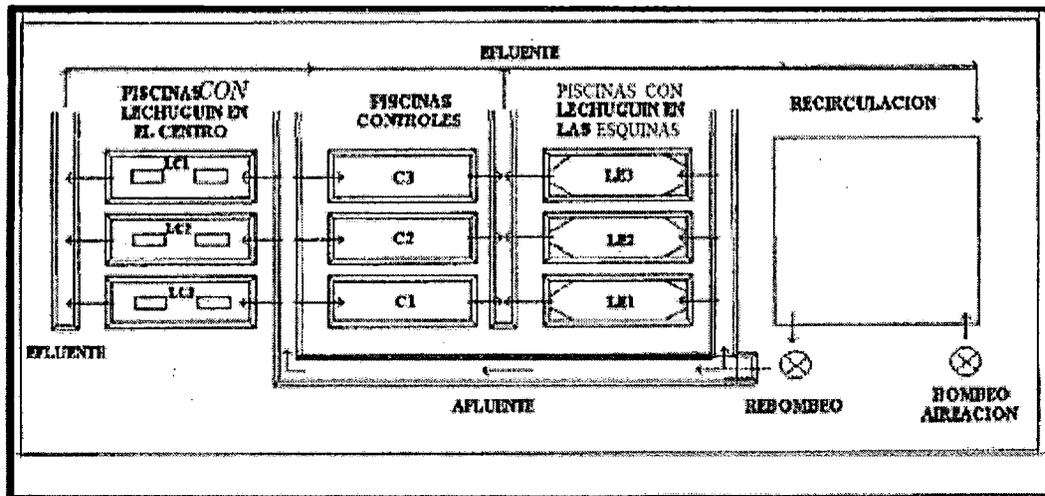
Desinfección.- El jacinto de agua se deposita en tanques de depuración de 10m³ de capacidad (o dependiendo de la cantidad a tratar), las que tenían agua circulante drenada por el fondo para la eliminación de sedimentos. Posteriormente se recupera el nivel y se mantiene para proceder a aplicar cloro con una concentración aproximada de 50 ppm, para combatir microorganismos como hongos, bacterias y otros, además de rotenona a una concentración de 2.5 ppm, para la eliminación de peces.

Siembra.- Después de un periodo de tiempo conveniente de desinfección, las plantas se colocan en gavetas para facilitar su transporte hasta el estanque en donde luego se colocan en cercos, con el máximo cuidado, desechando plantas estropeadas, quebradas, etc. Existen varias maneras de colocar los cercos para el jacinto de agua.

3.2.7.3 Preparación del estanque

El estanque se prepara siguiendo una rutina normal de limpieza de malezas, organismos, corrección de drenajes, etc. Se toma una medida de pH para garantizar un pH inicial más o menos neutro. Si es necesario, se hacen correcciones con carbonato de Calcio. También se aplican fertilizaciones en base a forrajes naturales, preparación de nichos, etc. El llenado del estanque se hace una semana antes de la siembra.

Los *divisorios flotantes* o *cercos* son divisiones hechas con cañas de bambú o cualquier otro tipo de material adecuado para este uso. Estos divisorios pueden ir en el centro o en las esquinas (ver esquema N° 3.3). Incluso se puede disponer de un sistema de estanques donde se combinen estas dos maneras.



Esquema Nº 3.2 Esquema de un sistema de tratamiento con jacinto de agua.

3.2.7.4 Mantenimiento

El jacinto de agua es una especie invasora que se multiplica rápidamente. Por esta causa es necesario podarla para que no dañe el cerco o se salga y obstruya los conductos. En casos contrarios, hay plantas que se marchitan, no prenden o simplemente se "queman", las cuales hay que reponerlas.

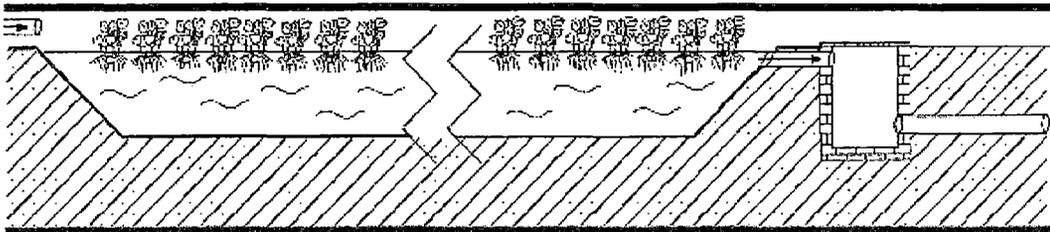
3.2.7.5 Diseño y distribución del estanque

Se han propuesto diversos diseños de humedales artificiales a lo largo de su desarrollo tecnológico. Las variables de diferenciación pueden hacer referencia al sistema de flujo del agua residual, sustrato o lecho utilizado, vegetación y sucesión de unidades de tratamiento.

En cuanto a la dirección del movimiento del agua a través del humedal se consideran los siguientes tipos: horizontal, vertical, flujo superficial y flujo subsuperficial. En cuanto al sustrato, hay sistemas que llevan por debajo del manto de agua una capa de suelo o tierra vegetal para enraizar la vegetación, otros que en perfil emplean

exclusivamente un lecho de grava y arena, y otros sistemas únicamente tienen agua.

En esencia, hay tres líneas de desarrollo tecnológico de humedales artificiales, cuyo modo de operación, aun basándose en los mismos principios biológicos, es diferente. Se trata de los denominados humedales de flujo superficial, los humedales de flujo sub-superficial y los humedales con las plantas flotando sobre la superficie del agua. A este último tipo de sistemas pertenecen los que utilizan plantas naturalmente flotantes, tales como el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) o la lenteja de agua (*Lemna spp.*) y las que utilizan especies emergentes a las que se les hace flotar.

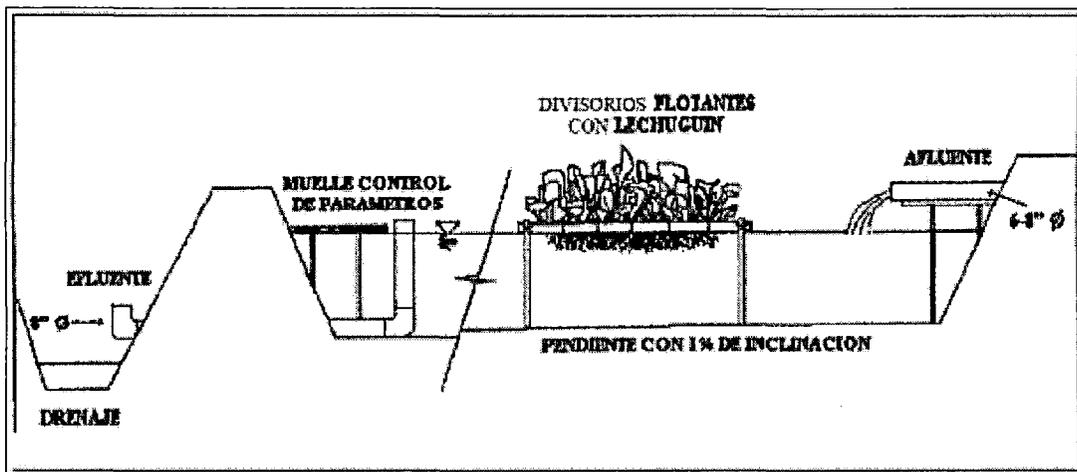


Esquema N° 3.3 Esquema de un humedal con especies flotantes.

La principal ventaja que ofrecen estos sistemas es la gran superficie de contacto que tienen sus raíces con el agua residual ya que ésta les baña por completo, lo que permite una gran actividad depuradora de la materia orgánica por medio de los microorganismos adheridos a dicha superficie o por las propias raíces directamente. Como inconveniente principal está la capacidad limitada que tienen de acumular biomasa, ya que los cuerpos de las plantas no llegan a alcanzar una altura significativa, permaneciendo normalmente próximos a la superficie del agua.

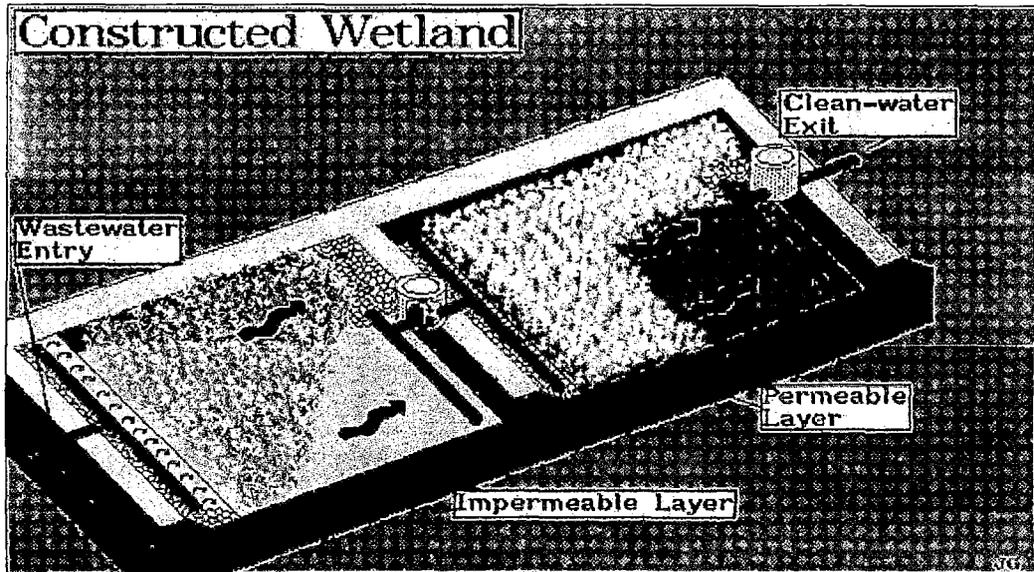
En cuanto a la forma del estanque, esta difiere de acuerdo al espacio disponible para el sistema de tratamiento de aguas y también del volumen o caudal de alimentación de aguas residuales que se necesita tratar. En ocasiones, se requiere diseñar un

estanque en forma rectangular por ejemplo una piscina, con un grado de inclinación mínimo requerido. Otro diseño muy utilizado son los canales con paredes inclinadas, con un ancho entre 1 – 1.5 m aprox.



Esquema 3.4 Sección transversal de un sistema de tratamiento de aguas con jacinto de agua.

Incluso existen diseños conformados por sistemas de varios canales o piscinas interconectadas, de mayor a menor grado de contaminación, para optimizar la purificación del agua, permitiendo la recirculación de los efluentes (ver figura 3.5). Los primeros canales o estanques están provistos de una capa impermeable para evitar la percolación del agua contaminada al subsuelo. Las siguientes etapas, por el contrario, tienen capas semipermeables o permeables que contribuyen a la absorción de materia orgánica no asimilable por las plantas.



Esquema N° 3.5 Sistema de estanques en serie.

3.2.8 Pretratamiento de aguas residuales industriales

Origen y clasificación de efluentes industriales.- Las aguas residuales proceden de diversas fuentes: aguas de proceso, purga de aguas de enfriamiento, purga de calderas, escorrentía de aguas pluviales, agua ácida, desechos sanitarios.

El agua de proceso es cualquier agua descargada procedente de las unidades de operación, como drenajes de bombas, agua del desalinizador de crudos, escorrentía de tormenta contaminada en el área de proceso, agua ácida que ha sido esencialmente depurada del sulfuro de hidrógeno y amoníaco. La tecnología tradicional para el tratamiento de aguas residuales de las refinerías consiste en aplicar la reducción biológica en una serie de lagunas de aireación.

Dependiendo de la fuente, el tratamiento debe regular el pH, remover sólidos disueltos, aceites, fenoles, amoníaco, sulfuros y otras sustancias químicas.

3.2.9 Comparación del efecto depurador del jacinto de agua con respecto a otras especies de macrofitas flotantes.

Los resultados que se analizan a continuación están basados en estudios realizados a nivel de planta piloto. Las dimensiones de los estanques utilizados fueron: 0.74m de ancho superior, 0.51m de ancho inferior, 1.50m de largo y 0.56m de profundidad, siendo el área superficial de 1.11m² y el volumen de 0.47m³ para una profundidad efectiva de 0.50m de profundidad. A estos estanques se les suministraban de forma continua las aguas residuales de una comunidad cercana; dichas aguas eran previamente bombeadas a unos tanques almacenadores a partir de los cuales se alimentaban los estanques.

Las muestras de agua fueron tomadas a la entrada y la salida de cada estanque, después que cada sistema se encontraba en el estado estacionario. A estas muestras se les determinaron: DBO, NTK, PT, SST y Coliformes Fecales (CF), estas tres últimas pruebas no se les realizaron a todas las muestras. A las plantas cosechadas se les determinó humedad y nitrógeno.

La velocidad de crecimiento de las plantas se determinó semanalmente por diferencia de pesada, manteniendo las siguientes densidades de las plantas: jacinto de agua (5 Kg./m²), lemna (1 Kg./m²), pistia (5 Kg./m²), salvinia (2 Kg./m²) y azolla (1,7 Kg./m²).

Los resultados obtenidos demuestran que mediante el uso de plantas acuáticas flotantes se pueden lograr buenas eficiencias en la remoción de los contaminantes más comunes de las aguas residuales domésticas, siendo el jacinto de agua la planta más eficiente, lográndose remociones de hasta 70% en DBO con cargas orgánicas de 510 kg/m².d y tan solo un día de tiempo de retención, mientras la azolla fue la de menor eficiencia. (Ver Tabla N° 3.4).

Tabla N° 3.4 Remoción de Contaminantes por las Plantas o Lagunas

PLANTA	CO	TR	DBO		NTK		PT		SST		CF		
			A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	
Salvinia	97	4	94	22	29	13							
Pistia	97	4	94	18	29	8							
Azolla	61	6,2	92	28	21	10	2	0,8					
Lemna	61	6,2	92	27	21	7	2	0,8					
Azolla	116	3,1	87	41	24	15	3	2,1					
Lemna	116	3,1	87	34	24	16	3	1,9					
Laguna	200	3	141	*23	29	*13	5	*2,6	209	129	$1,1 \times 10^7$	$2,9 \times 10^5$	
Jacinto	200	3	141	15	29	8	5	1,2	209	35	$1,1 \times 10^7$	$1,3 \times 10^5$	
Laguna	340	1,5	120	*36	24	*17	4	*2,2	96	200			
Jacinto	340	1,5	120	16	24	14	4	1,5	96	32			
Laguna	510	1	121	*43	25	*16	6	*2,9	92	121	$1,1 \times 10^7$	$2,5 \times 10^5$	
Jacinto	510	1	121	36	25	15	6	2,4	92	12	$1,7 \times 10^7$	$1,1 \times 10^5$	

Leyenda:

CO = carga orgánica (kg DBO/Ha.d) SST = sólidos suspendidos totales (mg/l)

TR = tiempo de retención (días) CF = coliformes fecales (NMP/100 ml)

DBO = demanda bioquímica de oxígeno (mg/l) * = parte soluble del efluente

NTK = nitrógeno total Kjeldal (mg/l) A = afluente, E = efluente

3.2.10 Ventajas de los estanques de Jacinto de agua.

Los estanques de jacinto de agua es técnica económicamente factible para tratar efluentes domésticos, industriales por varias razones:

- Son menos costosos que otras opciones de tratamiento.
- Los gastos de operación y mantenimiento son bajos. (energía y suministros)
- La operación y mantenimiento no requiere un trabajo permanente en la instalación.
- Los estanques soportan bien las variaciones de caudal.
- Facilitan el reciclaje y la reutilización del agua.
- Proporcionan un hábitat para muchos organismos.

- Pueden construirse en armonía con el paisaje.
- Proporcionan muchos beneficios adicionales a la mejora de la calidad del agua, como el ser un hábitat para la vida salvaje y un realce de las condiciones estéticas de los espacios abiertos.
- Son una aproximación sensible con el medio ambiente que cuenta con el favor del público.

3.2.11 Desventajas de los estanques de Jacinto de agua

- Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con estanques de jacinto de agua puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y asequible.
- El rendimiento del sistema puede ser menos constante que el de un proceso convencional porque depende de los cambios en las condiciones ambientales, incluyendo lluvias y sequías.
- Los componentes biológicos son sensibles a sustancias como el amoníaco y los pesticidas que llegan a ser tóxicos.
- Se requiere una mínima cantidad de agua para que sobrevivan, pero no soportan estar completamente secos.
- Además, el uso de estanques de jacinto de agua para el tratamiento de efluentes industriales es de reciente desarrollo y no existe aun un consenso sobre el diseño óptimo del sistema y no se cuenta con suficiente información sobre el rendimiento a largo plazo. Si no se controla la expansión del jacinto de agua sobre la superficie del estanque, pueden sobrevenir una serie de eventos perjudiciales tanto para la dinámica del estanque como para el medio ambiente, tales como:
 - Obstruir los canales de flujo de corrientes de agua.
 - Exceder la cantidad máxima de nutrientes requeridos, dejando a las demás especies cohabitantes sin posibilidades de subsistencia.
 - Convertirse en refugio optativo para plagas, roedores, depredadores y especies dañinas que pueden generar un desequilibrio en el ecosistema.

- Invadir otros ecosistemas, si los desechos de esta planta no se eliminan correctamente o no se le da un destino más productivo como por producción de biogás, producción de biomasa para alimento de animales, etc.
- Pérdida de agua a la atmósfera por excesiva evapotranspiración.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

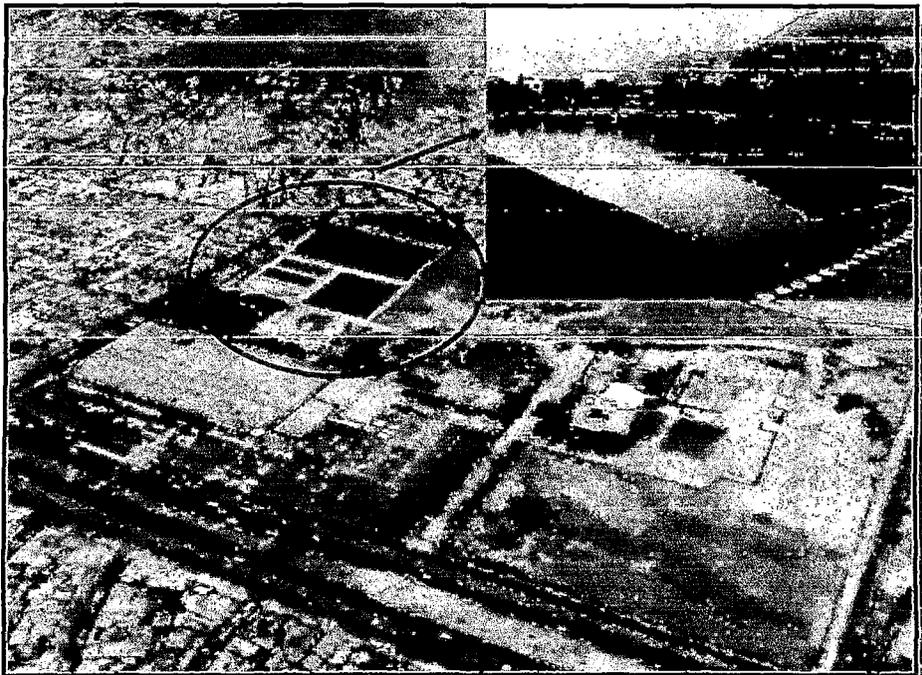
4.1 UBICACIÓN DEL REACTOR UASB

4.1.1 Ubicación del CITRAR - UNI

El Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos CITRAR - UNI, se encuentra ubicado en el distrito de Independencia de la ciudad de Lima, sus instalaciones son de propiedad pública y se encuentra como uno de los componentes de la Universidad Nacional de Ingeniería.

CITRAR - UNI se encuentra actualmente administrada y operada por la Universidad Nacional de Ingeniería, específicamente por la Facultad de Ingeniería Ambiental.

En las instalaciones de CITRAR – UNI se desarrollan diversos tipos de investigación correspondiente principalmente al tratamiento de aguas residuales domésticos e industriales así como residuos peligrosos.

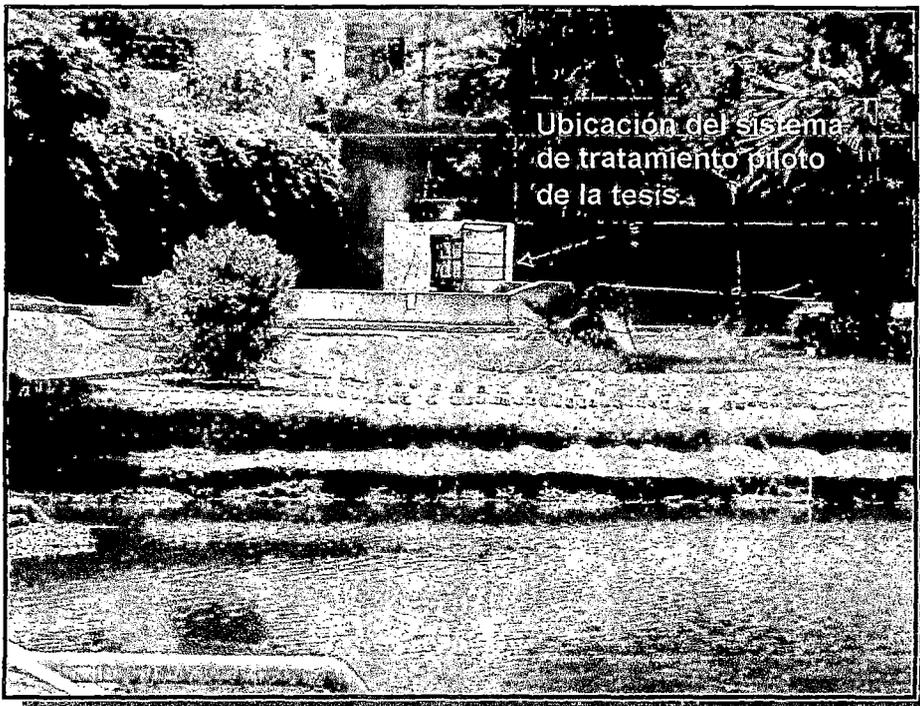


Fotografía N° 01: CITRAR - UNI

4.1.2 Ubicación del Reactor UASB en CITRAR - UNI

CITRAR - UNI cuenta con una de las plantas de tratamiento de aguas residuales más completas en cuanto a los componentes de tratamiento y la eficiencia de remoción en los parámetros específicos, los componentes de su pre tratamiento con las que cuenta son; la captación, sistema de cribado (rejas), desarenadores, medidor de caudal tipo Parshall.

Es justamente que al ser éstas las unidades de ingreso del agua residual, que se opta por ubicar el Reactor UASB lado derecho de los desarenadores, siempre estando cerca de la captación por motivos de facilidad en la operación.



Fotografía N° 02: Ubicación del Reactor UASB con su pos-tratamiento mediante humedal de flujo superficial, ubicado al costado del Desarenador de la Planta.

La fotografía es tomada desde el lado opuesto de una de las lagunas facultativas de la planta y muestra una caseta de armadura de madera protegida con un grueso material blanco de plástico, nótese además que se encuentra ubicada al costado de las unidades de pre tratamiento ya descritas.

Adicionalmente en ésta toma fotográfica se logra apreciar que en la parte superior de la caseta está ubicada la unidad de sedimentación de color verde.

4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EMPLEADO

El sistema de tratamiento de la presente investigación usa como muestras a tratar las aguas residuales domesticas las cuales son descargadas en la unidad de sedimentación y pasar luego a la unidad de tratamiento Reactor UASB y posteriormente a la unidad de pos-tratamiento con humedal de flujo superficial con plantas Jacinto de agua.

Es un sistema integral que se inicia con un Sedimentador, el cual es llenado periódicamente con agua residual domestica, e inmediatamente ingresa al Reactor UASB pasando por un filtro con material de canicas que garantice la dispersión homogénea del flujo que ingresa en forma ascendente a través del lodo inicialmente inoculado del RAFA de la PTAR, luego el efluente sale por la parte superior del Reactor UASB.

El efluente tratado por el Reactor UASB ingresa al sistema de post tratamiento el cual está constituido por 3 unidades de iguales dimensiones que son cajas de vidrio dentro de ellas se ha sembrado plantas acuáticas del tipo Jacinto de agua, las cuales realizaran su propio tratamiento.

Se incluye además el monitoreo del gas producido por la degradación de la materia orgánica dentro del Reactor UASB, ello de modo complementario.

4.3 MUESTRA DE AGUA RESIDUAL PARA SER TRATADA



Fotografía N° 03: Habilitaciones que descargan las agua residuales a CITRAR - UNI

Las agua residuales domésticas que ingresan a la Planta de Tratamiento de CITRAR - UNI corresponden a las descargas de las poblaciones que se encuentran en las faldas de los cerros que se encuentran detrás de la planta.

El caudal de ingreso a la planta es regulada en la captación, siendo lo máximo permitido para el tratamiento en la planta de 10 lps.

Se conoce que las poblaciones son abastecidas con agua potable, sin embargo se conoce también que podrían en un buen porcentaje ser abastecidos por pozos, en ambos casos el agua residual a tratar es estrictamente doméstico, esto incluyendo picos de descargas y concentraciones diversas de acuerdo a las horas de consumo de agua y descarga de las agua residuales.

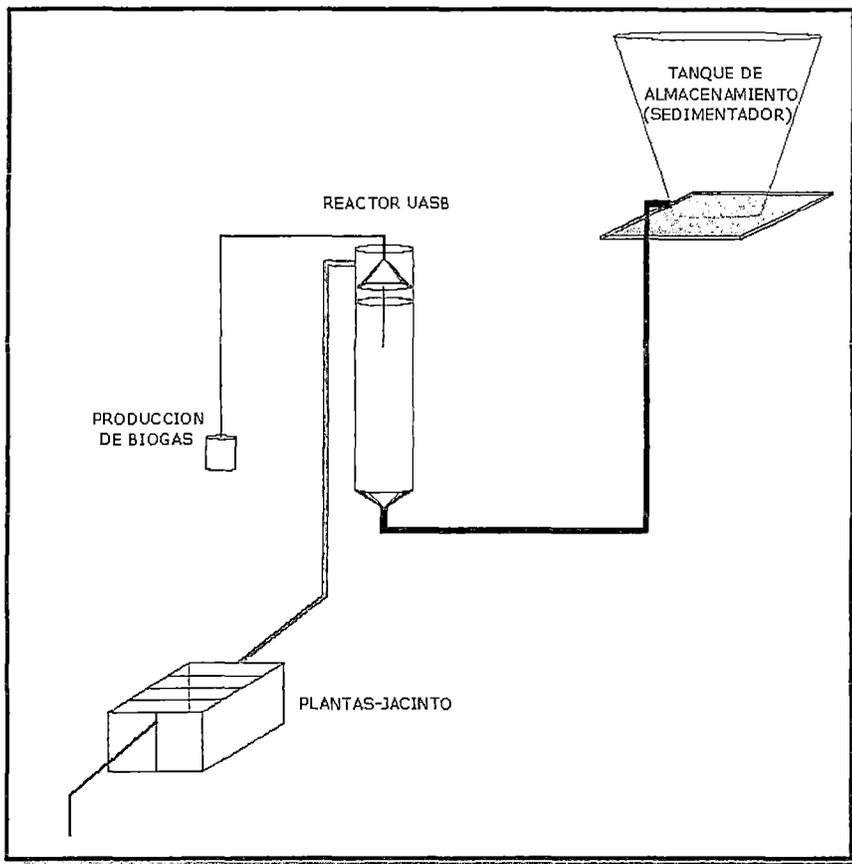
4.4. CONSTRUCCIÓN Y EQUIPAMIENTO DEL REACTOR UASB

4.4.1 Esquema general de las unidades

En el esquema que se muestra a continuación se destacan las unidades principales que intervienen en el equipamiento para el tratamiento.

La construcción de los componentes, así como la ubicación adecuada dentro del espacio destinado para el montaje de Reactor UASB fue asesorada y debidamente acondicionada tal como se describirá a continuación.

Como se observa se complementa el tratamiento del Reactor UASB con un tratamiento adicional, valga la redundancia, que es la de suministrar el caudal adecuado a la unidad posterior del Reactor UASB instaladas en serie con plantas acuáticas llamadas "Jacinto de agua".



Esquema N° 4.1: Componentes principales del sistema de tratamiento piloto.

4.4.2 Dimensionamiento de las unidades

a) Unidad de sedimentación:

Diámetro mayor = 0.70 m

Diámetro menor = 0.40 m

Altura = 0.85 m

Volumen = 207 L

b) Unidad de tratamiento Reactor UASB

Diámetro = 0.25 m

Altura = 1.00 m

Volumen = 49.01 L

c) Unidad de pos-tratamiento Humedal con flujo superficial

Largo = 1.20 m

Ancho = 0.30 m

Altura = 0.25 m

Volumen = 90 L

d) Volumen del lodo en el Reactor UASB

Inicio:

Altura inicial = 0.06 m

Diámetro = 0.25 m

Volumen de lodo inicial = 0.94 L

Final

Altura final = 0.10 m

Diámetro = 0.25 m

Volumen de lodo final = 1.57 L

Incremento del volumen de lodo = 40%

A continuación se detallan en las tablas de resumen 4.1, 4.2 y 4.3, de los cálculos obtenidos para los tiempos de retención hidráulica, caudal de operación, carga hidráulica, velocidad ascensional.

Para nuestra investigación se tomo como variable el tiempo de retención hidráulica del Reactor UASB, dichos tiempo fueron 24 h, 14 h y 4 h. En función a dichos tiempos se calculó los demás parámetros en las tres unidades tal como se detallan en el cuadro de resumen, esto debido a que se quiere comprobar la eficiencia de remoción de la materia orgánica para diferentes tiempos de retención hidráulica en el Reactor UASB y su pos-tratamiento con plantas Jacinto de agua.

Tabla N° 4.1 Determinación de los tiempos de vaciados en las Unidades de tratamiento TRH: 24 horas

DETERMINACION DEL TIEMPO DE VACEADO EN LA UNIDAD DE SEDIMENTACION				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Volumen del sedimentador	0.21	m3	207	L
Caudal de operacion (TRH 24h)	0.0020	m3/h		
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	101.18	h	2428	min
DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION EN EL REACTOR UASB				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Altura del reactor	1.0000	m		
Diametro del reactor	0.2500	m		
Area de Reactor	0.0491	m2		
Tiempo de retención hidraulico (TRH)	24.00	h	1440.00	min
Volumen del reactor	0.0491	m3	49.09	L
Altura efectiva del reactor	1.0000	m		
Caudal de operación	0.0020	m3/h	0.57	ml/s
Velocidad ascensional	0.0417	m/h	4.17	cm/h
Velocidad de flujo en la campana	0.1667	m/h		
Carga hidráulica	0.0417	m3/m2.h	1000.00	L/m2.dia
DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION EN EL POS TRATAMIENTO CON PLANTAS JACINTO DE AGUA				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Largo del reactor	1.20	m		
Ancho del reactor	0.30	m		
Altura del reactor	0.25	m		
Volumen del reactor	0.09	m3	90	L
Caudal de operación	0.0020	m3/h	0.06	ml/s
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	44.00	h	2640.18	min

Tabla N° 4.2 Determinación de los tiempos de vaciados en las Unidades de tratamiento TRH: 14 horas

DETERMINACION DEL TIEMPO DE VACEADO EN LA UNIDAD DE SEDIMENTACION				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Volumen del sedimentador	0.21	m ³	207	L
Caudal de operacion (TRH 14h)	0.0035	m ³ /h		
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	59.02	h	1417	min
DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION EN EL REACTOR UASB				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Altura del reactor	1.0000	m		
Diametro del reactor	0.2500	m		
Area de Reactor	0.0491	m ²		
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	14.00	h	840.00	min
Volumen del reactor	0.0491	m ³	49.09	L
Altura efectiva del reactor	1.0000	m		
Caudal de operacion	0.0035	m ³ /h	0.97	mL/s
Velocidad ascensional	0.0714	m/h	7.14	cm/h
Velocidad de flujo en la campana	0.2857	m/h		
Carga hidraulica	0.0714	m ³ /m ² .h	1714.29	L/m ² .dia
DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION EN EL POS TRATAMIENTO CON PLANTAS JACINTO DE AGUA				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Largo del reactor	1.20	m		
Ancho del reactor	0.30	m		
Altura del reactor	0.25	m		
Volumen del reactor	0.09	m ³	90	L
Caudal de operacion (TRH 14h)	0.0035	m ³ /h	0.10	mL/s
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	25.67	h	1540.11	min

Tabla N° 4.3 Determinación de los tiempos de vaciados en las Unidades de tratamiento TRH: 4 horas

DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION EN LA UNIDAD DE SEDIMENTACION				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Volumen del sedimentador	0.21	m ³	207	L
Caudal de operacion (TRH 4h)	0.0123	m ³ /h		
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	16.86	h	405	min
DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION EN EL REACTOR UASB				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Altura del reactor	1.0000	m		
Diametro del reactor	0.2500	m		
Area de Reactor	0.0491	m ²		
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	4.00	h	240.00	min
Volumen del reactor	0.0491	m ³	49.09	L
Altura efectiva del reactor	1.0000	m		
Caudal de operacion	0.0123	m ³ /h	3.41	mL/s
Velocidad ascensional	0.2500	m/h	25.00	cm/h
Velocidad de flujo en la campana	1.0000	m/h		
Carga hidraulica	0.2500	m ³ /m ² .h	6000.00	L/m ² .dia
DETERMINACION DEL TIEMPO DE RETENCION EN EL POS TRATAMIENTO CON PLANTAS JACINTO DE AGUA				
Descripcion	Datos	und	Datos	und
Largo del reactor	1.20	m		
Ancho del reactor	0.30	m		
Altura del reactor	0.25	m		
Volumen del reactor	0.09	m ³	90	L
Caudal de operacion (TRH 4h)	0.0123	m ³ /h	0.34	mL/s
Tiempo de retencion hidraulico (TRH)	7.33	h	440.03	min

4.4.3 Unidad de sedimentación



Fotografía N° 04: Unidad de Sedimentación

La unidad de sedimentación debido a su volumen de almacenamiento de 200 litros fue acondicionado debidamente con una cota de fondo de 3.5 m con

respecto al nivel de tierra firme, fue ubicado a esta altura para aprovechar la diferencia de alturas con respecto al ingreso al Reactor UASB y de ésta manera conseguir una carga hidráulica adecuada para el buen funcionamiento del sistema.

Esta unidad nos garantiza un volumen de agua residual adecuado a las necesidades de operación y en función de los diferentes caudales al que se sometió el sistema.



Fotografía N° 05: Base del tanque y tubería de conducción de las aguas residuales desde la unidad de sedimentación a la unidad de tratamiento Reactor UASB.

La fotografía N° 05 tomada desde la parte interna de la caseta de protección y orientada principalmente a la parte que está debajo de la unidad de

Sedimentación, como se aprecia, se acomodaron de manera estratégica una estructura de madera de un peso considerable seguido de una mesa de madera que hace la vez de andamio y sirven como soporte de los 200 litros que deberán de soportar a tanque lleno.

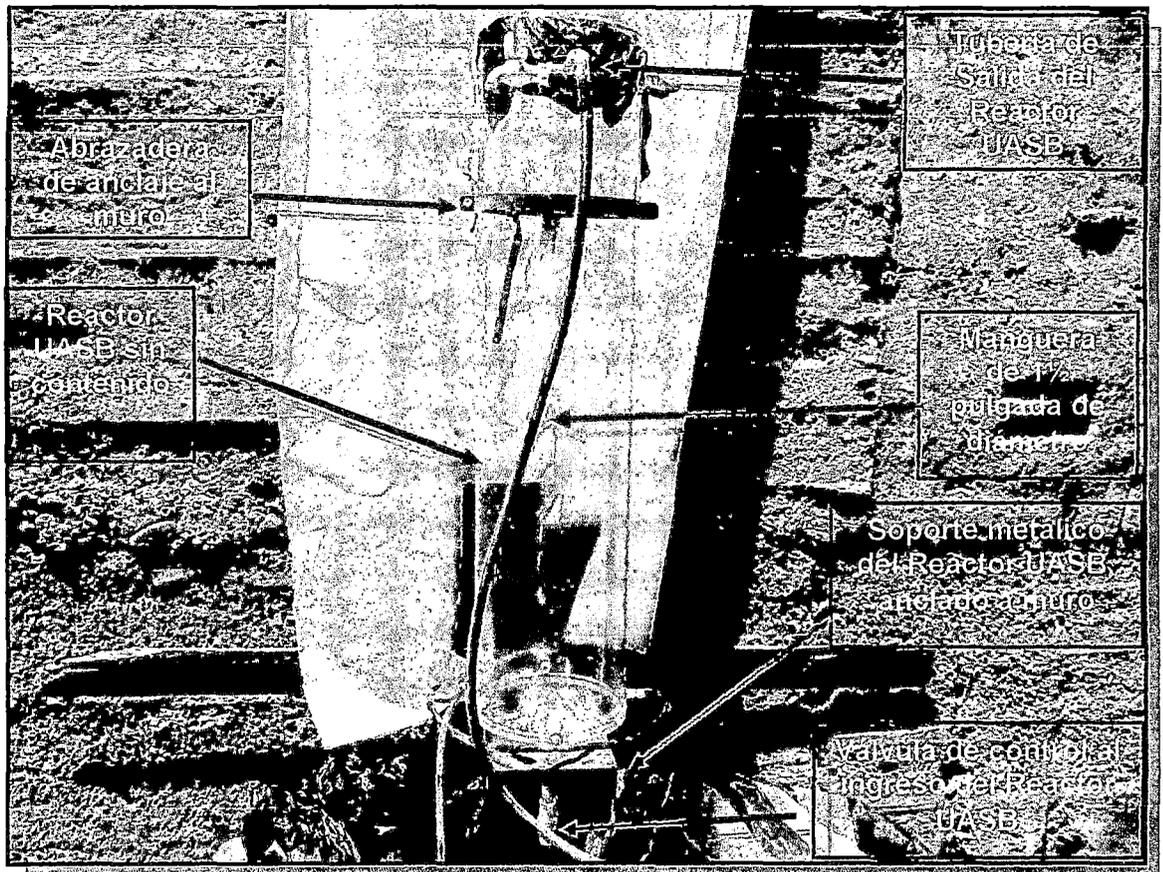
Al fondo de la imagen se aprecia una escalera de madera que sirve de acceso para poder realizar el mantenimiento a la unidad de sedimentación y para registrar periódicamente la altura de nivel de llenado del tanque de sedimentación, puesto que es de material oscuro y no transparente.

Se aprecia además en la imagen una tubería de PVC de 1/2" que sale de la parte baja del tanque, ésta salida fue ubicada a 10 cm del nivel de fondo del tanque de sedimentación y así conseguir que por ningún motivo y de acuerdo al periodo de mantenimiento se introduzcan sedimentos al sistema a través de ésta tubería.

Esta línea conduce el agua residual de acuerdo al caudal regulado con la válvula de control de color blanco con rojo que se muestra en la fotografía, seguidamente de la válvula se instala una manguera de color verde asegurada con seguros especiales puesto que se mantiene sujeta a la tubería de PVC a presión y ajustada con éstos seguros para que no se desprenda en la unión entre la tubería de PVC y la manguera a causa de la presión del agua conducida y el peso mismo de la manguera.

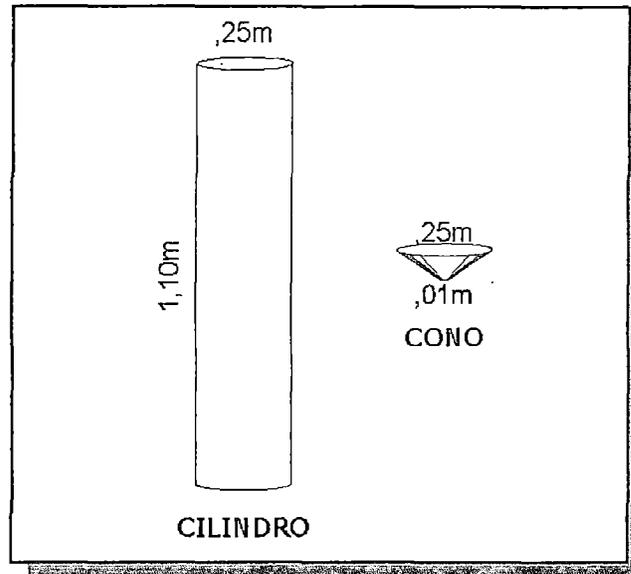
Debido a la frecuencia con que se desprende la manguera verde de la tubería para la toma de muestra y la regulación del caudal que ingresará al sistema es que se instaló un ganchito cercano para sujetar la manguera y poder aforar y regular de manera segura y correcta.

4.4.4 Reactor UASB



Fotografía N° 06: Reactor UASB

Fotografía 06.- La fotografía muestra al Reactor UASB que es fabricado de material acrílico resistente y fue construido en dos piezas; la primera corresponde a un cilindro de 1.10 m de altura con un diámetro de 0.25 m, y la segunda de un cono de 0.25 m de alto y con 0.25 m de diámetro en la base y 1/2" en la parte alta de acuerdo a lo que se muestra en el siguiente esquema:

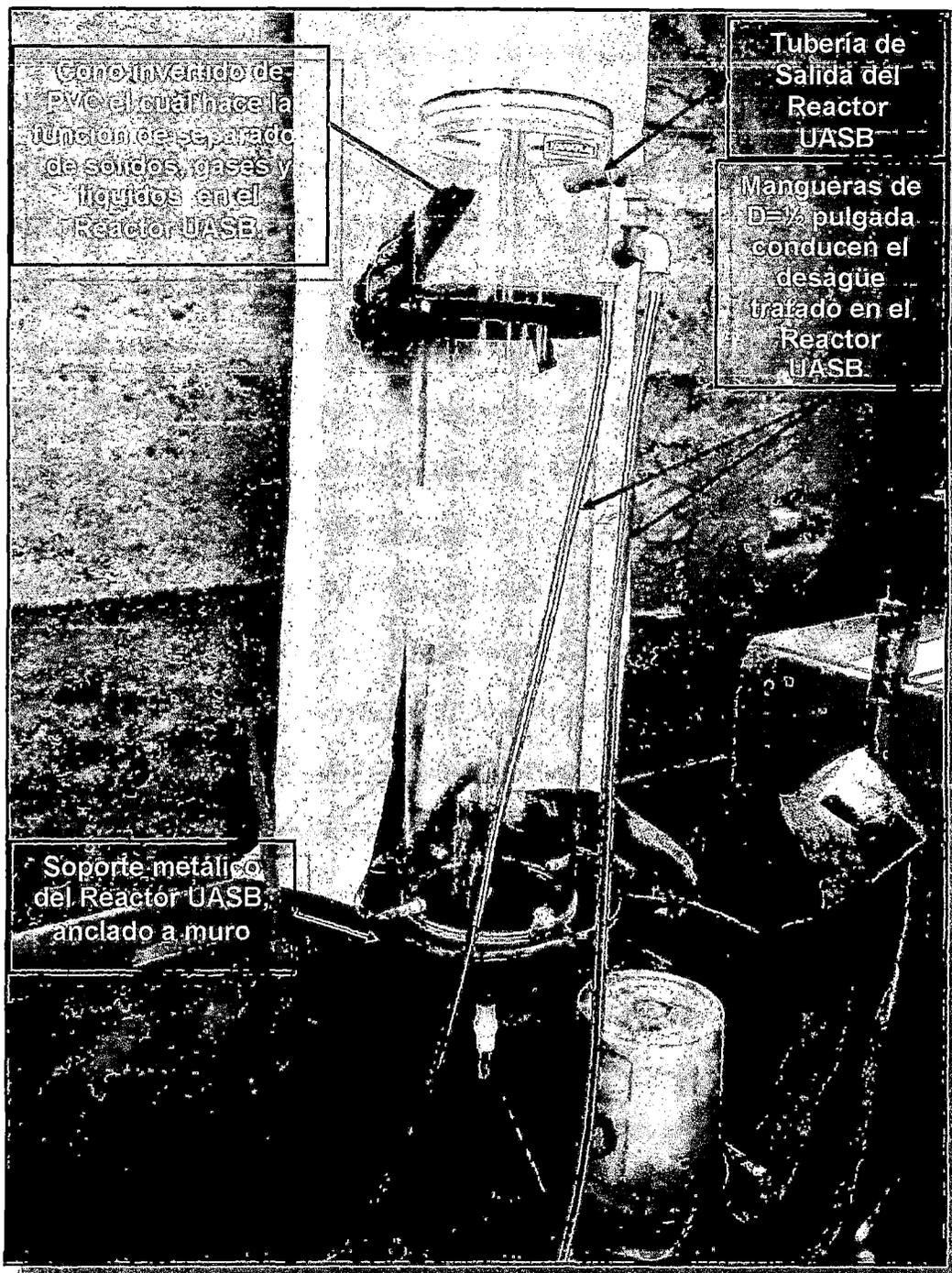


Esquema N° 4.2: Detalles para la construcción del Reactor UASB mediante un cilindro y cono acrílicos.

El Reactor UASB está bien asegurado al muro con un anclaje de hierro y descansa en un soporte también anclado al muro, al instalar el Reactor UASB se mantuvo bastante cuidado y poder mantener la verticalidad del Reactor UASB que garantiza un tratamiento efectivo.

En la parte baja del Reactor UASB, justamente en el orificio de 1/2 "es donde se colocó un niple de tubería de PVC con su propia válvula de control que servirá para cerrar el Reactor UASB y evitar se descargue todo el contenido del Reactor UASB. Es por este orificio en la parte baja por donde ingresarán el agua residual que son conducidos desde el tanque de almacenamiento.

A 10 cm del borde superior del Reactor UASB se realizó una perforación de 1/2" y se instaló otro niple y un codo seguido de una manguera de color verde inicialmente.



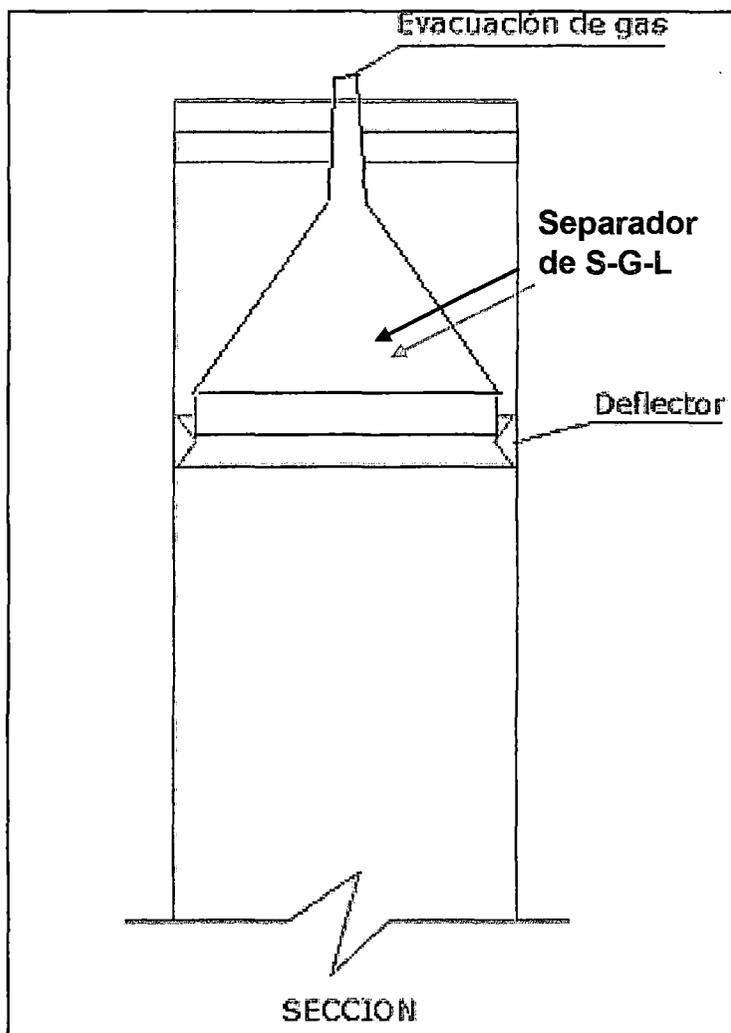
Fotografía N° 07: Reactor UASB, deflectores y separador de sólidos, gases y líquidos.

La fotografía N° 07 nos muestra al Reactor UASB ya instalado pero con la instalación del anillo de jebes que se comportará como un deflector y la instalación de un embudo de plástico que al invertirlo genera el separador de

sólidos, gases y líquidos. En ésta parte del Reactor UASB además se logra obtener el orificio para la recolección del gas producido por la degradación interna en el Reactor UASB.

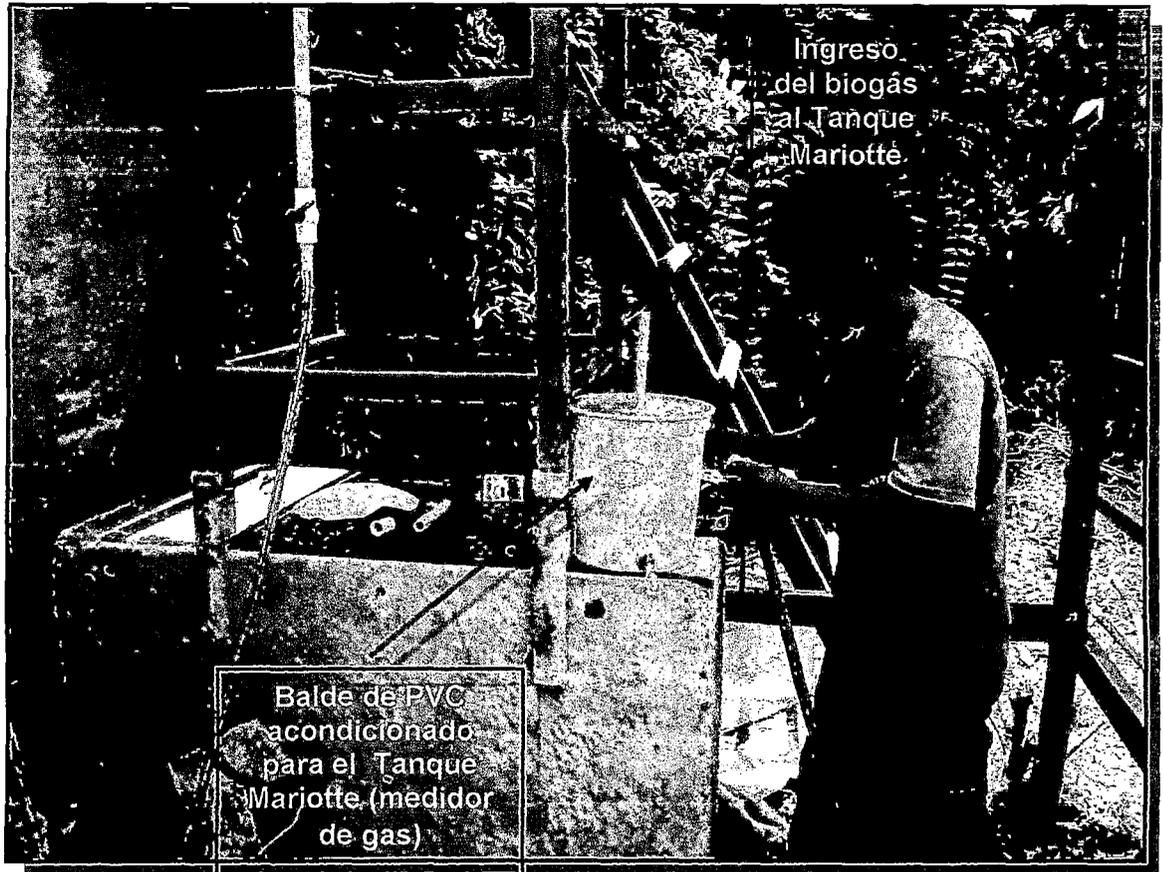
Cabe resaltar que los inconvenientes al instalar el deflector fueron únicamente con respecto a la hermeticidad y evitar las mínimas fugas que aparecieron al momento de unir el jebe de sección poligonal con las paredes acrílicas del Reactor UASB.

A continuación se muestra una sección a modo de esquema y mejor entendimiento de la parte superior en la etapa constructiva del Reactor UASB.



Esquema N° 4.3: Sección del deflector y el separador de sólidos, gases y líquidos.

4.5 Ubicación del Tanque Mariotte



Fotografía N° 08: Equipamiento del Tanque Mariotte para medir el biogás del reactor UASB.

Aprovechando los conocimientos básicos de diferencia de volúmenes para determinar la producción de gases, se construye un Tanque Mariotte, en la fotografía N° 08 se aprecia el balde de plástico transparente con su tapa hermética y el niple de tubería que se encuentra listo para ser conectado a la manguera que se conectará en el orificio pequeño que sale de la parte superior del Reactor UASB (punta del embudo).

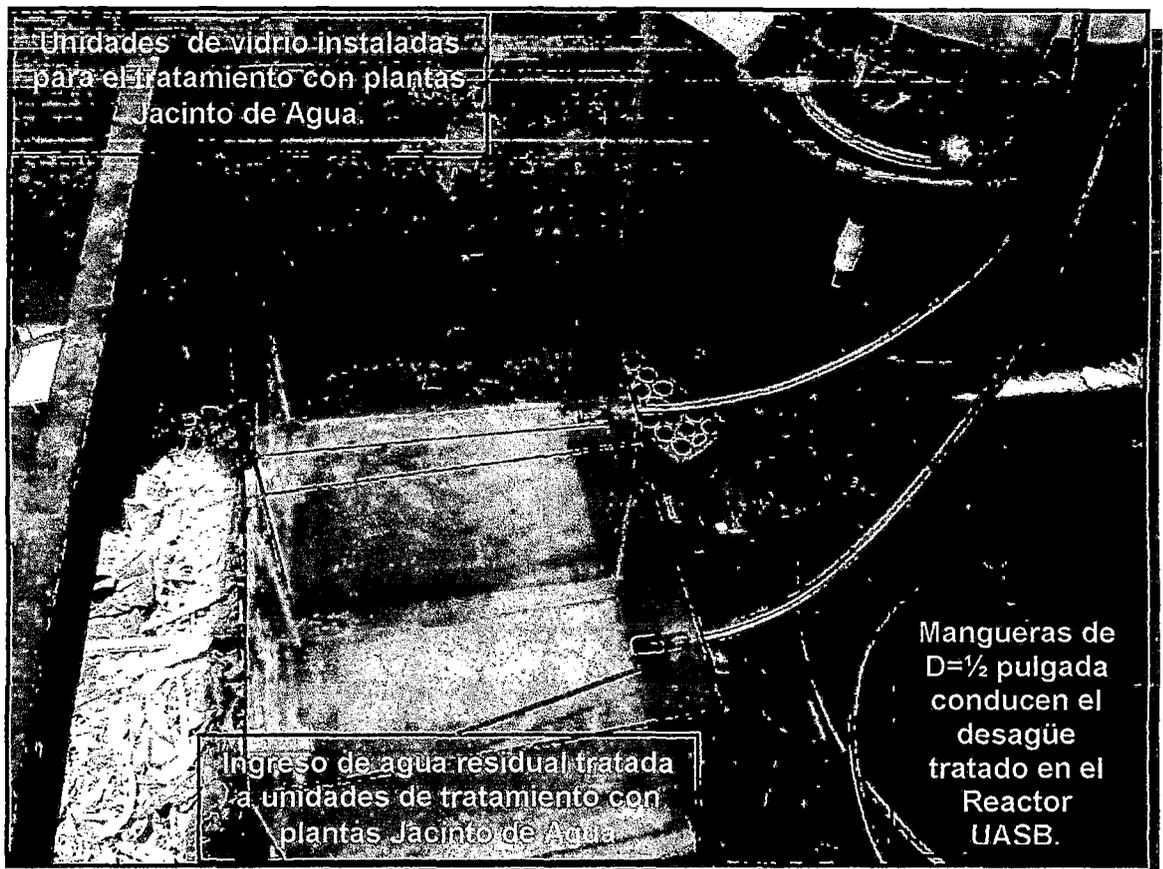
4.6 Tratamiento con plantas acuáticas

Se ha revisado diferente bibliografía así como pequeños resúmenes sobre investigaciones acerca del tratamiento con plantas acuáticas superficiales que logran gran eficiencia en la remoción de materia orgánica, ello nos lleva a complementar el tratamiento de las aguas residuales domésticas que inicialmente pasarán por el UASB con unidades de tratamiento en el que se sembrarán plantas superficiales.

En la Planta de tratamiento del CITRAR-UNI encontramos la Lemna y el Jacinto de agua.

El planteamiento inicial es la comparación en dos unidades con Lemna y Jacinto de agua respectivamente, sin embargo al desechar la idea se opta por usar únicamente el Jacinto de agua para complementar el tratamiento.

La fotografía N° 09 nos muestra la instalación de las dos unidades para la comparación entre la Lemna y el Jacinto como se comentó, sin embargo por motivos de garantizar un tiempo de retención hidráulico idéntico en ambas unidades que nos permita una comparación mucho mejor, es que se opta por el uso de una sola planta y por recomendaciones propias de los operadores así como algunos compañeros tesisistas que han tenido la posibilidad de desarrollar investigación al respecto se opta por el uso del Jacinto de agua.



Fotografía N° 09: Unidades para la siembra de la planta Jacinto de agua.

Finalmente se verificó que las dos unidades construidas de dimensiones 0.40m de largo, 0.30m de ancho, 0.30m de alto, con los caudales que se usarían el tiempo de retención hidráulico sería menor a un día, por lo que se decide realizar una fusión de unidades en serie logrando una unidad mucho más grande que cumpla con el requisito y su tiempo de retención hidráulico es mayor a un día, es así que se muestra en la fotografía N° 10 una presentación mucho más conceptualizada y acorde a los requerimientos de diseño.

Las nuevas dimensiones de la unidad para el tratamiento con plantas de Jacinto son de 1.20x0.30x0.30 m, con un borde libre de 5 cm, de tres compartimentos cada uno de 0.40x0.30x0.30.



Fotografía N° 10: Unidades de pos-tratamiento con plantas Jacinto de agua

4.7 Instalación de termómetro



Fotografía N° 11: Termómetro instalado en la parte inferior de la unidad de sedimentación

Fotografía N° 11.- Se muestra la instalación de un termómetro para el control de la temperatura.

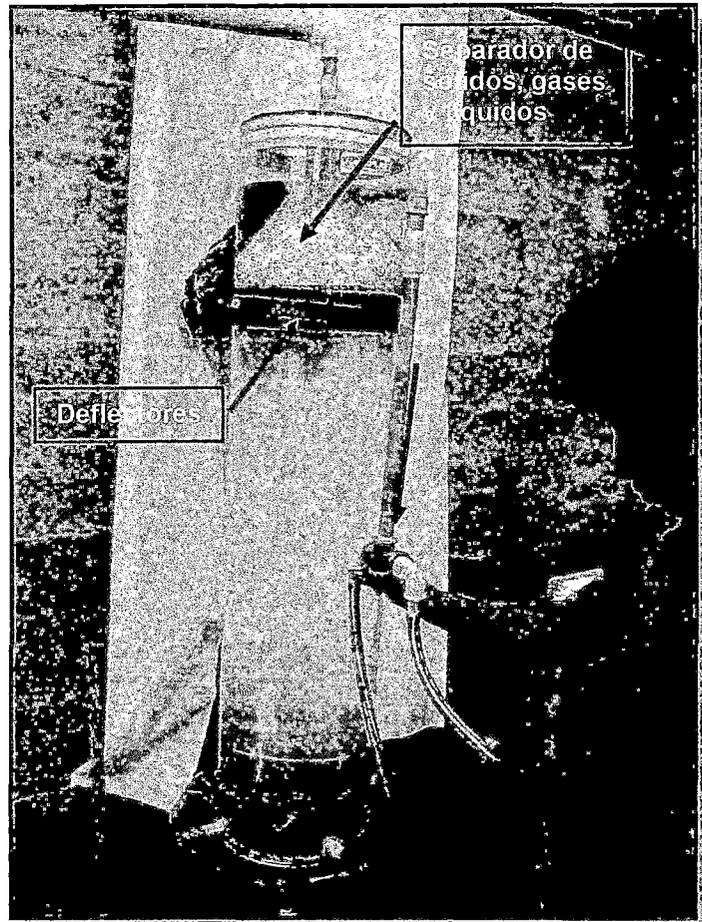
CAPÍTULO V

5. PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR UASB

5.1 ARRANQUE DEL REACTOR UASB

5.1.1 Prueba Hidráulica

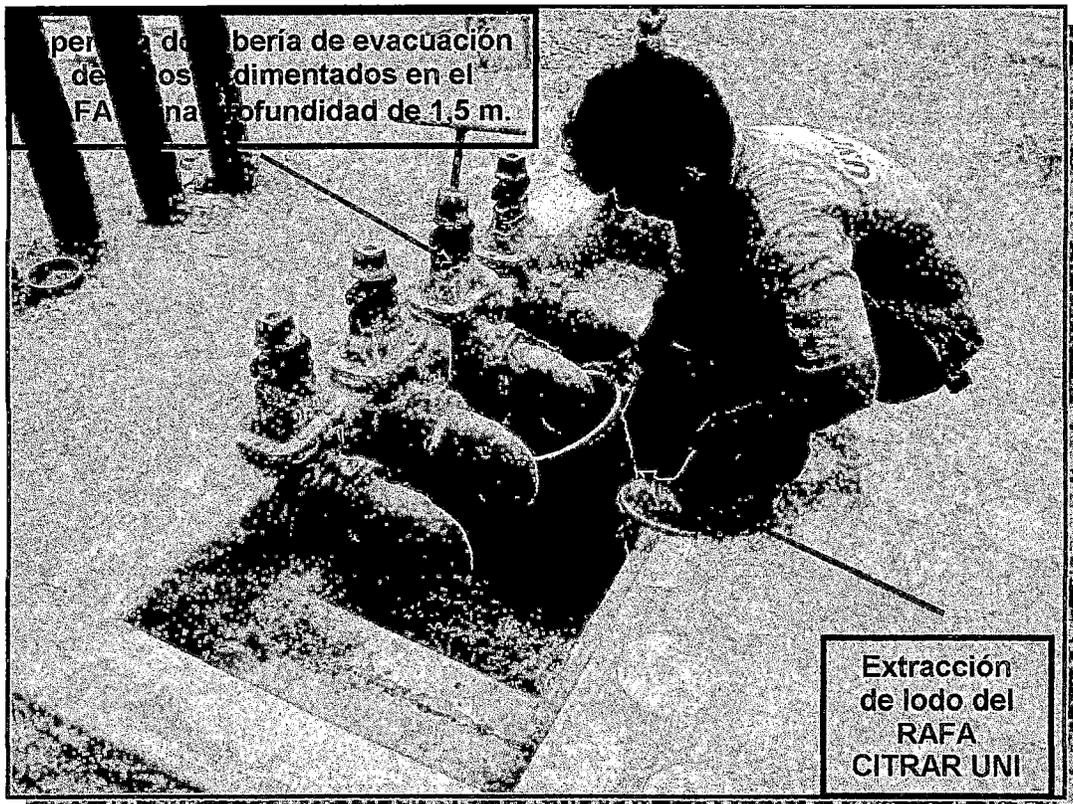
Se realizó la prueba hidráulica a todo el sistema desde la unidad de sedimentación, el Reactor UASB y la unidad de Pos-tratamiento Humedal con flujo superficial, de ésta manera verificamos y reparamos cualquier tipo de fuga que hubiese en el sistema.



Fotografía N° 12: Prueba hidráulica de las uniones, juntas y empalmes

Al llenar el tanque de sedimentación y al abrir todas las válvulas de control, se observó algunas pequeñas fugas en los empalmes entre las mangueras y los tubos de PVC, así como en el accesorio a la salida del tanque del almacenamiento. Todos esos problemas de fuga fueron resueltos y corregidos de la mejor manera, quedando de ésta manera el sistema en condiciones hidráulicas adecuadas.

5.1.2 Acondicionamiento el Reactor UASB

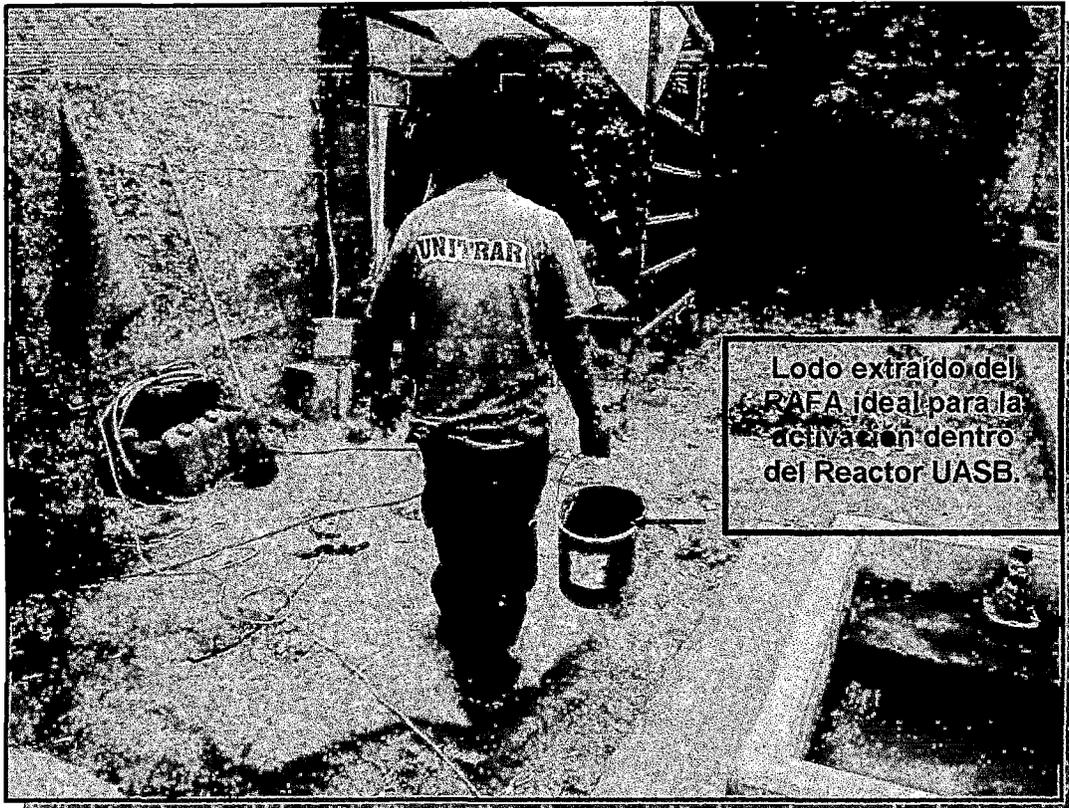


Fotografía N° 13: Extracción de lodo del RAFA CITRAR - UNI

Una de las etapas más importantes en el arranque del Reactor UASB es el tipo de lodo inicial con el que pondrá en marcha el sistema, hasta que, de manera progresiva el mismo Reactor UASB genere sus propios lodos.

El lodo es recolectado del RAFA que se encuentra en la Planta tratamiento con el apoyo del personal de operación, quien con la llave abre la válvula de donde se extraerá el lodo, para ello deja expulsar el lodo por un tiempo prudencial (2 minutos) hasta que salga todo el lodo diluido, luego verificando que el lodo es el adecuado (lodo espeso) se procede a sacar para nuestro Reactor UASB.

El operador de CITRAR - UNI extrae el lodo que se encuentra a 1.5 m por que a ésta profundidad en el RAFA (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), existe un tipo de lodo granular, ideal para que se active y ponga en funcionamiento el sistema instalado.

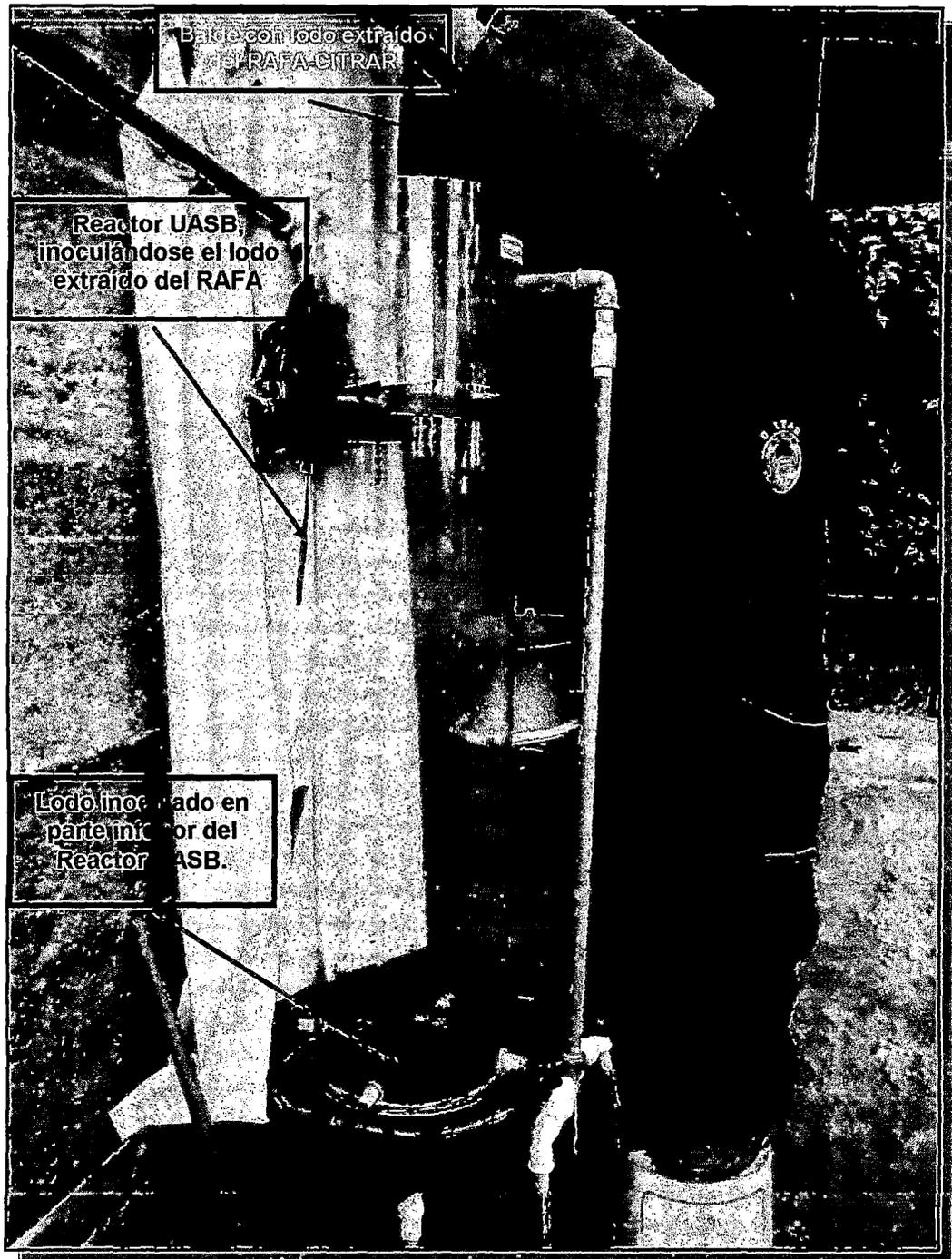


Fotografía N° 14: Traslado de la muestra de lodo extraído del RAFA

Una vez recolectado aproximadamente un volumen de 1.5 litros de lodo del RAFA, éste se conduce hasta la ubicación del sistema al costado de los desarenadores de la planta,

Se espera que el lodo extraído se active paulatinamente al introducirlo al Reactor UASB a escala de laboratorio y llenarlo con el agua residual, además se espera que el lodo no se levante, es decir no flote por el caudal suministrado al Reactor UASB.

5.1.3 Inoculación de lodo al Reactor UASB



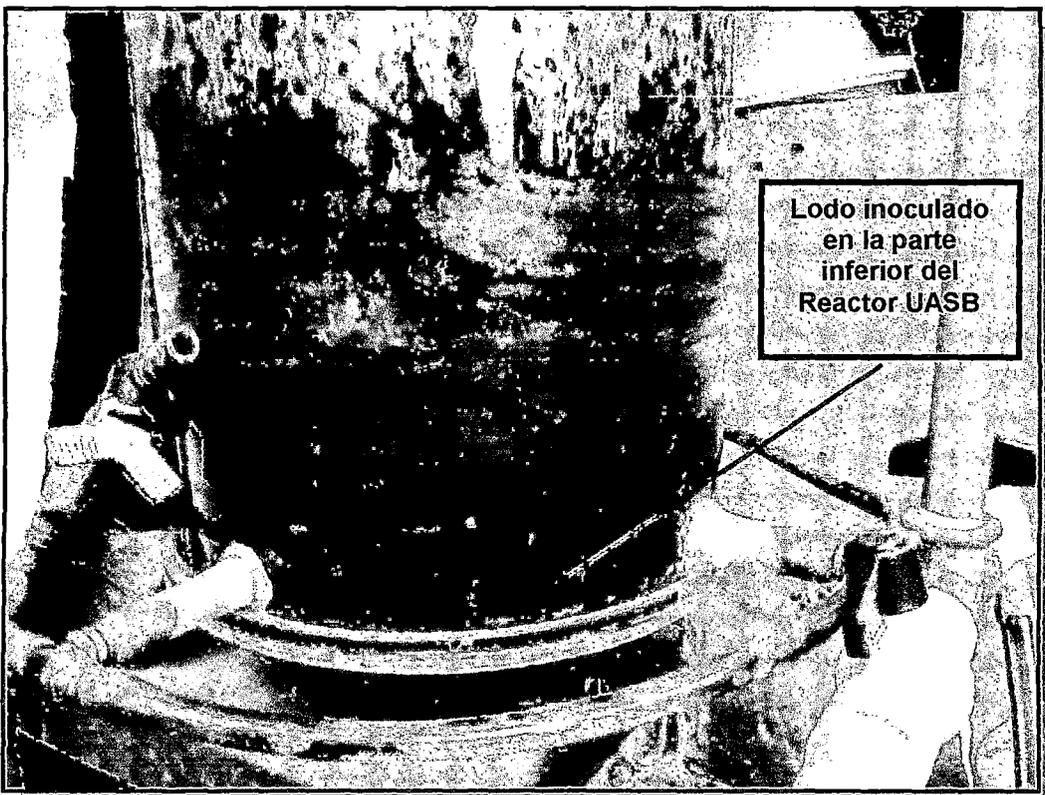
Fotografía N° 15: Inoculación del lodo recolectado del RAFA al Reactor UASB

Previamente al llenado del lodo procedente del RAFA, se introdujo canicas de vidrio dentro de un bolso de nylon, las mismas que se introdujo al fondo del Reactor UASB con lo cual se garantiza que al

ingresar el agua residual por la parte baja del Reactor UASB se uniformice el flujo y de acuerdo a su velocidad ascensional no levante el lodo.

Con la válvula ubicada en la parte inferior del Reactor UASB cerrada, se procede al llenado y se realiza de manera pausada y siempre evitando se generen espacios vacíos o se genere burbujas.

Cabe resaltar además que las canicas introducidas en el bolso de nailon cubren la totalidad del cono invertido que se encuentra en la parte baja del Reactor UASB.



Fotografía N° 16: Llenado del Reactor UASB con agua residual doméstica

La imagen nos muestra la manera ascensional en que es llenado el Reactor UASB, evitando siempre se nos levante el lodo, es por ello y de acuerdo a los cálculos que se realizaron se suministra el agua residual con un caudal inicial de 0.57 ml/s para un tiempo de retención hidráulica de 24 horas.

Se muestra además en la fotografía el lodo que se encuentra en las paredes del Reactor UASB que aun no sedimenta, a medida que se va llenando y esperando sedimento todo el lodo que pudiese estar flotando, es que se esperará el inicio del arranque del sistema.

En todo momento se tiene que verificar el estado de las válvulas de control, ya que el cierre o apertura de una o varias de ellas pueden ocasionar el levantamiento del lodo o hasta la purga del mismo.



Fotografía N° 17: Llenado del Reactor UASB con agua residual doméstica

Fotografía N° 17.- Muestra el Reactor UASB lleno de agua residual doméstica, se puede notar además los 6 cm de lodo que se ingreso al inicio.

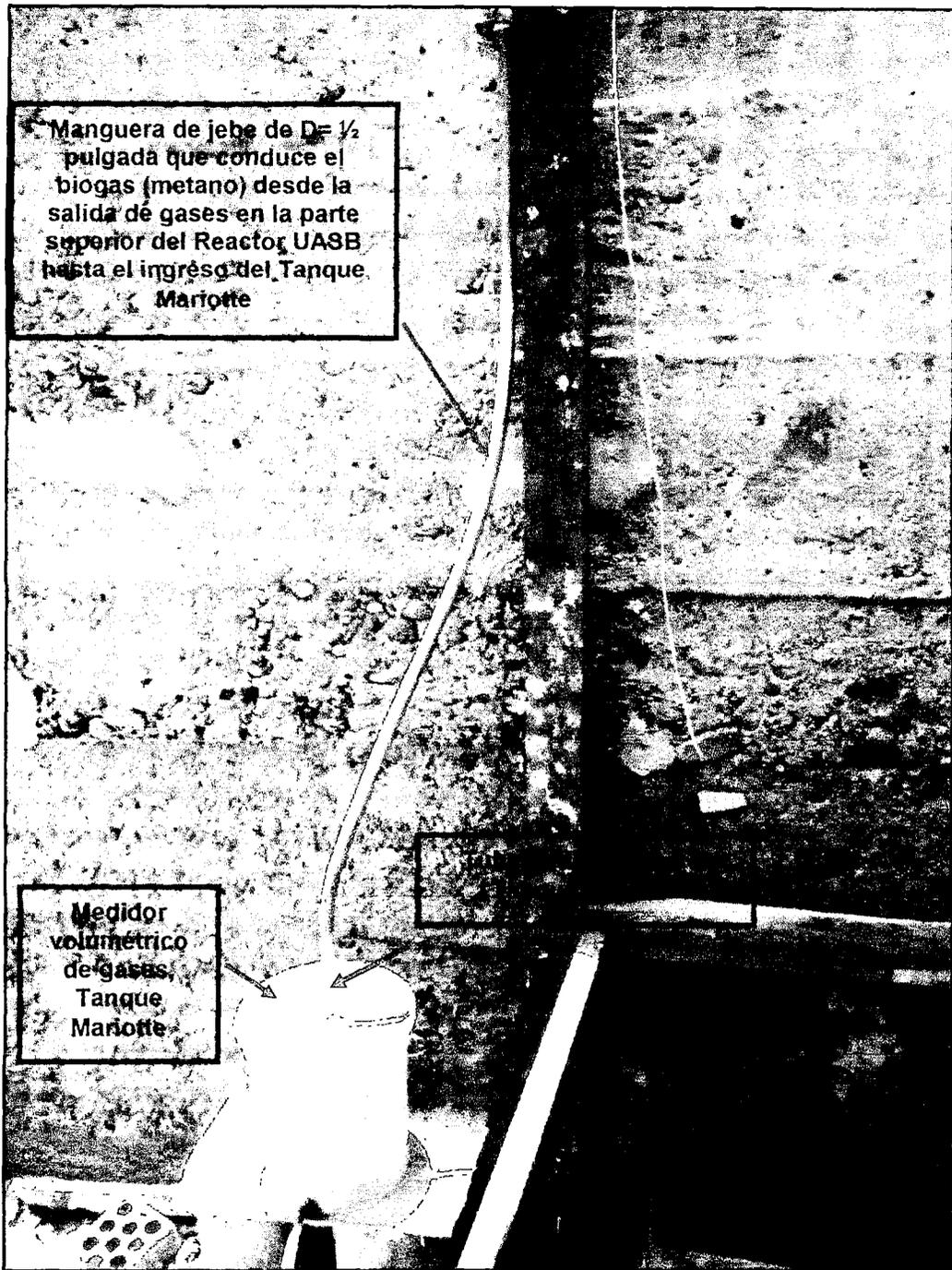
El caudal de suministro con el que se introduzco el desagüe al Reactor UASB fue adecuado, inclusive logra hacer sedimentar el lodo que estaba en las paredes del Reactor UASB.

Aún se mantienen cerradas las válvulas que abastecen a la unidad de tratamiento de las plantas acuáticas con jacinto de agua.

5.1.4 Tiempo de arranque del Reactor UASB

El sistema estuvo a prueba aproximadamente 10 días, comenzó a operar el día 23/02/2010 luego hasta el día 04/03/2010 se obtuvo una eficiencia de aproximada de 45%, lo cual indica que el lodo se había estabilizado, luego a partir de dicha fecha se comenzaron realizar las caracterización para nuestra investigación que duro hasta el día 25/06/2010.

5.1.5 Instalación del Tanque Mariotte



Fotografía N° 18: Tanque Mariotte conectado a la parte superior del Reactor UASB

Esta imagen muestra la conexión del Tanque Mariotte a la parte superior del Reactor UASB, ya descrito anteriormente, éste dispositivo

servirá para la medición de manera experimental la producción de biogas que se genera por la degradación de la materia orgánica.

El Tanque Mariotte es construido artesanalmente y de acuerdo a investigaciones conocidas respecto a su funcionamiento y en la cuantificación de la producción de gas que ingresa al dispositivo, por la cual es incorporado en nuestra investigación.

Cabe mencionar que la producción mayor o menor de gas dependerá de factores principalmente biológicos regidos por la variación y el acondicionamiento de parámetros de diseño y operación, es por ello que determinar la producción del gas reforzará la hipótesis de la investigación.

CAPITULO VI

6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR UASB

6.1. FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA



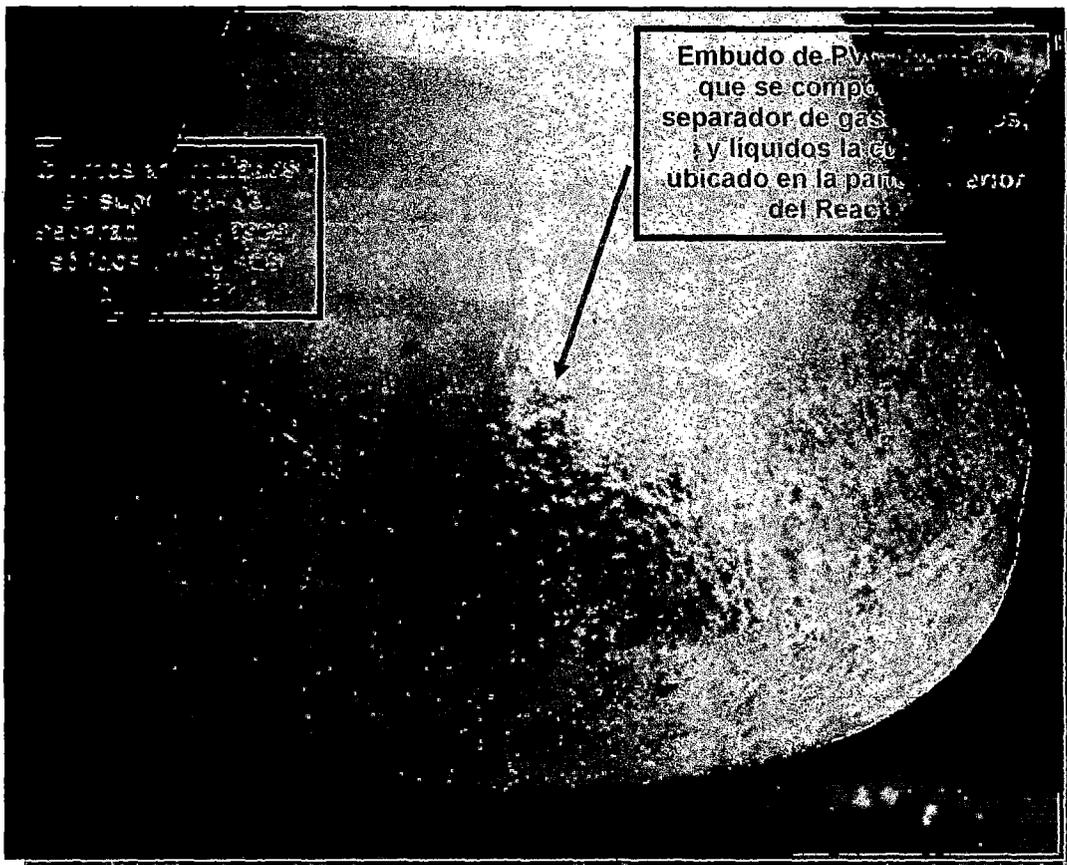
Fotografía N° 19: Reactor UASB, proliferación de algas

En la fotografía N° 19 mostramos a nuestro Reactor UASB en funcionamiento normal a inicios de la investigación, pero luego se tuvo algunos inconvenientes como la proliferación de hongos como se aprecia claramente en la imagen un color amarillo verdoso en gran parte de las paredes y la cobertura cónica del Reactor UASB.

De acuerdo a las consultas de los especialistas, asesores de la investigación y según lo manifestado en investigaciones similares, el

efecto de los rayos solares sobre un Reactor UASB de las características del nuestro, sufre de éste tipo de fenómeno, notándose de manera rápida la proliferación no sólo de algas sino también de hongos y diversos microorganismos que logran cubrir la totalidad del Reactor UASB.

El incremento de éstos microorganismos se deberá considerar como producto de las condiciones básicas que éstos requieren y que al accionarse con la luz solar se desarrollan y generan periodos más frecuentes de limpieza y mantenimiento del Reactor UASB.



Fotografía N° 20: Cono invertido, su función es de separador de Gases, Sólidos y líquidos esta ubicado en la parte superior del Reactor UASB

Esta fotografía fue tomada inmediatamente se retiraba el embudo que fue ubicado como separador de gases, sólidos y líquidos en la parte superior del Reactor UASB, y se aprecia de manera clara diversos

grupos de material orgánico que son los microorganismos que fueron encontrados y limpiados del Reactor UASB.

La acción correctiva inmediata fue la cobertura del Reactor UASB con material plástico, generando así un ambiente de tratamiento más aislado de toda luz externa que pueda generar desarrollo de organismos extraños en el interior del Reactor UASB.

Dado que los objetivos de nuestra investigación se centran principalmente en el comportamiento de parámetros fijos, no fue desarrollada la parte del análisis y determinación exacta de los tipos de microorganismos que se desarrollan en el Reactor UASB de acuerdo a los diversos efectos externos e internos.



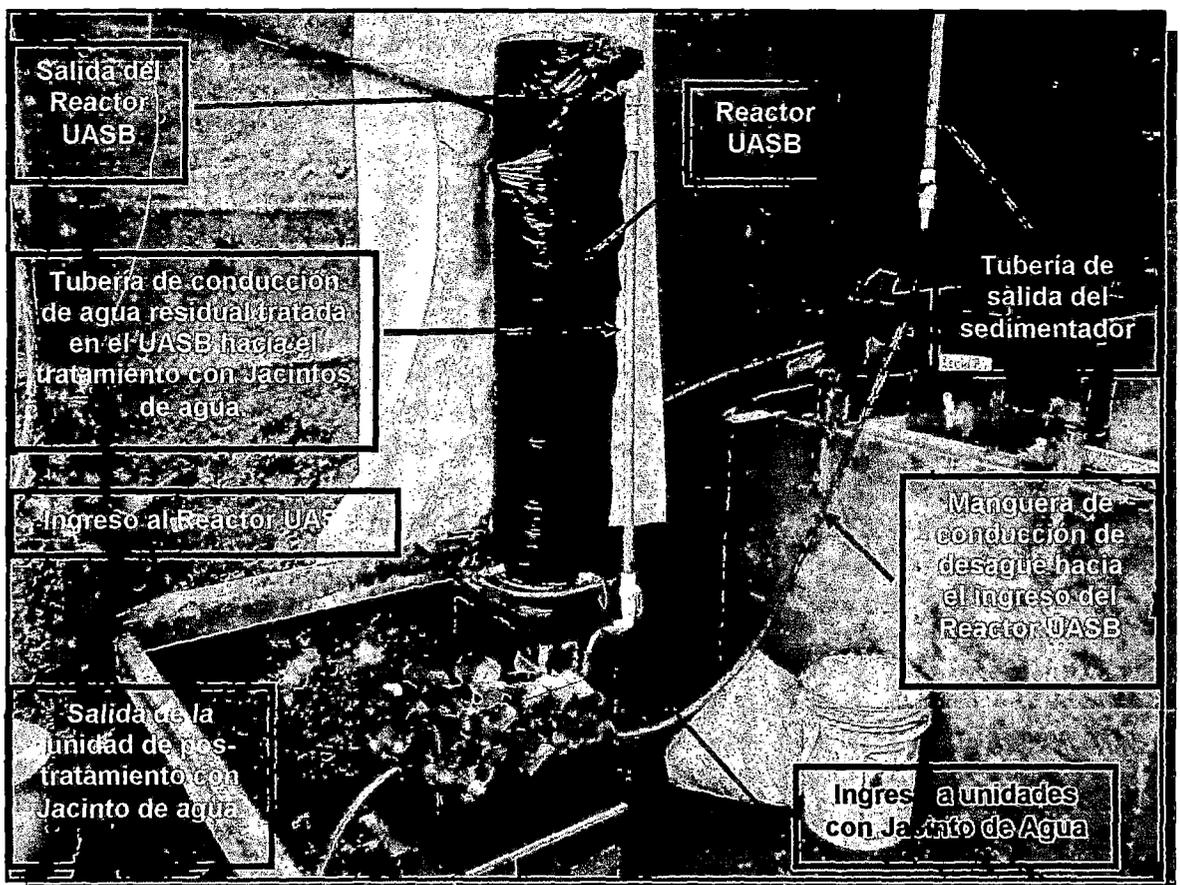
Fotografía N° 21: Reactor UASB protegido de la luz

Finalmente y luego de la limpieza del Reactor UASB de los microorganismos que se desarrollaban en las paredes dentro del Reactor UASB, se procedió a cubrirlo con plástico de color negro,

dándole varias vueltas y dejar el Reactor UASB completamente cubierto.

A manera de facilidad en la operación y el monitoreo constante se deja la parte superior e inferior del forro con fácil acceso, de ésta manera se podía constantemente revisar el nivel del agua residual dentro del Reactor UASB que salía como también se verificaba la producción del lodo que quedaba sedimentado en el fondo del Reactor UASB.

Se hace mención que a pesar de la protección total del Reactor UASB siempre se encontró al momento de efectuar el mantenimiento la proliferación de ciertos microorganismos que no era de manera abundante pero sin embargo se les encontraba frecuentemente.

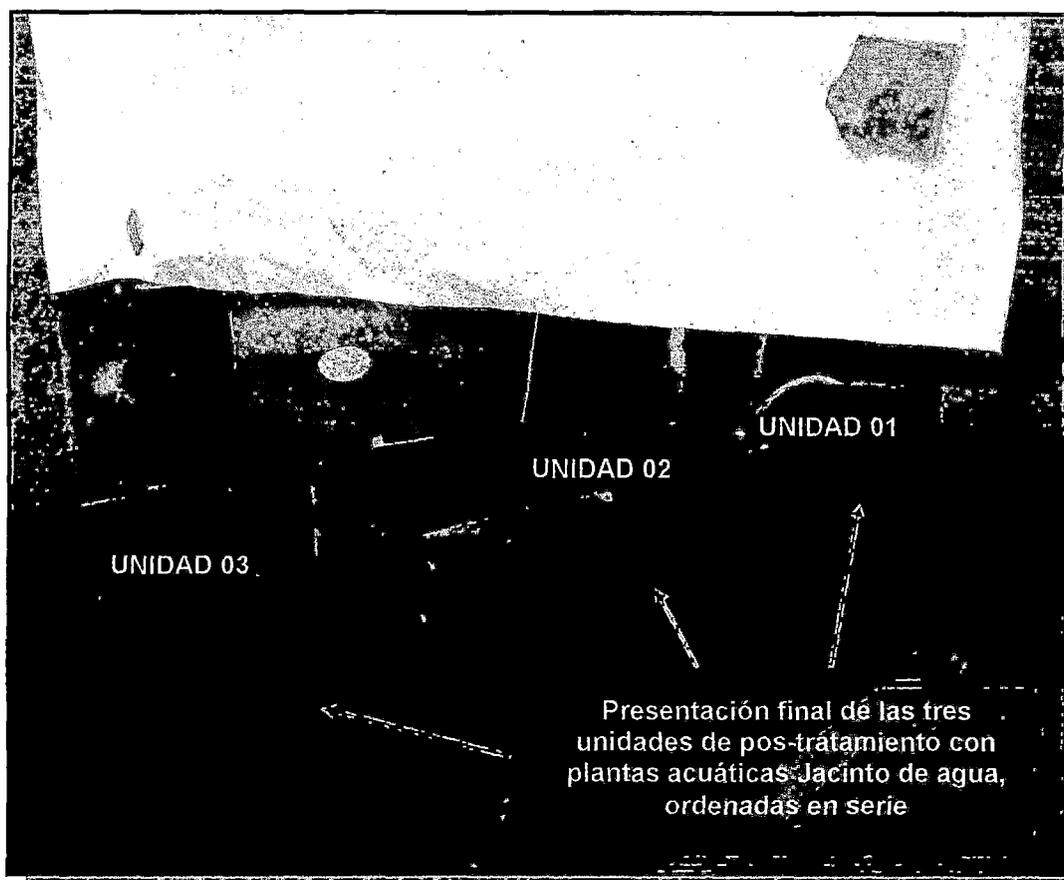


Fotografía N° 22: Reactor UASB con una sola unidad de Post-tratamiento

La fotografía N° 22 es totalmente clara al mostrarnos al Reactor UASB conectado directamente a una sola unidad de pos-tratamiento mediante flujo superficial con plantas acuáticas Jacinto de agua, imagen tomada al inicio del funcionamiento del sistema.

Se menciona en el ítem 4.5 que habla de la construcción de las unidades del pos-tratamiento tratamiento complementario del sistema de UASB, en éste ítem recalca claramente el porque la necesidad de fusionar más de una unidad para el tratamiento con plantas acuáticas Jacinto de agua a fin de garantizar el tiempo de retención mayor o igual a un día.

Es así que se instalaron tres de éstas unidades conformando finalmente nuestra unidad de pos-tratamiento con las plantas acuáticas Jacinto de agua, acondicionadas dentro del ambiente disponible y con todos los dispositivos de medición y aforo necesarios para su operación.

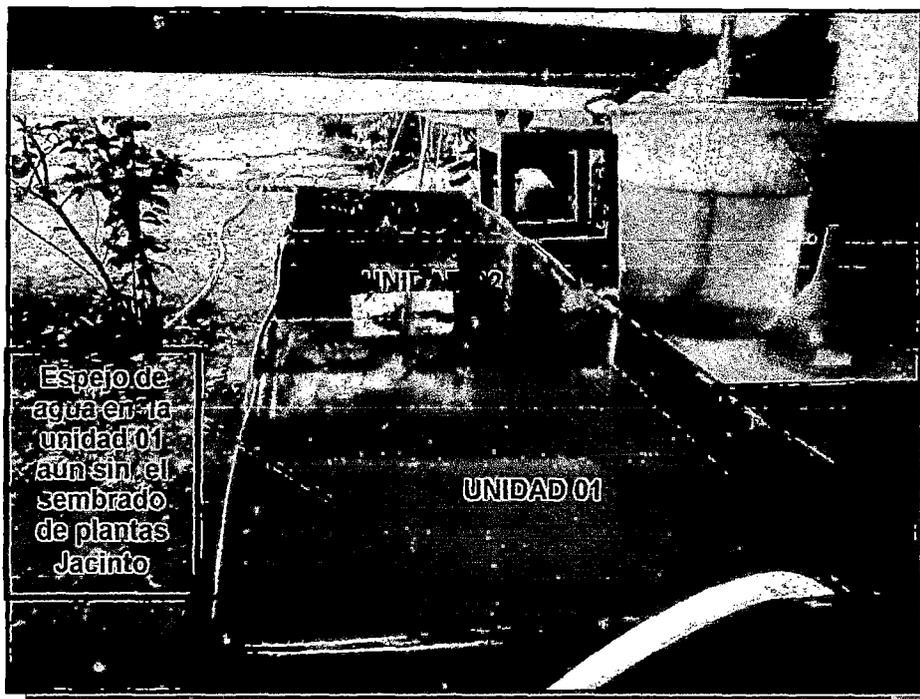


Fotografía N° 23: Unidades para el Pos-tratamiento del Reactor UASB

Fotografía N° 23 mostrándonos el acondicionamiento de las tres unidades ubicadas una después de otra interconectadas, asemejando una especie de pequeñas lagunas en serie, las mismas que son forradas en todo el contorno de las paredes externas con plástico negro cuyo objetivo trataba de ser el mismo que con el Reactor UASB y evitar la proliferación en las paredes de microorganismos y algas sin embargo de acuerdo al tipo de tratamiento que es directamente con plantas acuáticas, la aparición de pequeñas algas y microorganismos fue inminente por ser parte del ecosistema interno que se crea.

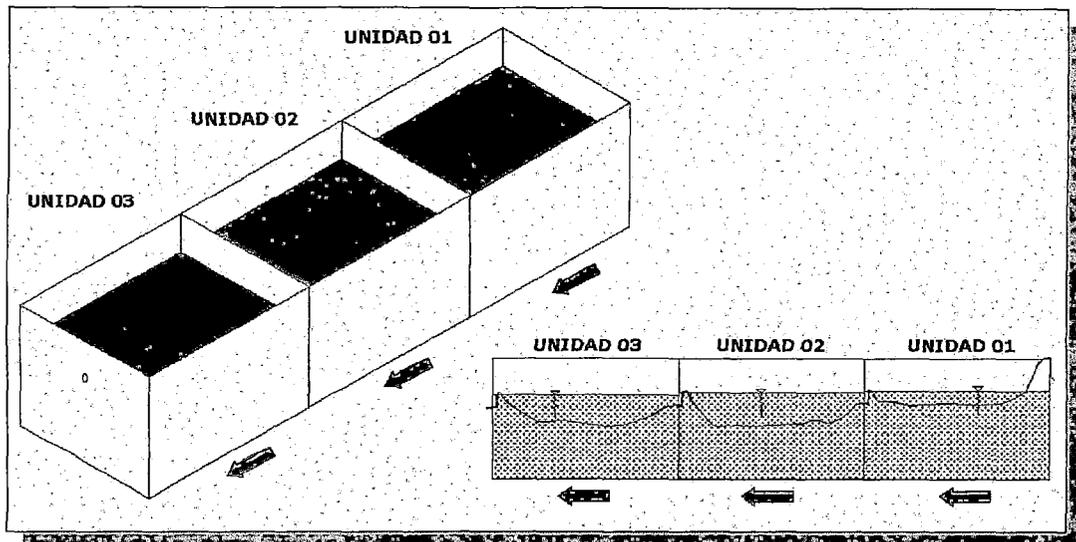
Las unidades fueron asentadas una a continuación de otra en forma horizontal y sobre ladrillos que fueron la base de las unidades, de ésta

manera no se le dio ninguna pendiente a éstas unidades, quedando toda la unidad completamente horizontal.



Fotografía N° 24: Unidades para el pos -tratamiento del Reactor UASB

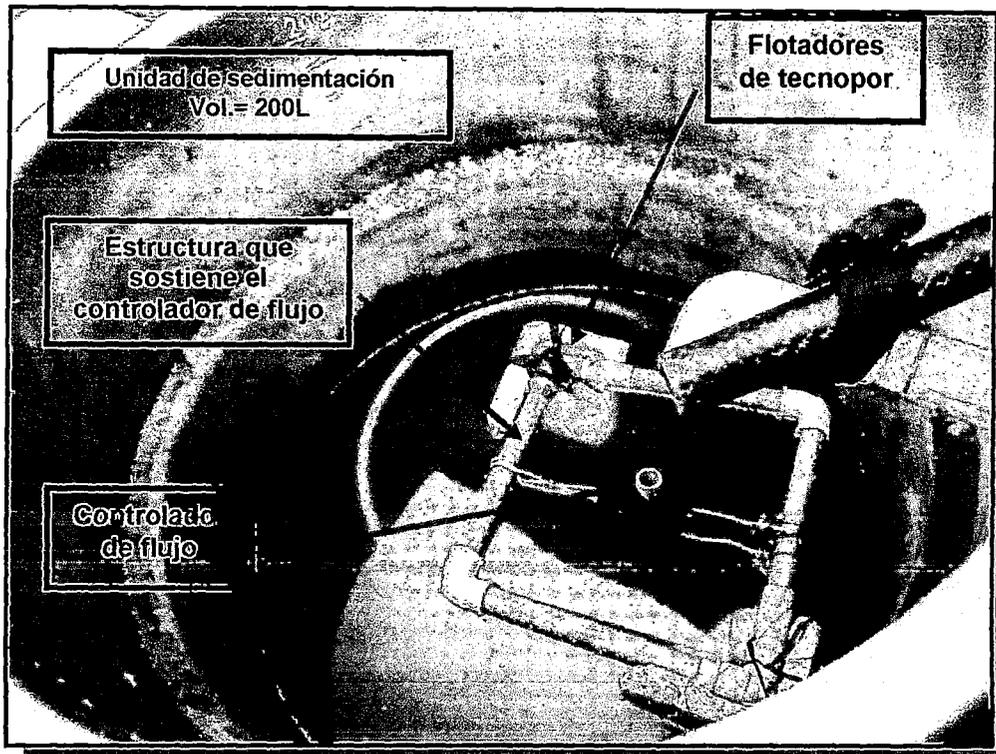
Esta fotografía es mucho más clara con respecto a la disposición de las unidades del post tratamiento, dejando notar que una vez que se llena una y através del ingreso hacia la siguiente unidad, se procederá a llenar la siguiente unidad y así sucesivamente, mostrándose el siguiente esquema a modo de aclaración.



Esquema N° 6.1: Esquema de unidades de Pos-tratamiento del Reactor UASB

El esquema N° 6.1 nos muestra las tres unidades del pos-tratamiento del Reactor UASB así como la secuencia como un hilo del agua de ingreso recorre las tres unidades.

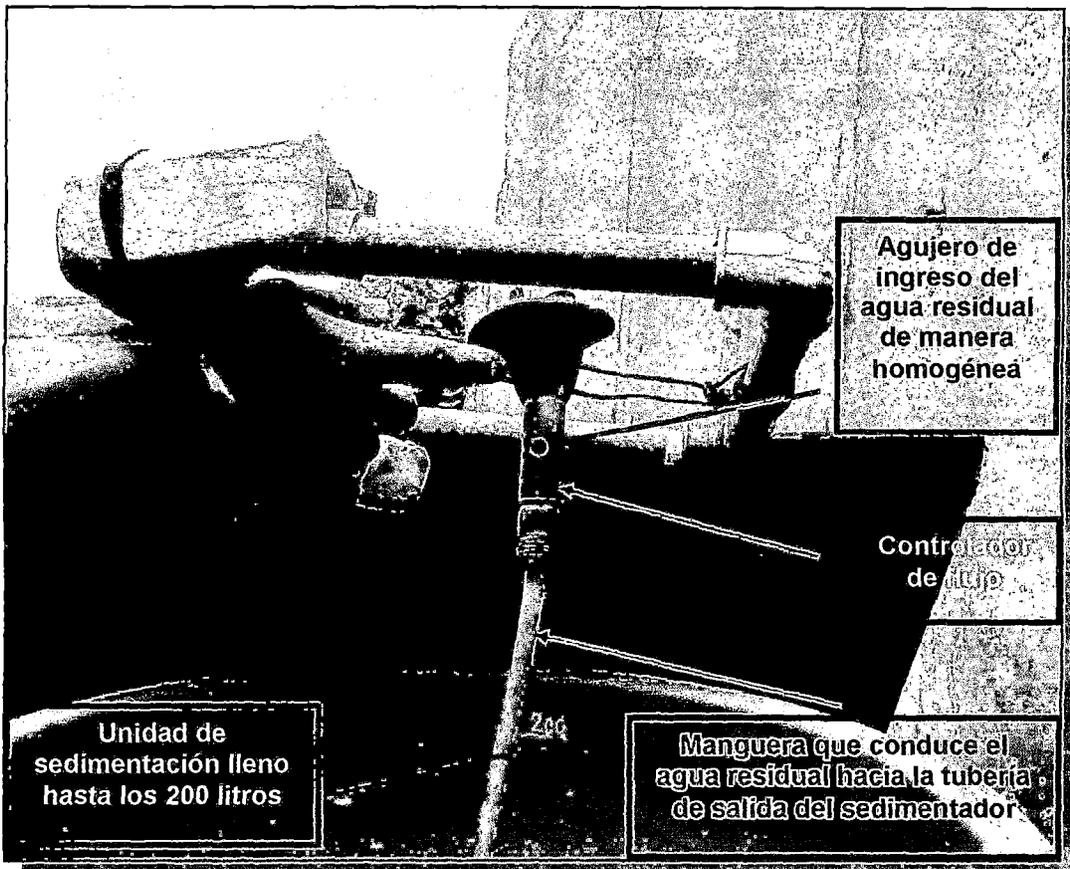
Muestra además el perfil hidráulico que tienen las tres unidades, todo éste recorrido es el que nos garantiza el tiempo de retención en estas unidades de las 24 horas, garantizándonos así el tratamiento adecuado con las plantas acuáticas Jacinto de agua.



Fotografía N° 25: Controlador de nivel de agua, para obtener un caudal homogéneo

En la imagen N° 25 se muestra el controlador de nivel que se instaló en el Sedimentador, como se aprecia está armado de una estructura principal de tuberías de 1 pulgada y cuatro codos que sirven como soporte base del flotador sujeto con cables verdes en el medio de la estructura, en dos de los vértices se colocaron trozos de tecnopor que hacen la función de mantener la estructura siempre a flote.

La parte más importante de éste controlador es el controlador que se encuentra en el centro de gravedad de la estructura.



Fotografía N° 26: Controlador de nivel a detalle

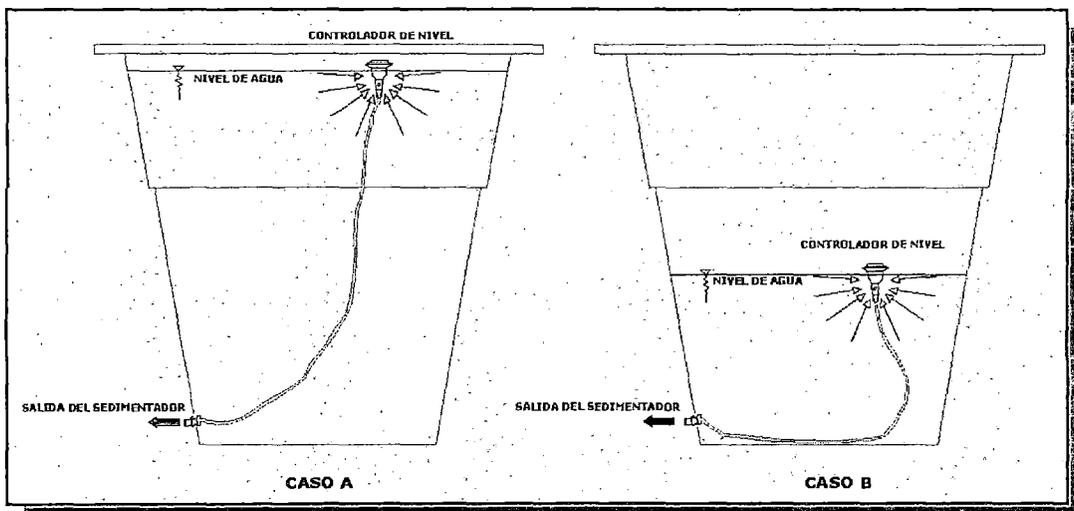
Esta es la imagen más clara del controlador de nivel instalado en el sedimentador, se ve claramente el agujero que sirve de ingreso del agua que permite que éste ingreso sea constante no importando el nivel del tanque, pues siempre que haya agua por debajo de todo el flotador el caudal de ingreso se mantendrá constante puesto que el ingreso está por debajo del espejo de agua.

Seguidamente se instaló una manguera que conduce el agua hasta el punto de salida del Sedimentador.

De acuerdo a la necesidad y el caudal requerido para el funcionamiento del sistema el operador tenía diferentes tiempos para el llenado del tanque, ya sea cada 83, 48 y 14 horas de tiempo de vaciado de la unidad

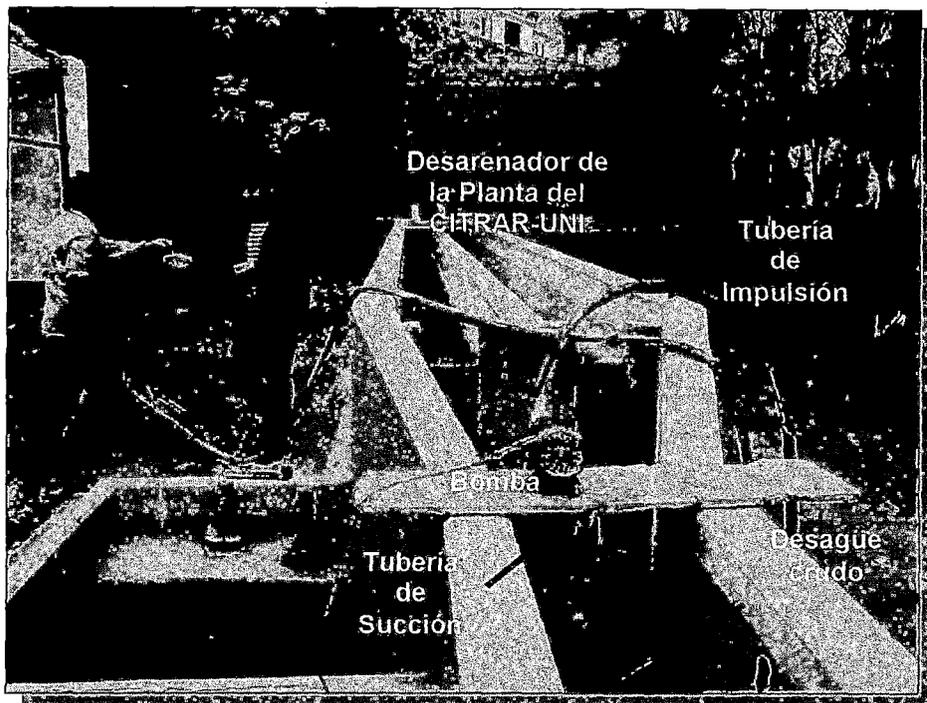
de sedimentación, con éste controlador el caudal que se regulaba a la salida del Sedimentador siempre era constante.

El esquema siguiente nos muestra la disposición del controlador dentro del Sedimentador. Para su mejor entendimiento.



Esquema N° 6.2: Esquema del controlador en la unidad de sedimentación

El esquema muestra dos casos; el caso A es con tanque lleno, nótese el variado volumen que tiene nuestro Sedimentador, lo que a medida que descienda el nivel de agua el caudal de salida variaría y no se podría mantener un caudal constante, es por ello que al colocar el controlador de nivel garantizamos que el ingreso sea constante hasta llegar al CASO B en el cual el nivel de agua ha descendido a su nivel mínimo y aún en la salida del Sedimentador contaremos con el caudal adecuado.



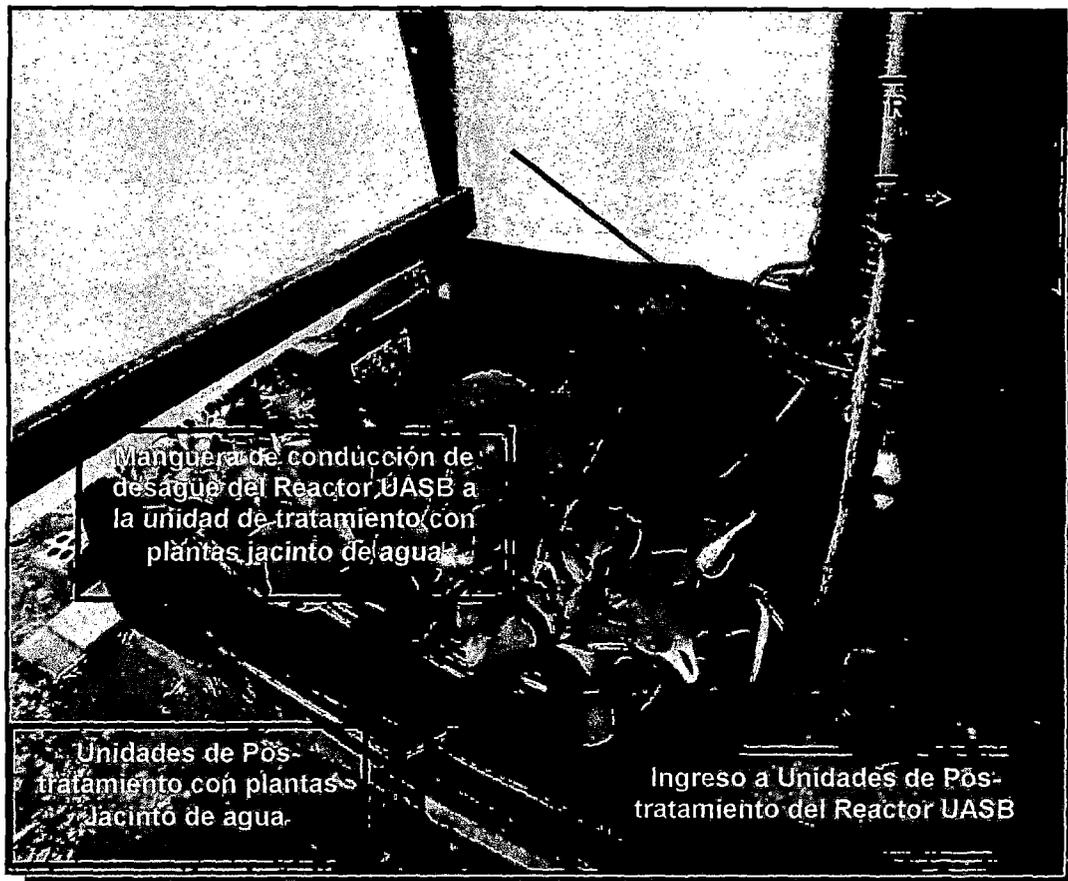
Fotografía N° 27: Bombeo de agua residual desde el Desarenador de la planta CITRAR-UNI a la unidad de Sedimentación.

El llenado del tanque de sedimentación se realiza con el uso de una bomba de eje vertical de 1.0 HP de potencia, la cual succiona agua residual de la unidad del medidor de caudal tipo Parshall, después de los desarenadores tal como se muestra en la fotografía.

El llenado total del tanque era en promedio de 4 a 5 minutos, de ésta manera se evitaba inconvenientes en el llenado del tanque y el tiempo era el mínimo lo que garantizaba un adecuado y rápido sistema de llenado del tanque.

Al inicio el llenado del tanque se realizaba cada 83 horas sin embargo a medida que avanzaba la investigación el caudal requerido era mayor por lo tanto el consumo del agua residual era también mayor llevándonos a llenar el tanque cada 48 y 14 horas, acomodándonos a los horarios de

operación en la Planta en el CITRAR –UNI y la disponibilidad del equipo de bombeo.

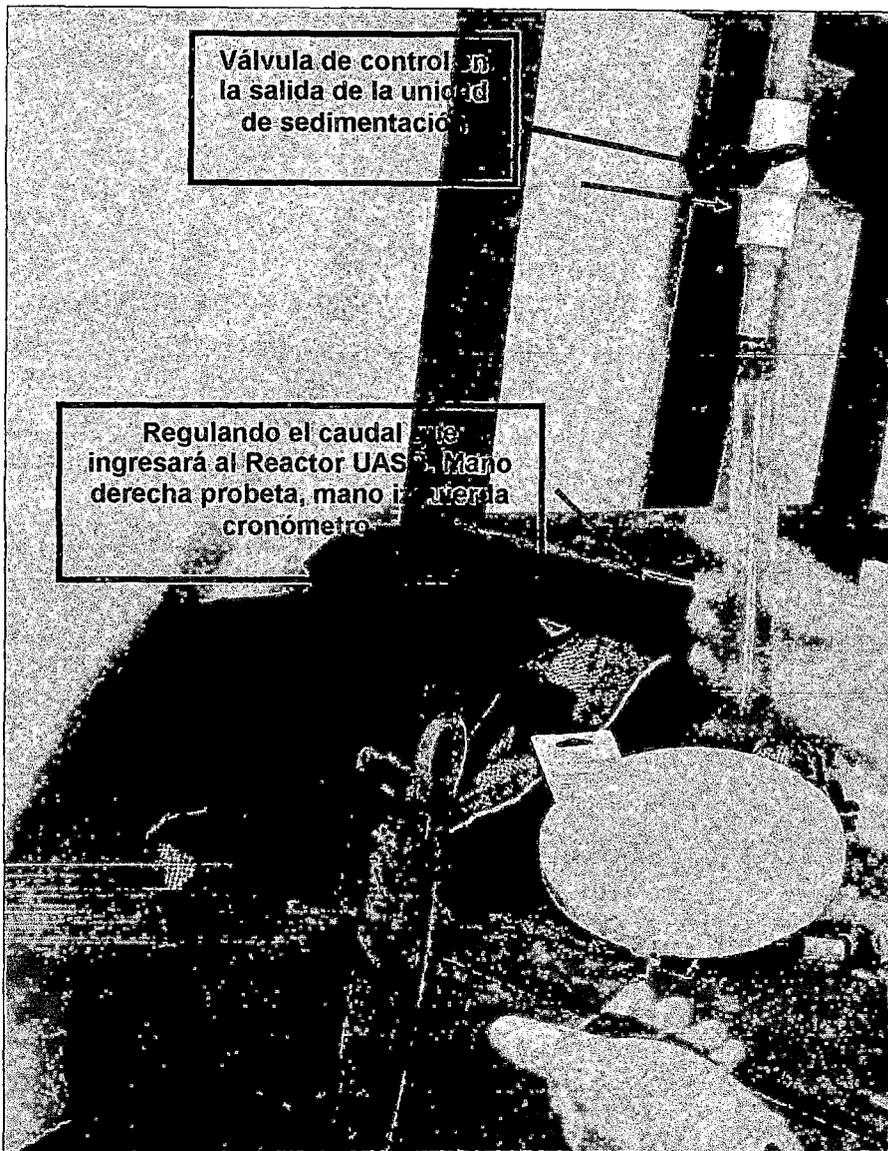


Fotografía N° 28: Reactor UASB y el sistema de Pós-tratamiento Humedal de flujo superficial con plantas jacinto de agua

La fotografía N° 28 muestra al Reactor UASB y su Pós-tratamiento como se mantuvo durante todo el tiempo en que se realizó el monitoreo y las tomas de muestras, pues con los inconvenientes que se nos presentaron al inicio y la pronta respuesta y solución finalmente se muestra con agrado el adecuado funcionamiento del tratamiento y el post tratamiento, tal como nos lo muestran los resultados obtenidos.

El pos-tratamiento satisfizo las expectativas generadas y se logró mantener el crecimiento de las plantas, el aceptable grado de

eficiencia, la producción constante de biogás, el incremento del lodo sedimentado en el Reactor UASB.

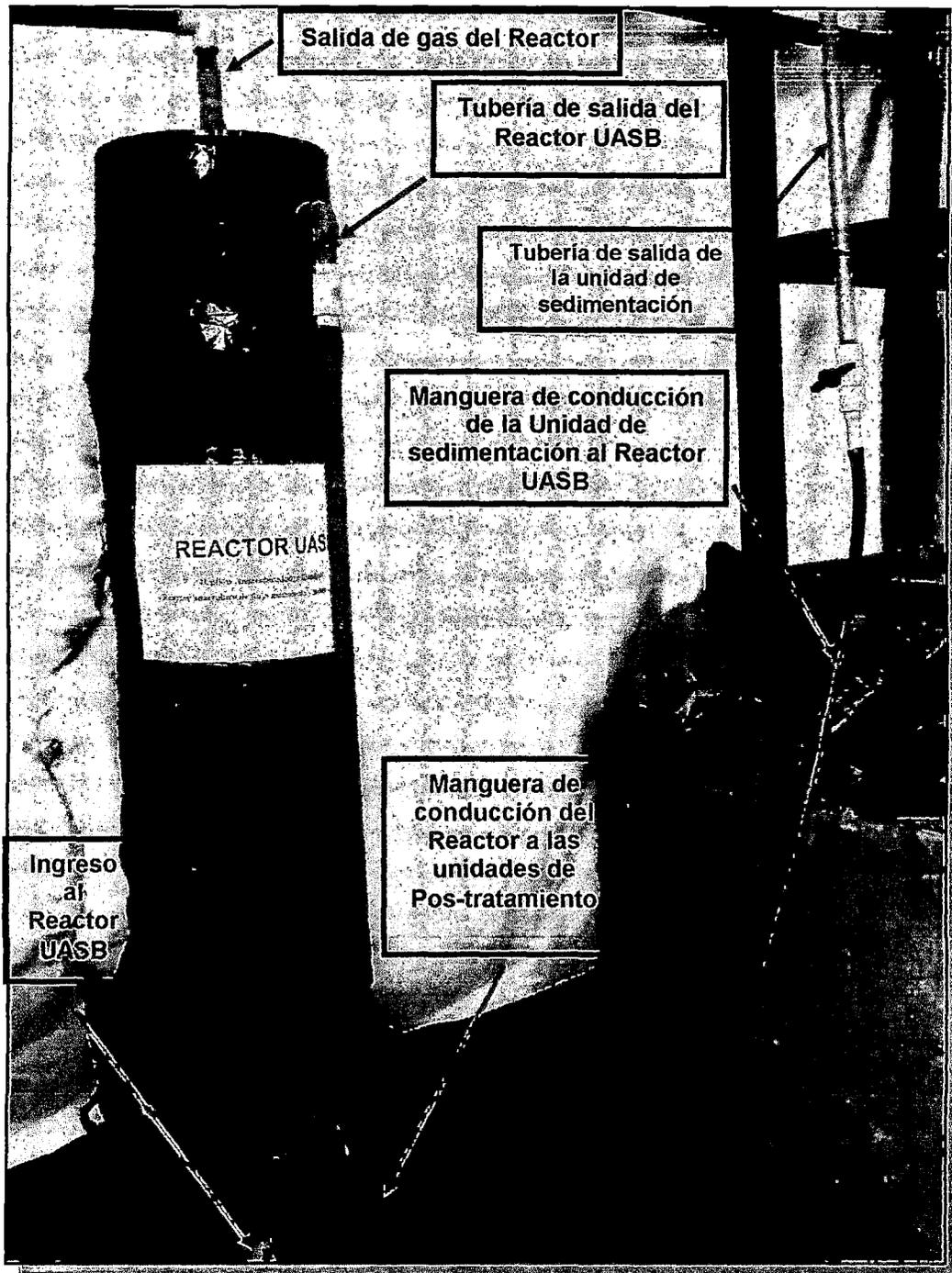


Fotografía N° 29: Regulando el caudal de ingreso al Reactor UASB

El procedimiento de la regulación del caudal de acuerdo a lo requerido se realizaba diariamente y en tres horarios por día en las horas 9:00 am, 12:00 pm y 3:30 pm garantizando con ello que el caudal que se suministra al sistema se mantenga lo más constante que se pueda y no genere alteraciones al tratamiento del Reactor UASB y un estancamiento mayor en las unidades de post tratamiento.

Para el aforo se previó de un cronómetro y una probeta de 100 ml en la cual se llenaban los mililitros que se deberían extraer en un determinado tiempo y así se conseguía el caudal requerido.

Sabiendo que las aguas residuales que se están tratando aún no han recibido ningún tipo de tratamiento al salir del sedimentador, se tiene bastante cuidado para no mantener contacto directo al momento de la operación a realizar, es por ello que en todo momento se hacen uso de los guantes quirúrgicos que se encuentran dentro de las instalaciones.



Fotografía N° 30: Reactor UASB rotulado y en operación

La fotografía N° 30 muestra al Reactor UASB debidamente rotulado así como todo el sistema de tuberías que están conectadas.

Se aprecia la manquera de ingreso que está inmediatamente después de la válvula de control llega directamente a la parte baja del Reactor UASB y alimentar la unidad de tratamiento con el caudal de trabajo.

Así mismo se aprecia la tubería de salida que conduce el agua tratada hasta el pos-tratamiento de plantas Jacinto,

Finalmente se muestra la tubería que desde la parte superior del Reactor UASB se desplaza directamente hacia el Tanque Mariotte.



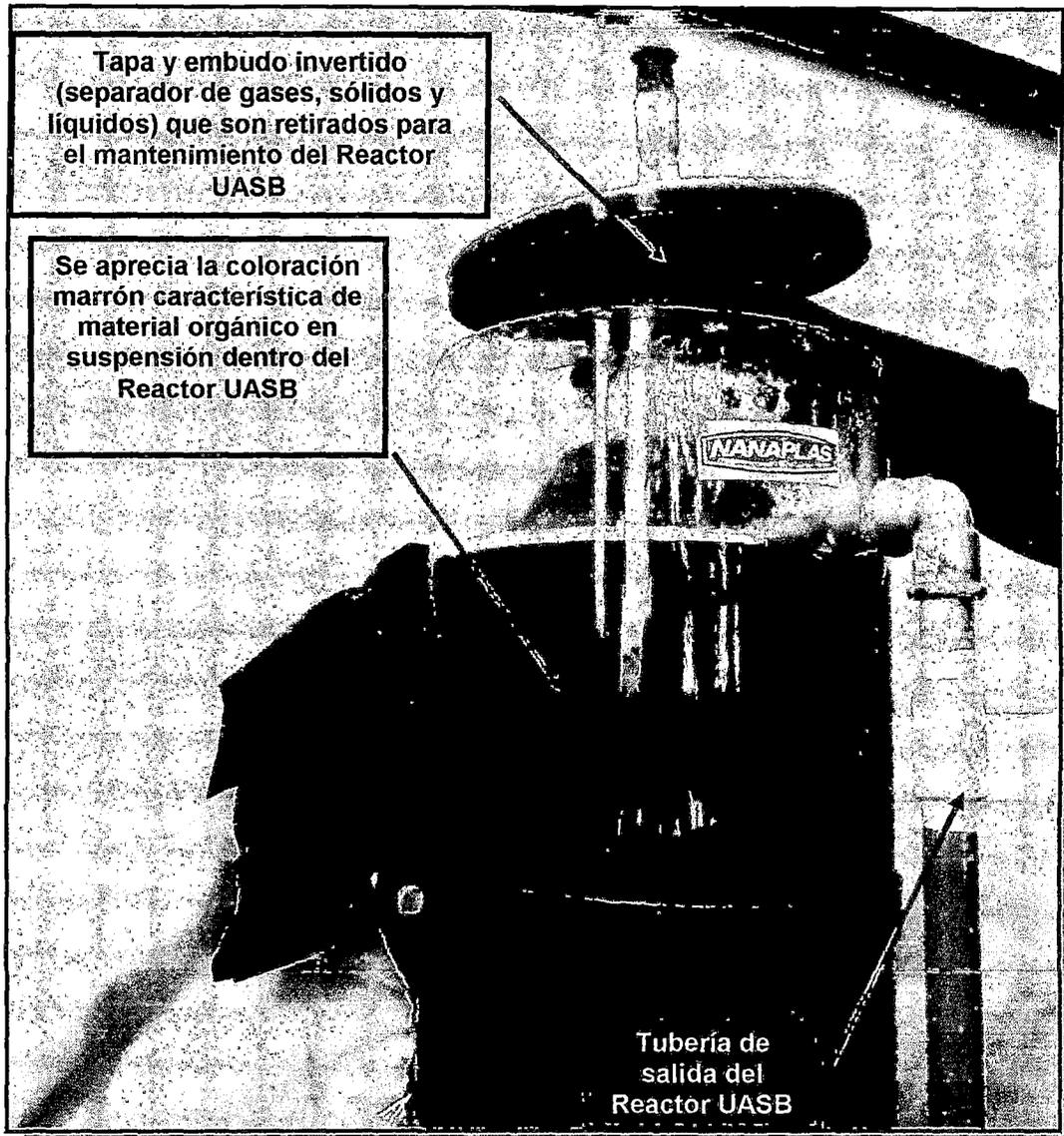
Fotografía N° 31: Unidad de Pos-tratamiento Humedal de flujo superficial con planta jacinto de agua

En la fotografía N° 31, es apreciable primeramente en la fotografía el rotulado de la unidad así como es desborde en las unidades de las hojas

de las plantas Jacinto, sin embargo al ser un poco más observadores apreciamos que a medida que transcurría el tiempo de la investigación la unidad 01, tiene poca cobertura de las plantas y en la unidad 02 la cobertura es mucho mayor y ni que decir de la unidad 03 en la que casi por completo es copada la unidad.

El crecimiento distinto de las plantas nos refleja el grado de tratamiento que existe en cada una de las unidades, condicionando quizá a un mayor estudio y análisis en un ordenamiento de éste tipo con ésta especie de planta u otra.

6.2 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

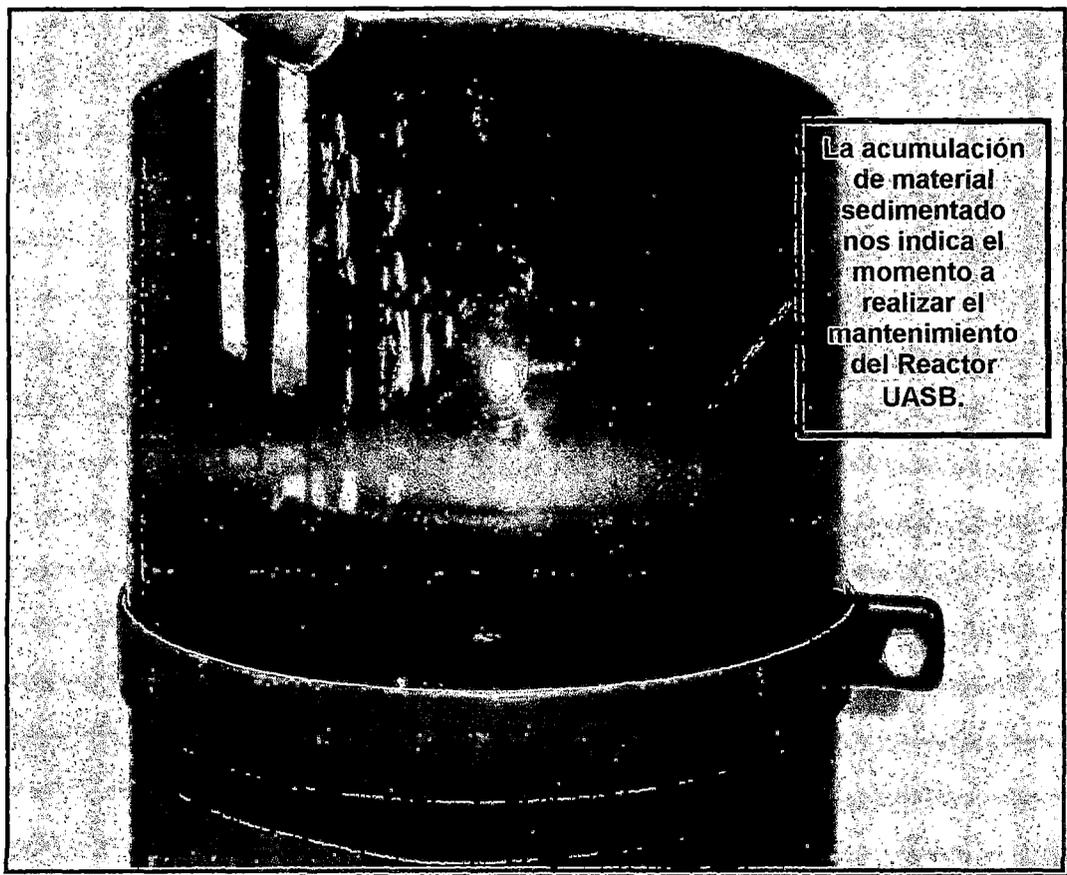


Fotografía N° 32: Realizando el mantenimiento al Reactor UASB

En la fotografía N° 32 del presente documento se muestra la forma cónica que tiene la parte superior a forma de tapa del Reactor UASB y que conforma la parte del separador GSL del mismo, es en éste componente en el que se generaba un continuo almacenamiento de sedimentos, grasas y materia orgánica que debía de ser removida periódicamente.

Debido a que uno de los puntos de muestreo es a la salida del Reactor UASB y que es precisamente por la parte superior a medida que transcurrían los días se notaba el incremento de la materia orgánica en los resultados del laboratorio, ello hacía notar la urgencia de la limpieza del separador GSL.

Así pues finalmente se obtuvo una frecuencia semanal de la limpieza del separador de GSL del Reactor UASB, garantizando el buen funcionamiento y mejor concordancia de los resultados.



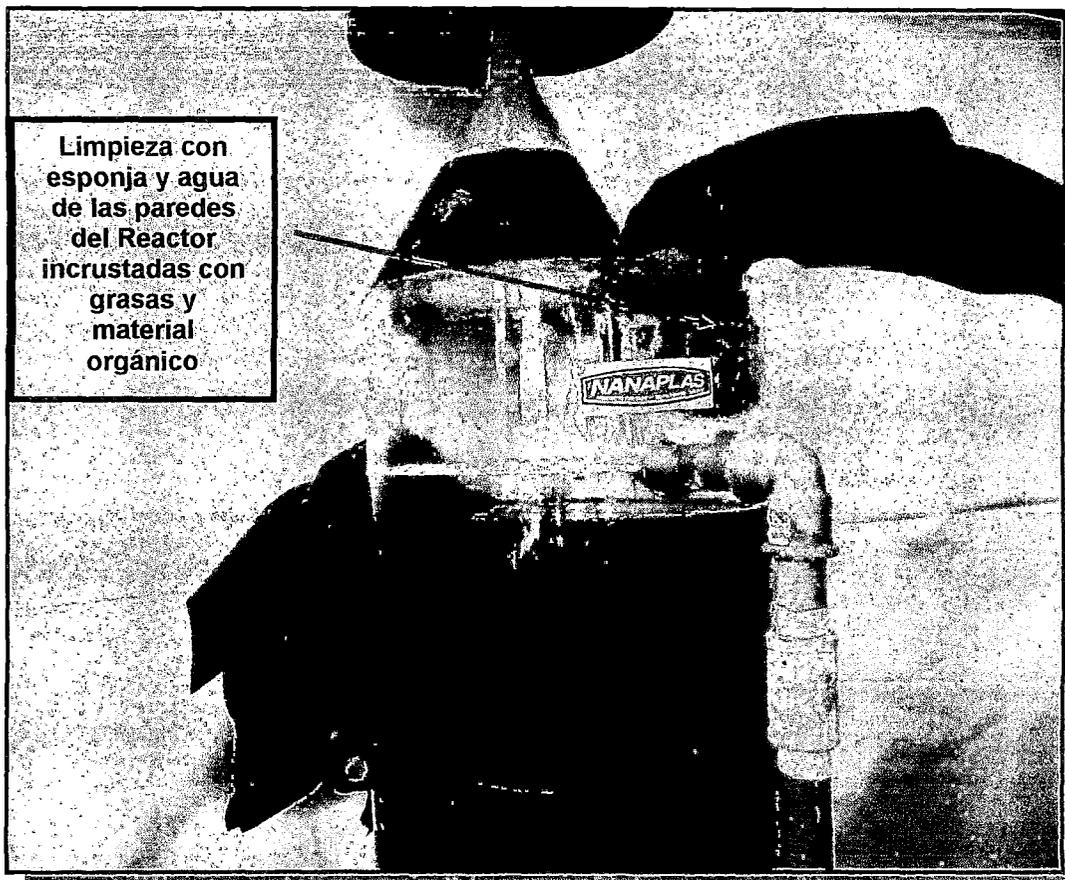
Fotografía N° 33: Componente del separador gases, sólidos y líquidos totalmente colmatada

La fotografía muéstrala gran cantidad de materia orgánica y sedimento que se aglomeró en el separador GSL, quedando casi inapreciable.

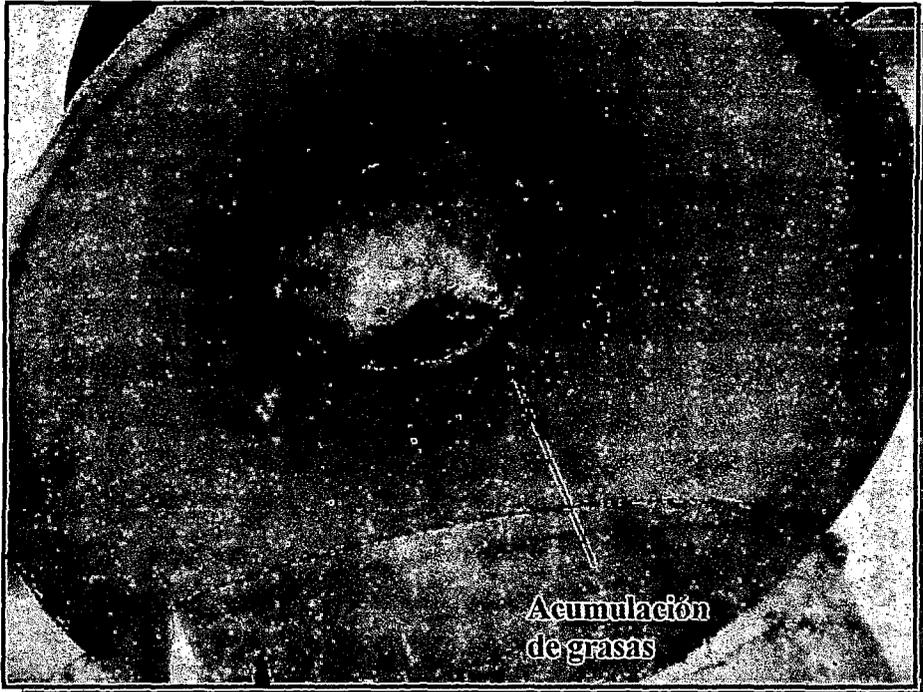
En las fotografías 34, 35, 36 y 37 se aprecia tanto en la parte interior como posterior del separador de GSL y en los bordes del componente gran presencia de materia orgánica que se presume sean una especie de microorganismos que se desarrollan y que al no haber un frecuente cambio en el tipo de flujo sedimentan y se aglomeran hasta apreciar las imágenes que se muestran; sin embargo el análisis de éste tipo de presencia y determinación de la composición de éstos microorganismos deberán ser resueltas en posteriores investigaciones.



Fotografía N° 34: Parte posterior del cono separador de (gases, sólidos y líquidos)



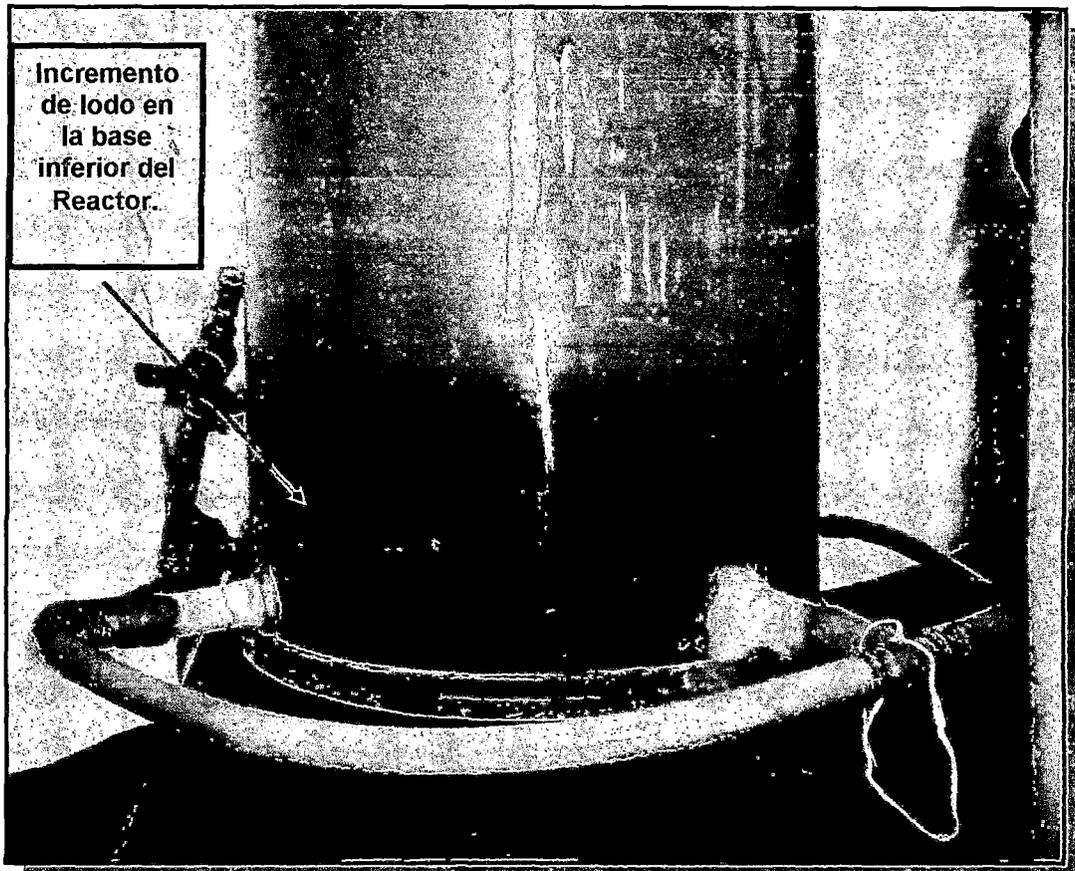
Fotografía N° 35: Mantenimiento del Reactor UASB



Fotografía N° 36: Parte interior del cono (separador de gases, sólidos y líquidos)



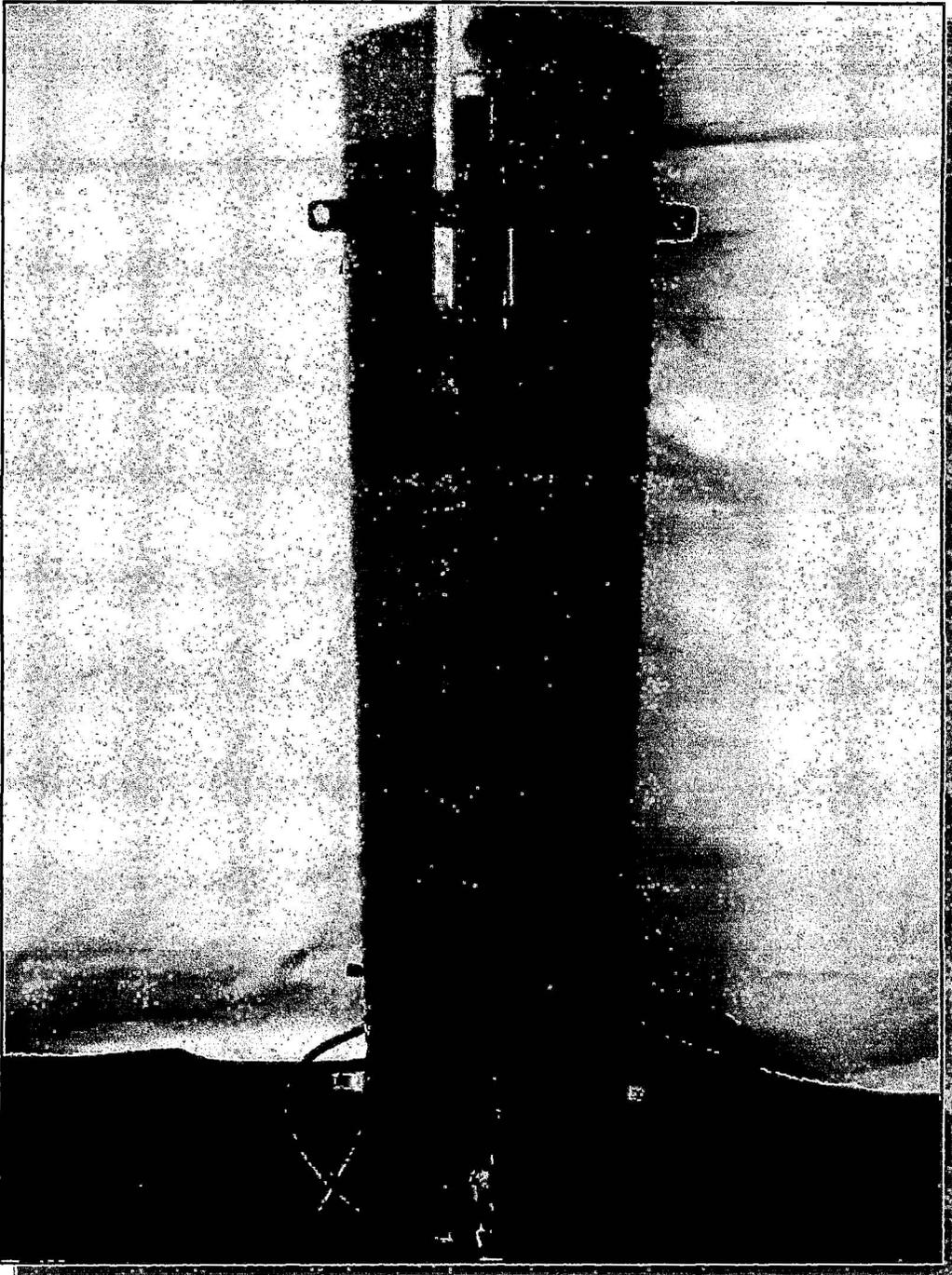
Fotografía N° 37: Tapa del Reactor UASB con presencia de microorganismos



Fotografía N° 38: Crecimiento de lodo

Haciendo la mención que en el ítem 5.2 del acondicionamiento del Reactor UASB, se inoculó con una altura de 6 cm de lodo extraído del RAFA (a 1.5 m), se muestra que dentro de todo el proceso de la investigación se produjo un incremento en 4 cm de altura de lodo incrementado aproximadamente 0.63 lt en los 5 meses de trabajo.

Cabe mencionar que de acuerdo al mantenimiento y la operación se pudo en algunos momentos presentarse pérdida de cantidades de lodo no cuantificado debido a la dificultad de hacer dicha medición en el Reactor UASB.



Fotografía N° 39: Reactor UASB Limpio

Visualmente es notoria la diferencia entre el Reactor UASB debidamente limpio a cuando al cabo de los 5 días nos está presentando sedimentos así como presencia de microorganismos, así pues ésta imagen muestra una de las tantas veces en que se dejó

completamente limpio y operativo a nuestro Reactor UASB, notándose claramente sus componentes internos y en buen estado de conservación.

Se llegó pues refiriéndonos nuevamente a la rutina de la limpieza semanal y no únicamente de algunos componentes del Reactor UASB sino a todo el sistema de tratamiento y el post tratamiento.



Fotografía N° 40: Cambio de plantas Jacinto de agua

De la misma forma que el Reactor UASB, en las unidades de pos-tratamiento debido al crecimiento del Jacinto de agua se debía de realizar el cambio de las plantas sembradas y acondicionarlas para su rápida adaptación a las unidades.

El cambio se efectuaba cada 2 semanas y dependiendo de la variación del caudal como del tipo de unidad 1, 2 y 3 se empezaron a variar tal que no se alteren de manera violenta los ecosistemas y conforme la necesidad lo requiera.



Fotografía N° 41: Proliferación de zancudos en la unidad de Post-tratamiento.

En las unidades de Pos-tratamiento se presentó de manera inmediata la proliferación de larvas de zancudo que es típico encontrarlos en aguas estancadas y dado que el caudal de circulación en nuestras unidades, son perfectas para el depósito de los huevos de zancudos que se fueron proliferando de manera creciente.

Al incrementarse la cantidad de larvas que incluso atravesaban las tres unidades hasta llegar a salir por completo de las unidades de pos-

tratamiento y encontradas en las muestras a la salida del mismo, es que se decide inocular a nuestras unidades una especie de pez denominado "guppy" (*Poecilia reticulata*), el cual considera como su alimento directo a las larvas de los zancudos, poniendo el control a la proliferación en las unidades.



Fotografía N° 42: Proliferación de zancudos

La fotografía N° 42 nos muestra gran cantidad de zancudos muertos, así como larvas que se aglomeran en las entradas a los tubos capilares de interconexión entre las unidades.

Gran cantidad de zancudos, larvas e incluso guppys en ciertas oportunidades llegaban a atorar el sistema de interconexión, para lo cual dentro del mantenimiento semanal se realizaba el desatoro de las

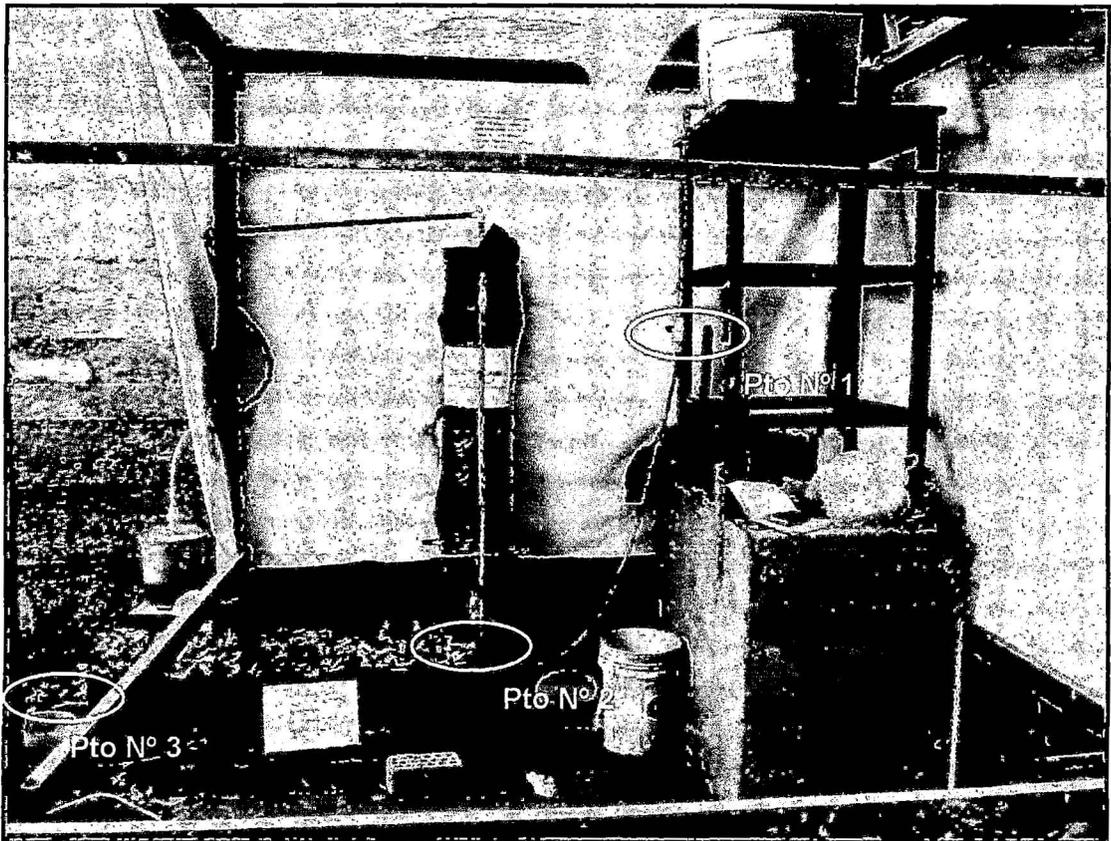
tuberías en estos capilares de conexión, desatorándolos y retirando el desperdicio acumulado en las tres unidades.

CAPÍTULO VII

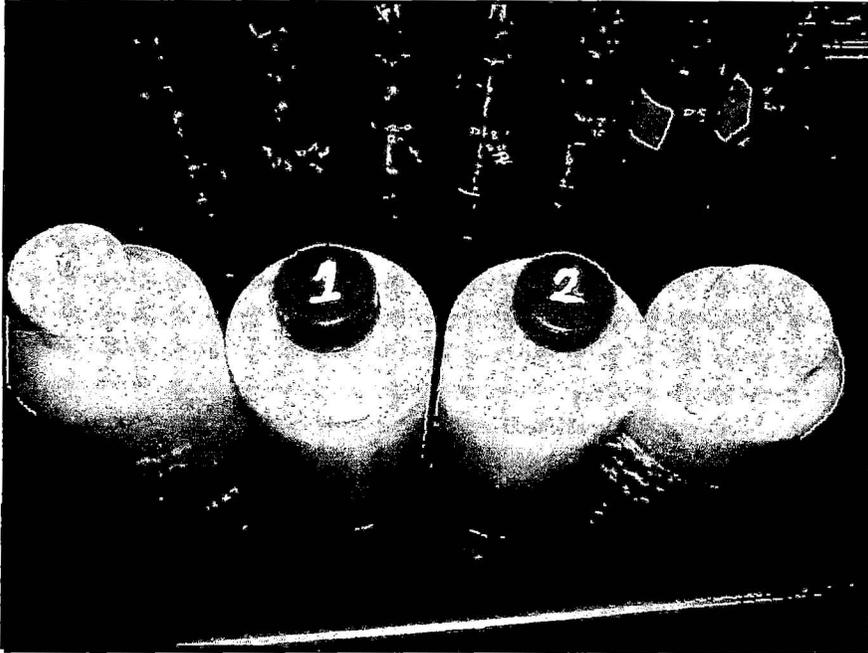
7. ANÁLISIS DE LABORATORIO

7.1 PUNTOS DE MUESTREO

Puntos de toma de muestra (Pto N° 0: Desarenador de la planta de tratamiento, Pto N° 1: Ingreso al Reactor UASB, Pto N° 2: Salida del Reactor UASB, Pto N° 3: Salida del Pos-tratamiento Humedal de flujo superficial con plantas acuáticas Jacinto de agua).



Fotografía N° 43: Los puntos de toma de muestra

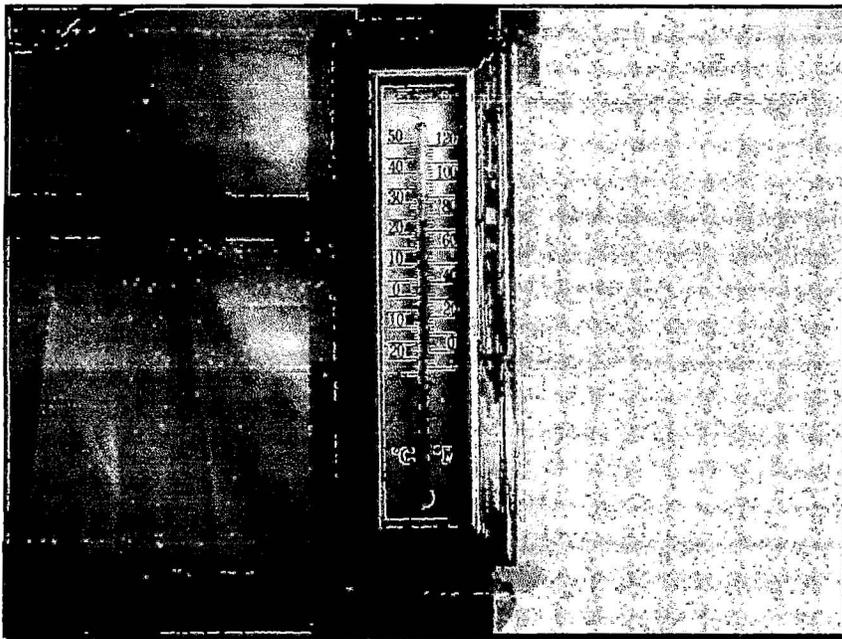


Fotoarafia N° 44: Muestras tomadas en cada punto de análisis

7.2 ANALISIS REQUERIDOS

7.2.1 Temperatura (T)

La Temperatura se determino tanto para la muestra en cada punto de muestreo así como la temperatura ambiental.



Fotografía N° 45: Determinación de la temperatura ambiental

7.2.2 Potencial de Hidrogeno (pH)

El pH se determino in situ.

7.2.3 Caudal

Para la investigación se controlaba el caudal por medio del aforo cada 3 horas (9:00am, 12:00pm y 3:00 pm)

Con una probeta de 100mL se llenaba por espacio de un tiempo conocido y se obtenía el caudal requerido para nuestra investigación.



Fotografía N° 46: Aforamiento para la determinación del caudal de agua residual en la salida de la unidad de sedimentación

7.2.4 Conductividad eléctrica



Fotografía N° 47: Determinación de la conductividad eléctrica

7.2.5 Oxígeno Disuelto (OD)

Se determino por el método del oxímetro.

7.2.6 Turbiedad

1. Tomar 50ml en un frasco.
2. Llenarlo en el vial para la determinación de la turbiedad.



Fotografía N° 48: Turbidímetro para determinar la turbiedad

7.2.7 Sólidos

Procedimiento:

A) Sólidos Totales

1. Pesar la capsula
2. Tome 25ml de la muestra y viértalos en una capsula.
3. Se coloca la capsula que contenga la muestra en la plancha de calentamiento para acelerar la evaporación, posteriormente llevar a la estufa a 105 °C por espacio de 20 minutos.
4. Dejar enfriar la capsula en el desecador durante 15 minutos y haciendo uso de la balanza pese el residuo.

B) Sólidos Disueltos

1. Pese la capsula
2. Tome 25ml de muestra y fíltrelo a través de un embudo con papel filtro.
3. Reciba el filtrado en la capsula y hacer el mismo procedimiento de los sólidos totales.

C) Sólidos Suspendidos

Los sólidos suspendidos se determinan el peso de sólidos totales menos el peso de sólidos disueltos.

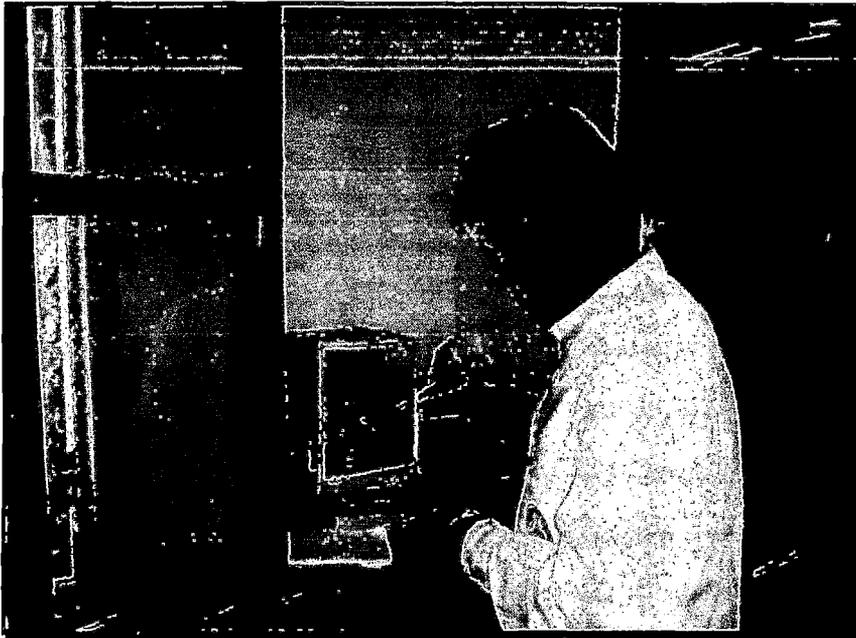
D) Sólidos Volátiles y Fijos

En esta determinación se sigue utilizando las capsulas de los sólidos totales y disueltos

1. Una vez pesada su capsula con el residuo seco colóquelo en el horno a 600 °C durante una hora.
2. Pasamos la capsula al horno a 105 °C durante 10 minutos y luego lo llevamos al desecador por 15 minutos.
3. Una vez que este frío el crisol, pesamos.



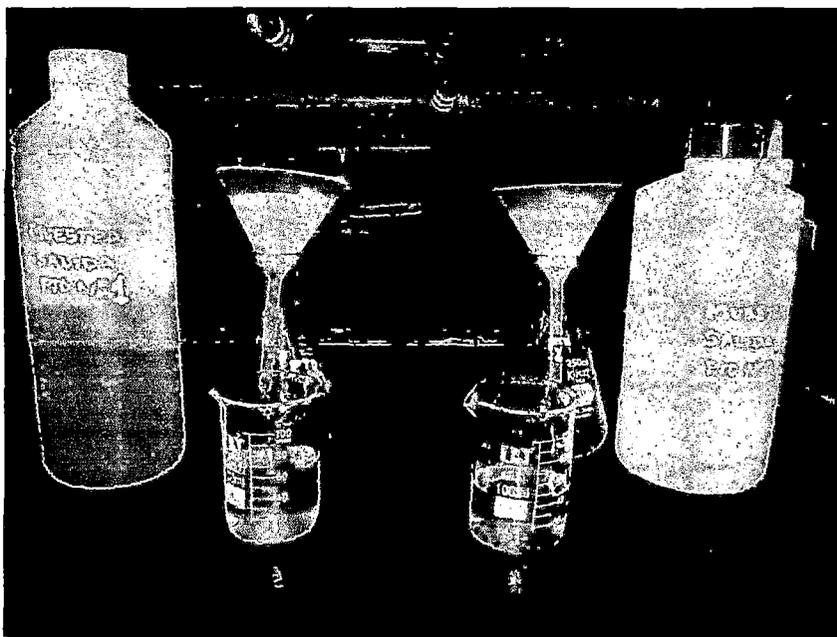
Fotografía N° 49: Acondicionamiento de las capsulas en el desecador



Fotografía N° 50: Pesado de las capsulas



Fotografía N° 51: Filtrando la muestra para determinar los sólidos disueltos



Fotografía N° 52: Filtrando las muestras para determinar los sólidos Disueltos totales y volátiles

E) Sólidos Sedimentables

1. Coloque un litro de muestra en un cono Imhoff y deje sedimentar por espacio de una hora.
2. Luego haga la lectura en la parte final (graduada) del cono.
3. Expresamos los resultados en mL/L/h.



Fotografía N° 53: Determinación de Sólidos sedimentables mediante el cono Imhoff

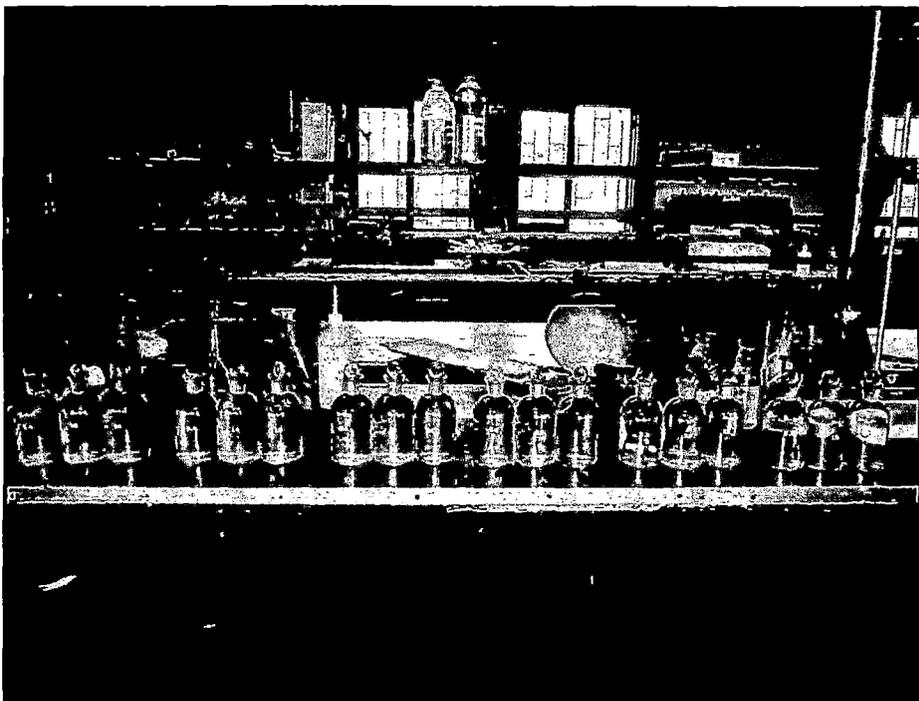
7.2.8 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Procedimiento de su determinación:

1. Airear el agua destilada (Para nuestro caso se airea 4litros), para lo cual se utilizara la bomba de inyección de aire, hasta que se obtengan un OD de 8 mg/L como mínimo.
2. Luego de haber aireado el agua destilada agregar 1 ml de cada reactivo (sulfato de Magnesio, Cloruro de Calcio, Cloruro de Hierro y cloruro de sodio), por cada litro de agua destilada saturada (se realizo con dos frascos de 2000ml por lo que a cada frasco se le agrego 2ml de cada reactivo).
3. Llenar con agua de dilución los frascos de boca esmerilada hasta la mitad del frasco, posteriormente sembrar la muestra utilizando una

pipeta graduada (para nuestro caso se utilizaron diluciones de 5%, 10%, 20% en volumen de muestra) y finalmente llenarlo los frascos.

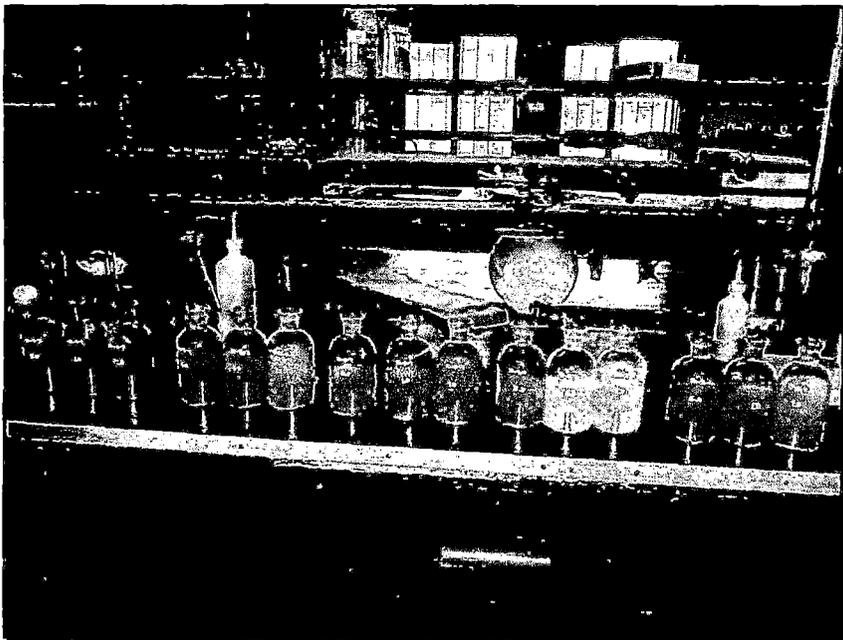
4. Colocar las tapas y agitar, dejar en incubación por 5 días en una Incubadora a una temperatura $20 \pm 1^\circ \text{C}$.
5. Cuando se haya completado el período de incubación, determinar el OD en cada botella tal como se describe en el procedimiento de OD o en todo caso con un oxímetro.
6. Una vez obtenido las lecturas del OD de cada frasco tanto para la muestra como el blanco se procede a determinar la DBO5. mediante método de normas Standard.



Fotografía N° 54: Llenando los frascos con muestras



Fotografía N° 55: Incubando las muestras por 5 días



Fotografía N° 56: Determinación de la DBO luego de incubarlo por 5 días

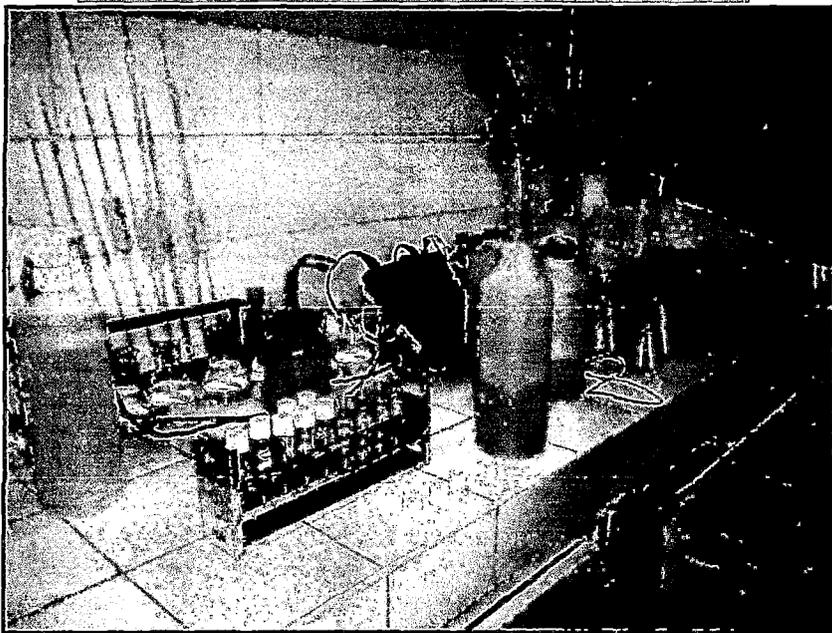
7.2.9 Demanda química de oxígeno (DQO)

Procedimiento de su determinación:

1. Agitar la muestra
2. Con una pipeta graduada de 10mL, extraer la muestra y verter en viales 2ml de muestra, tapar y agitarlo.
3. llevarlo a la incubadora por espacio de 2 horas.



Fotografía N° 57: Viales para determinar la DQO



Fotografía N° 58: Inoculación de la muestra en los viales para determinar la DQO



Fotografía N° 59: Reactor para pruebas de DQO

7.2.10 Producción de Biogás:

El procedimiento usado para la determinación de biogás en el Tanque Mariotte es incorrecto en ésta tesis, y fue desarrollado de manera referencial.

Para determinar la producción de Biogás, tener en mano un cronometro y una probeta.

1. De nuestro sistema de recolección de gas, en la parte inferior del Tanque Mariotte dejamos abierto la válvula por un tiempo establecido con la condición que para dicho tiempo se obtenga un volumen de agua desplazado producto de la presión que ejercerá el gas.

El procedimiento correcto se realiza de la forma siguiente: Dejar abierta la válvula hasta que salga la totalidad del agua producto de la presión que ejercerá el biogas, entonces se controla el tiempo transcurrido y se mide el volumen de agua recolectada de esta manera se obtendrá el volumen de producción de biogás del Reactor UASB.



Fotografía N° 60: Tanque Mariotte, con el que se estima la producción de biogás.

CAPÍTULO VIII

8. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

8.1 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS

8.1.1 Temperatura

La temperatura está determinada por múltiples factores potencialmente ambientales que la hacen variar continuamente. Generalmente este parámetro no se acondiciona, se presenta en forma natural. La temperatura es un parámetro importante porque influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la adsorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos.

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15 °C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la sedimentación, mientras que por encima de 15 °C la biodegradación se incrementa. La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad.

La temperatura en el agua es un parámetro muy importante dada su influencia sobre las reacciones químicas, velocidades de reacción y actividad bacteriana; influenciando por ejemplo, en la concentración de saturación de Oxígeno.

En el tiempo de muestreo dicho parámetro se midió diariamente desde el 08 de Marzo del 2010 hasta el 25 de Junio del 2010, en las estaciones de verano, otoño e invierno.

Tabla 8.1 Valores de Temperatura - TRH 24 h.

Valores de Temperatura – TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (°C)	Unidad de Sedimentación (°C)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (°C)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (°C)
08/03/2010	25.20	25.50	24.60	26.70
09/03/2010	26.50	26.33	26.30	27.40
10/03/2010	26.80	26.25	26.58	26.35
11/03/2010	26.90	26.58	26.34	26.45
12/03/2010	26.90	27.13	27.40	28.10
15/03/2010	25.00	25.43	25.47	25.57
16/03/2010	24.80	24.73	24.73	24.37
17/03/2010	27.20	27.95	28.00	27.95
18/03/2010	27.50	27.83	28.23	28.03
19/03/2010	27.40	27.50	27.73	27.53
22/03/2010	28.50	28.33	28.23	28.30
23/03/2010	26.00	26.23	26.17	27.03
24/03/2010	27.00	27.50	26.90	27.50
25/03/2010	27.50	27.70	27.27	26.87
26/03/2010	28.50	28.13	27.43	27.33
29/03/2010	29.50	29.40	28.50	26.50
30/03/2010	27.85	27.85	27.60	27.20
31/03/2010	26.35	26.83	26.50	26.33
01/04/2010	26.33	26.85	26.87	26.87
02/04/2010	26.48	26.98	25.98	25.45
05/04/2010	26.55	26.20	25.60	25.50
06/04/2010	26.00	26.10	26.73	26.70
07/04/2010	25.50	25.73	26.77	26.73
08/04/2010	25.50	25.45	24.95	24.60
09/04/2010	26.50	26.37	26.50	27.13
12/04/2010	25.86	25.93	25.87	25.83
13/04/2010	28.32	28.55	28.25	27.80
14/04/2010	27.25	27.23	27.17	27.07
15/04/2010	26.45	26.13	26.37	26.50
16/04/2010	26.52	26.73	26.63	26.33
19/04/2010	23.25	23.13	23.23	23.17
20/04/2010	21.50	21.40	21.40	21.30
21/04/2010	22.52	22.23	24.10	23.90
22/04/2010	24.58	24.10	23.97	23.80
23/04/2010	24.45	24.47	24.93	24.70

Tabla 8.2 Valores de Temperatura - TRH 14 h.

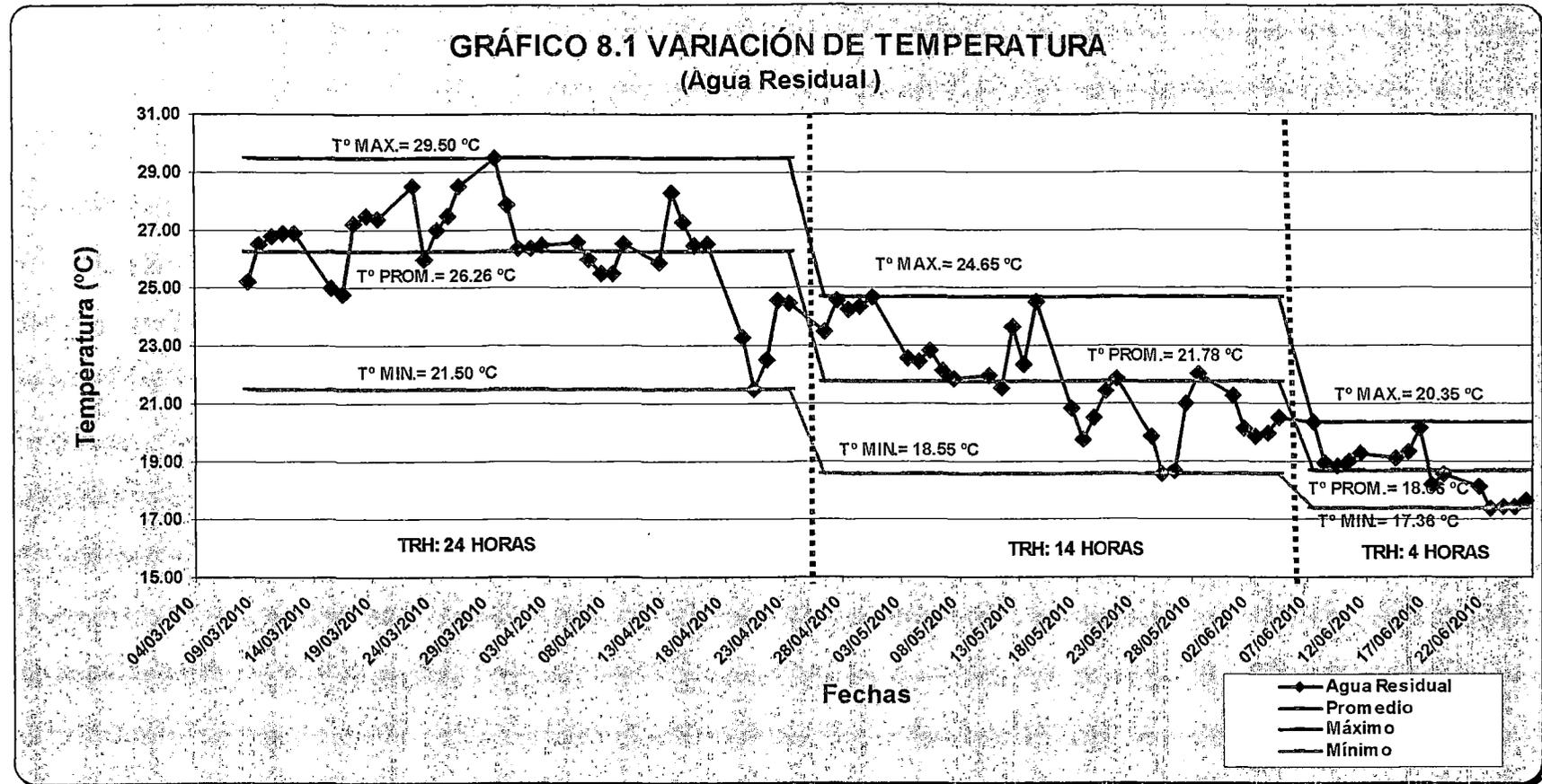
Valores de Temperatura – TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (°C)	Unidad de Sedimentación (°C)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (°C)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (°C)
26/04/2010	23.50	23.57	23.80	24.40
27/04/2010	24.56	24.83	24.80	24.80
28/04/2010	24.25	23.57	23.40	23.53
29/04/2010	24.33	24.37	24.60	24.63
30/04/2010	24.65	24.45	24.80	24.65
03/05/2010	22.55	22.60	22.30	22.40
04/05/2010	22.48	22.83	22.20	22.70
05/05/2010	22.86	22.87	22.83	22.87
06/05/2010	22.15	22.20	22.03	22.20
07/05/2010	21.89	21.67	21.51	21.73
10/05/2010	21.98	22.37	22.37	22.70
11/05/2010	21.52	21.03	21.30	21.43
12/05/2010	23.65	23.60	22.70	22.50
13/05/2010	22.33	22.23	22.90	23.00
14/05/2010	24.52	24.10	23.50	23.80
17/05/2010	20.85	20.63	20.63	21.03
18/05/2010	19.77	19.77	20.00	20.10
19/05/2010	20.52	20.40	20.20	20.30
20/05/2010	21.45	21.17	21.20	21.23
21/05/2010	21.85	21.73	22.30	22.43
24/05/2010	19.84	19.50	19.43	18.87
25/05/2010	18.55	18.40	18.35	18.15
26/05/2010	18.65	18.40	18.50	18.27
27/05/2010	20.98	20.90	20.80	20.90
28/05/2010	22.01	21.10	20.93	21.50
31/05/2010	21.25	19.83	19.83	19.70
01/06/2010	20.12	19.70	19.27	19.27
02/06/2010	19.85	19.63	19.57	19.50
03/06/2010	19.98	19.83	19.87	19.70
04/06/2010	20.52	20.03	20.20	20.30

Tabla 8. 3 Valores de Temperatura - TRH 4 h.

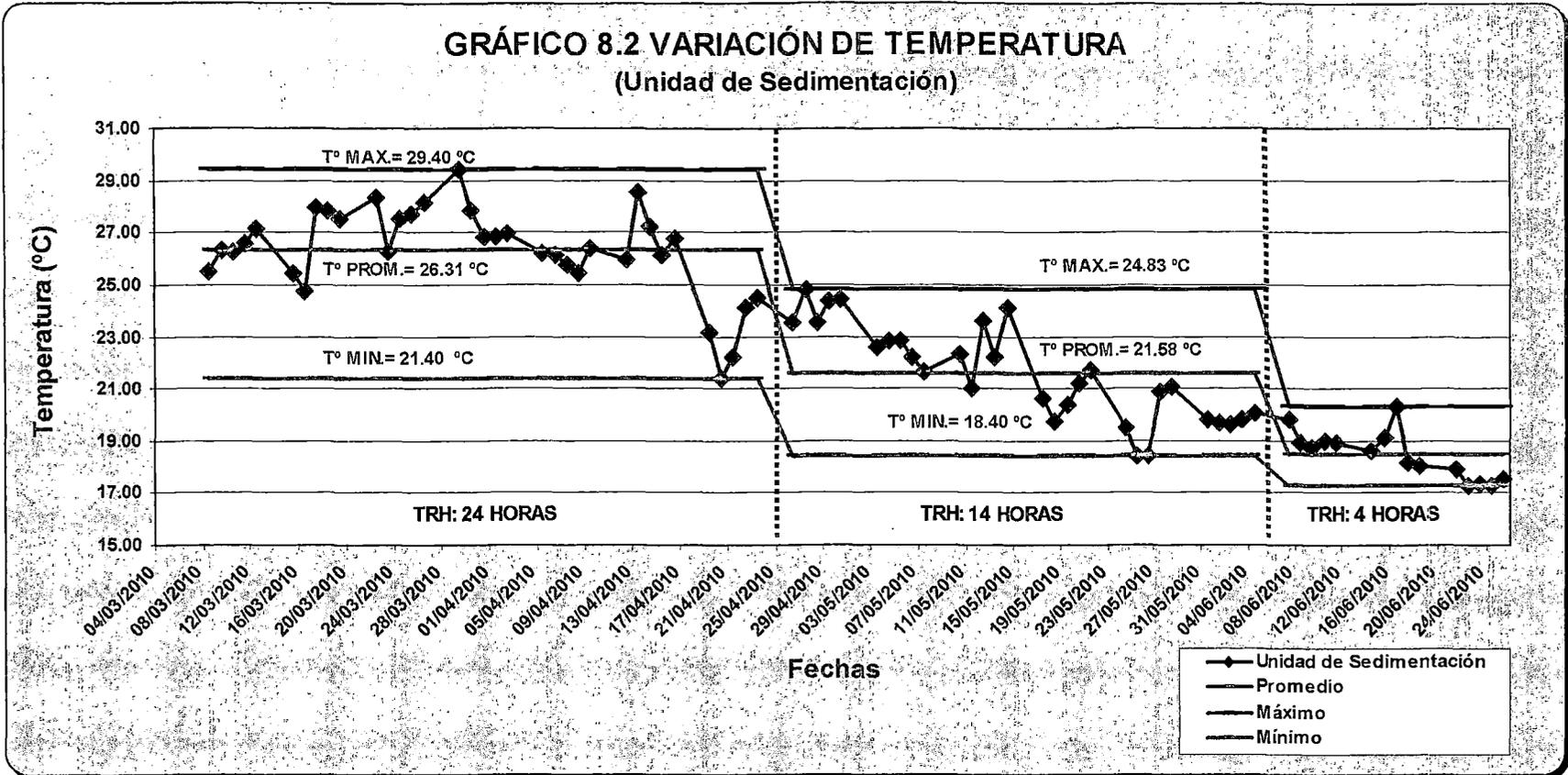
Valores de Temperatura – TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (°C)	Unidad de Sedimentación (°C)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (°C)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (°C)
07/06/2010	20.35	19.80	18.50	19.50
08/06/2010	18.95	18.90	19.10	20.10
09/06/2010	18.85	18.70	18.83	18.97
10/06/2010	19.01	18.97	18.90	19.10
11/06/2010	19.25	18.90	18.83	18.73
14/06/2010	19.11	18.60	18.13	18.20
15/06/2010	19.35	19.10	19.17	19.13
16/06/2010	20.15	20.30	20.00	19.83
17/06/2010	18.21	18.13	18.17	18.30
18/06/2010	18.55	18.03	18.07	18.07
21/06/2010	18.15	17.93	17.27	17.30
22/06/2010	17.36	17.27	17.50	17.37
23/06/2010	17.45	17.37	17.33	17.43
24/06/2010	17.45	17.30	17.10	17.20
25/06/2010	17.65	17.50	17.60	17.90

Tabla 8.4 Valores promedio de Temperatura

Valores promedio de Temperatura - TRH 24 h.			
Descripción	Temperatura (° C)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	29.50	21.50	26.26
U. Sedimentación	29.40	21.40	26.31
U. Tratamiento Reactor UASB	28.50	21.40	26.27
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	28.30	21.30	26.25
TRH: 14 h.			
Descripción	Temperatura (° C)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	24.65	18.55	21.78
U. Sedimentación	24.83	18.40	21.58
U. Tratamiento Reactor UASB	24.80	18.35	21.54
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	24.80	18.15	21.62
TRH: 4 h.			
Descripción	Temperatura (° C)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	20.35	17.36	18.66
U. Sedimentación	20.30	17.27	18.45
U. Tratamiento Reactor UASB	20.00	17.10	18.30
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	20.10	17.20	18.48

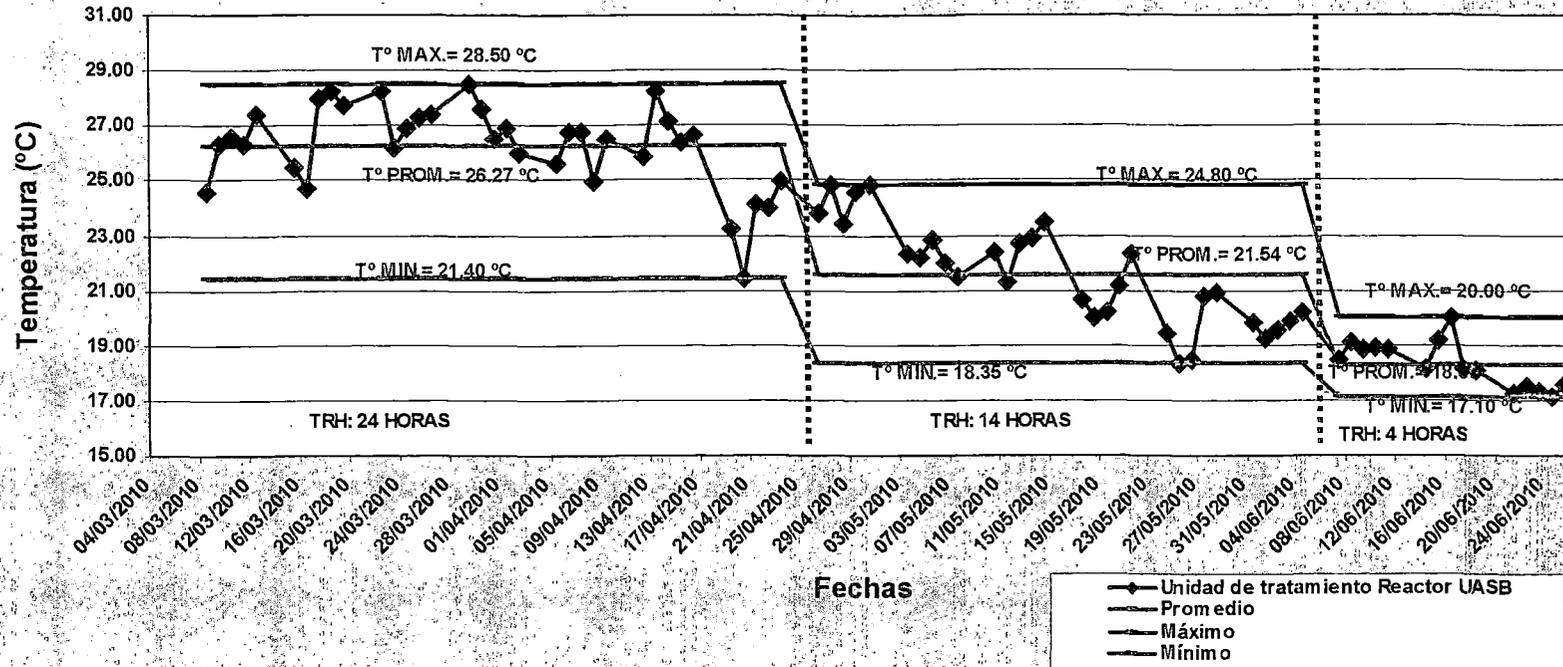


En nuestra investigación se consideraron tres tiempos de retención hidráulica las cuales son 24 h, 14 h y 4 h. Del gráfico 8.1 para un TRH teórico de 24 h. los valores de agua residual son 29.50°C de temperatura máxima, 21.50°C mínima y 26.26°C de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 24.65°C de temperatura máxima, 18.55°C mínima y 21.78°C de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 20.35°C de temperatura máxima, 17.36°C mínima y 18.66°C de promedio.

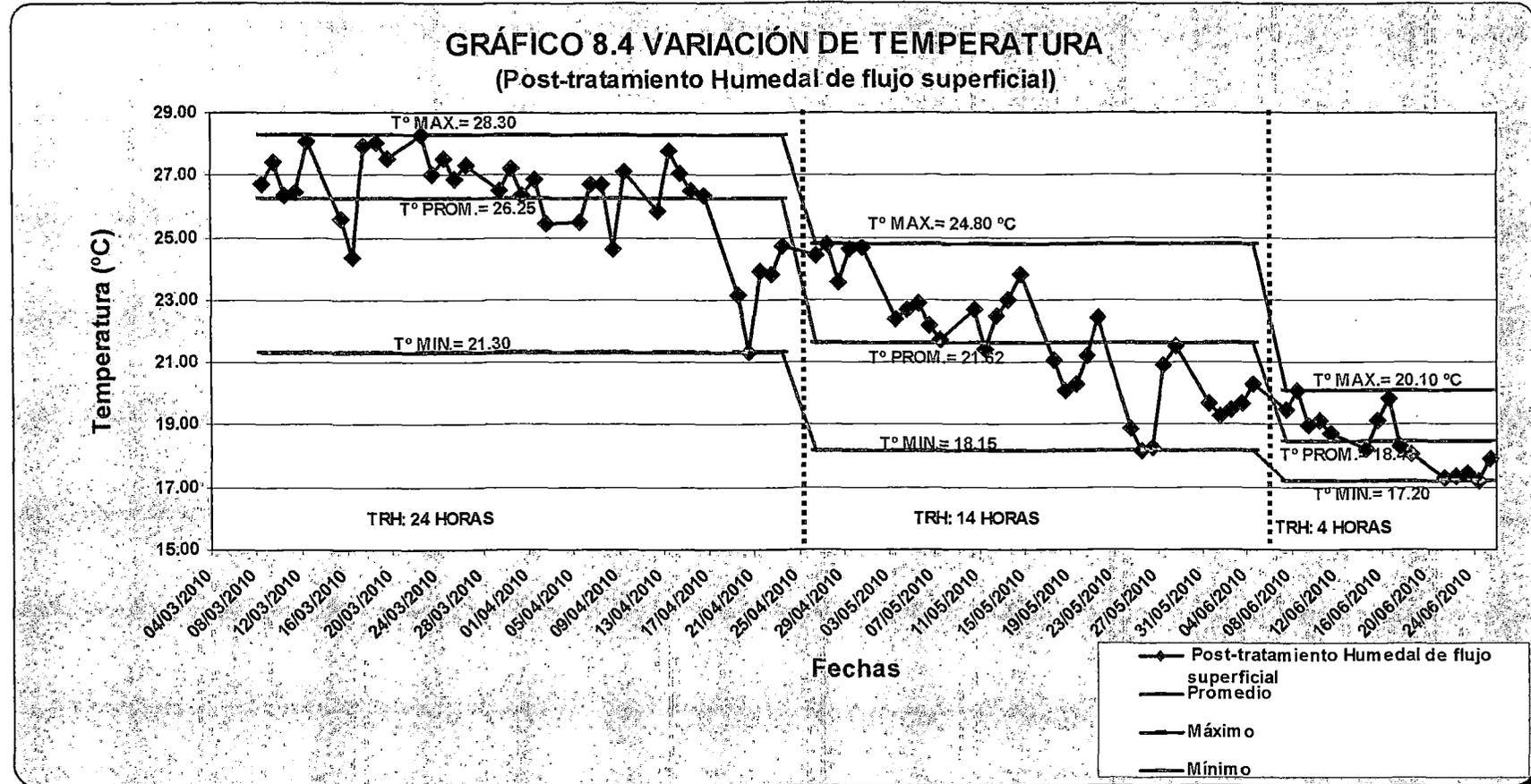


Del gráfico 8.2 para un TRH teórico de 24 h. en la unidad de sedimentación presento 29.40°C de temperatura máxima, 21.40°C mínima y 26.31°C de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 24.83°C de temperatura máxima, 18.40°C mínima y 21.58°C de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores 20.30°C de temperatura máxima, 17.27°C mínima y 18.45°C de promedio.

GRÁFICO 8.3 VARIACIÓN DE TEMPERATURA
(Unidad de tratamiento Reactor UASB)



Del gráfico 8.3 para un TRH teórico de 24 h. los valores en el Reactor UASB fueron 28.50°C de temperatura máxima, 21.40°C mínima y 26.27°C de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 24.80°C de temperatura máxima, 18.35°C mínima y 21.54°C de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 20°C de temperatura máxima, 17.10°C mínima y 18.30°C de promedio.



Del gráfico 8.4 para un TRH teórico de 24 h. los valores en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial fueron 28.30°C de temperatura máxima, 21.30°C mínima y 26.25°C de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores 24.80°C de temperatura máxima, 18.15°C mínima y 21.62°C de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores 20.10°C de temperatura máxima, 17.20°C mínima y 18.48°C de promedio.

8.1.2 PH

El pH es un término universalmente usado para expresar la intensidad de la concentración de la condición acida o alcalina de una solución. Mas exacto, es la manera de expresar la concentración de iones hidrogeno, es un parámetro de gran importancia, el intervalo de concentración adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte del crecimiento de microorganismos es bastante estrecho, generalmente es de 6.5 a 8.5, por lo que se requiere que el pH sea controlado dentro de los limites pequeños en procedimientos químicos. Aguas con pH menor de 6, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias; a pH alto la forma predominante del nitrógeno es la forma gaseosa no iónica (NH₃) la cual es tóxica.

Las mediciones de pH se realizaron empleando un pH-metro HANNA diariamente se midió en las unidades de tratamiento del 08 de Marzo del 2010 al 25 de Junio del 2010.

Tabla 8.5 Valores de pH - TRH 24 h.

Valores de pH - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica	Unidad de Sedimentación	Unidad de tratamiento Reactor UASB	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial
08/03/10	7.32	7.25	7.12	7.05
09/03/10	7.43	7.43	7.42	7.40
10/03/10	7.55	7.52	7.38	7.42
11/03/10	7.65	7.53	7.34	7.26
12/03/10	7.01	6.92	6.91	7.19
15/03/10	7.15	7.09	7.28	7.31
16/03/10	7.12	7.13	7.53	7.27
17/03/10	7.18	7.17	7.36	7.49
18/03/10	6.89	6.99	7.32	7.39
19/03/10	6.97	6.95	7.21	7.24
22/03/10	7.12	7.03	7.15	7.08
23/03/10	7.55	7.43	7.21	7.42
24/03/10	7.25	7.18	7.39	7.50
25/03/10	7.35	7.05	7.31	7.50
26/03/10	7.28	7.19	7.36	7.34
29/03/10	7.54	7.36	7.55	7.45
30/03/10	7.23	7.23	7.46	7.57
31/03/10	7.42	7.40	7.52	7.54
01/04/10	7.49	7.55	7.23	7.65
02/04/10	7.38	7.34	7.45	7.75
05/04/10	7.32	7.24	7.36	7.85
06/04/10	7.55	7.54	7.68	7.90
07/04/10	7.56	7.54	7.91	7.67
08/04/10	7.58	7.52	7.53	7.61
09/04/10	7.89	7.81	7.80	7.98
12/04/10	7.85	7.74	7.86	7.91
13/04/10	7.46	7.49	7.72	7.46
14/04/10	7.41	7.42	7.53	7.51
15/04/10	7.64	7.65	8.06	7.91
16/04/10	7.62	7.64	7.54	7.50
19/04/10	7.85	7.63	7.81	7.61
20/04/10	7.76	7.76	7.81	7.59
21/04/10	7.85	7.80	7.80	7.62
22/04/10	7.84	7.80	7.80	7.54
23/04/10	7.87	7.81	7.76	7.35

Tabla 8.6 Valores de pH - TRH 14 h.

Valores de pH - TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica	Unidad de Sedimentación	Unidad de tratamiento Reactor UASB	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial
26/04/10	7.45	7.31	7.29	7.29
27/04/10	7.58	7.49	7.49	7.50
28/04/10	7.85	7.77	7.66	7.64
29/04/10	7.35	7.38	7.57	7.59
30/04/10	7.35	7.36	7.51	7.63
03/05/10	7.46	7.48	7.65	7.61
04/05/10	7.78	7.68	7.75	7.59
05/05/10	7.65	7.67	7.73	7.67
06/05/10	7.38	7.34	7.57	7.71
07/05/10	7.33	7.33	7.60	7.69
10/05/10	7.42	7.48	7.56	7.39
11/05/10	7.58	7.51	7.54	7.50
12/05/10	7.52	7.53	7.62	7.42
13/05/10	7.53	7.55	7.52	7.48
14/05/10	7.12	7.12	7.25	7.38
17/05/10	7.53	7.54	7.75	7.58
18/05/10	7.37	7.61	7.92	7.75
19/05/10	7.45	7.37	7.68	7.47
20/05/10	7.48	7.48	7.64	7.80
21/05/10	7.55	7.51	7.63	7.84
24/05/10	7.78	7.66	7.63	7.59
25/05/10	7.46	7.32	7.68	7.62
26/05/10	7.75	7.66	7.58	7.64
27/05/10	7.65	7.54	7.61	7.60
28/05/10	7.58	7.56	7.57	7.60
31/05/10	7.38	7.55	7.62	7.44
01/06/10	7.23	7.51	7.38	7.55
02/06/10	7.52	7.36	7.53	7.61
03/06/10	7.56	7.36	7.57	7.67
04/06/10	7.23	7.36	7.45	7.67

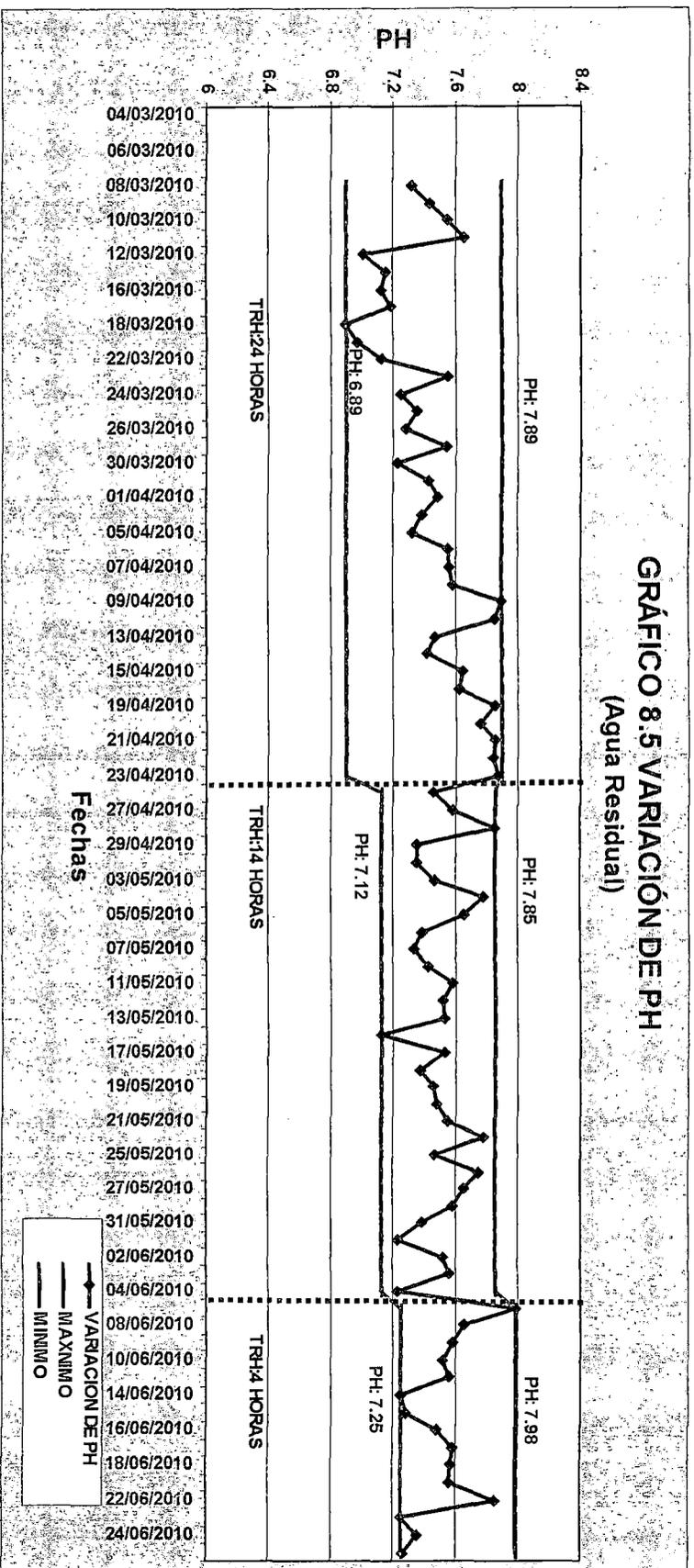
Tabla 8.7 Valores de pH - TRH 4 h.

Valores de pH - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica	Unidad de Sedimentación	Unidad de tratamiento Reactor UASB	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial
07/06/10	7.98	7.85	7.62	7.65
08/06/10	7.65	7.68	7.45	7.70
09/06/10	7.58	7.67	7.61	7.72
10/06/10	7.52	7.68	7.57	7.72
11/06/10	7.56	7.65	7.58	7.72
14/06/10	7.25	7.23	7.28	7.24
15/06/10	7.28	7.23	7.35	7.46
16/06/10	7.48	7.47	7.62	7.52
17/06/10	7.58	7.47	7.63	7.52
18/06/10	7.57	7.45	7.61	7.52
21/06/10	7.56	7.47	7.62	7.52
22/06/10	7.85	7.43	7.63	7.52
23/06/10	7.25	7.37	7.39	7.24
24/06/10	7.35	7.16	7.37	7.23
25/06/10	7.26	7.26	7.85	7.41

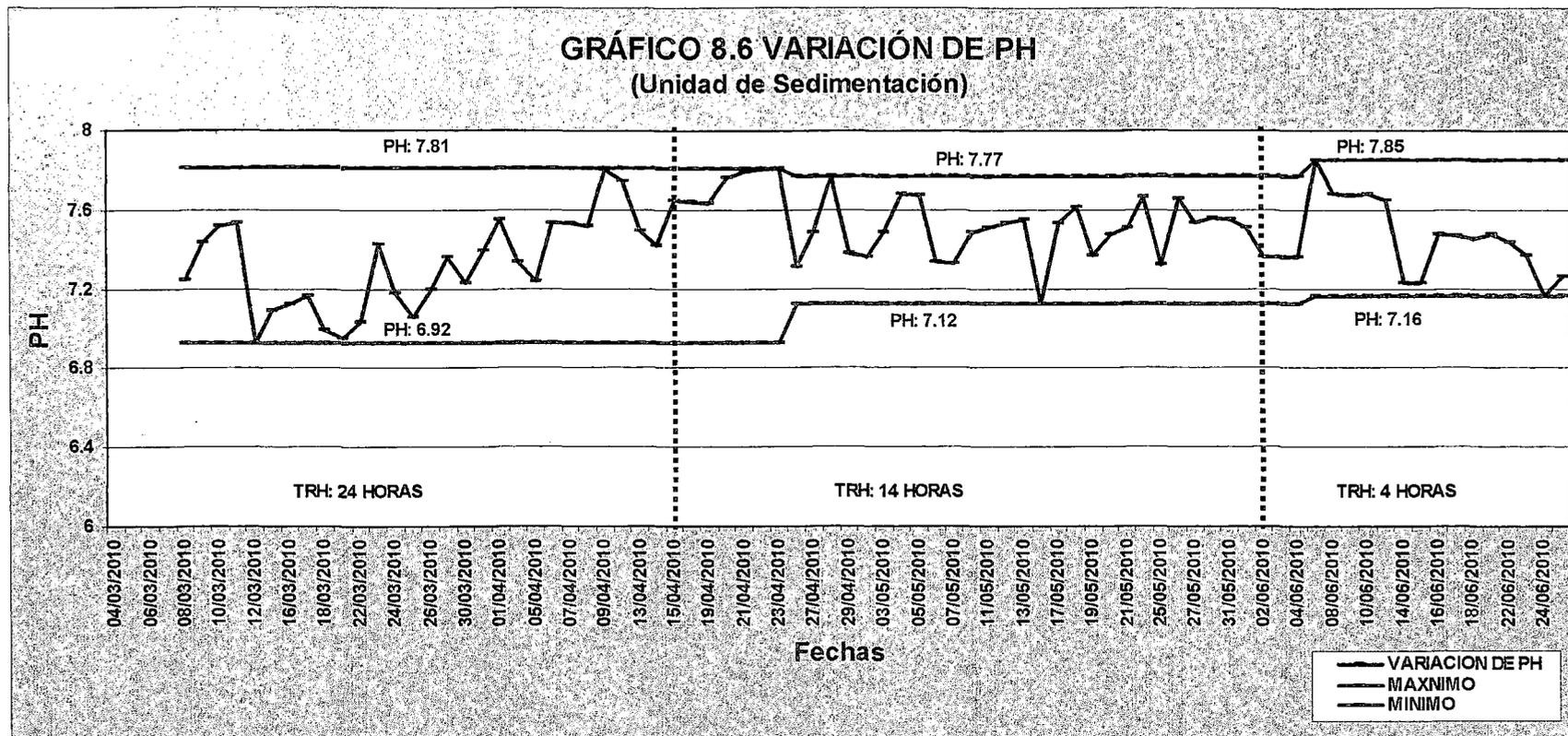
Tabla 8.8 Valores promedio de pH

Valores promedio de pH - TRH 24 h.			
Descripción	pH		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	7.89	6.89	7.46
U. Sedimentación	7.81	6.92	7.40
U. Tratamiento Reactor UASB	8.06	6.91	7.50
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	7.98	7.05	7.51
TRH: 14 h.			
Descripción	pH		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	7.85	7.12	7.50
U. Sedimentación	7.77	7.12	7.48
U. Tratamiento Reactor UASB	7.92	7.25	7.58
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	7.84	7.29	7.58
TRH: 4 h.			
Descripción	pH		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	7.98	7.25	7.51
U. Sedimentación	7.85	7.16	7.47
U. Tratamiento Reactor UASB	7.85	7.28	7.55
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	7.72	7.23	7.51

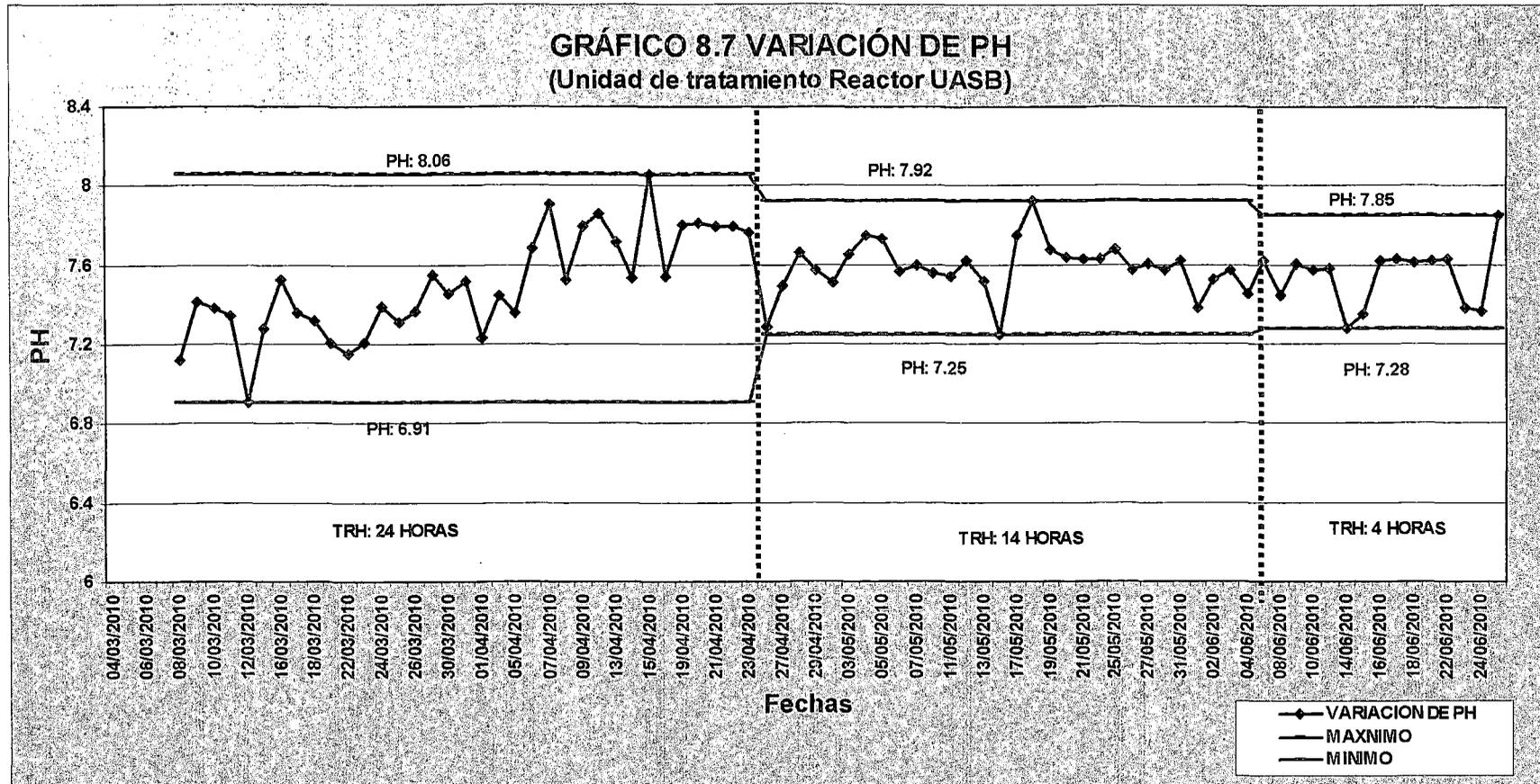
GRÁFICO 8.5 VARIACIÓN DE PH
(Agua Residual)



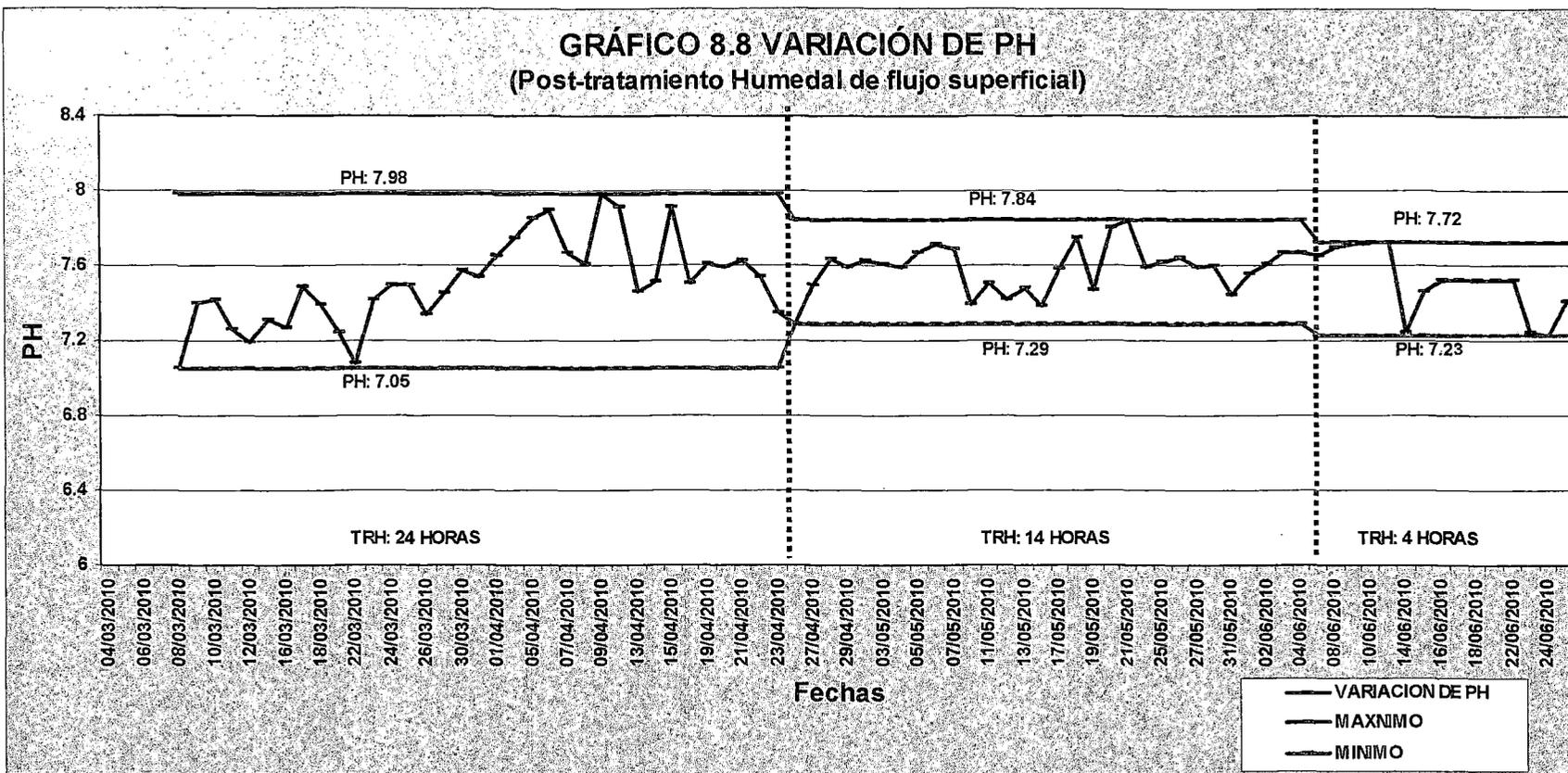
Del gráfico 8.5 para un TRH teórico de 24 h. los valores del agua residual fueron 7.80 de pH máxima, 6.89 mínima y 7.46 de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores 7.85 de pH máxima, 7.12 mínima y 7.50 de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 7.98 de pH máxima, 7.25 mínima y 7.50 de promedio.



Del gráfico 8.6 para un TRH teórico de 24 h. los valores en la unidad de sedimentación fueron 7.81 de pH máxima, 6.92 mínima y 7.40 de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 7.77 de pH máxima, 7.12 mínima y 7.48 de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores 7.85 de pH máxima, 7.16 mínima y 7.47 de promedio.



Del gráfico 8.7 para un TRH teórico de 24 h. los valores en la Unidad de tratamiento Reactor UASB fueron 8.06 de pH máxima, 6.91 mínima y 7.50 de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 7.92 de pH máxima, 7.25 mínima y 7.58 de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 7.85 de pH máxima, 7.28 mínima y 7.55 de promedio.



Del gráfico 8.8 para un TRH teórico de 24 h, los valores en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial fueron 7.98 de pH máxima, 7.05 mínima y 7.51 de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 7.84 de pH máxima, 7.29 mínima y 7.58 de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 7.72 de pH máxima, 7.23 mínima y 7.51 de promedio.

8.1.3 Turbiedad

Es la principal característica física. Se denomina así al fenómeno que se produce al incidir sobre las partículas o coloides un haz de luz, éste es dispersado en cantidades directamente proporcionales a la presencia de los coloides, dependiendo del tamaño y cantidad de los mismos.

La turbiedad del agua se debe esencialmente a materias en suspensión, tales como arcilla y otras sustancias inorgánicas finamente divididas, o materias similares y organismos microscópicos.

Un elevado grado de turbiedad puede proteger a los microorganismos patógenos de los efectos de la desinfección y estimular su desarrollo.

Este parámetro fue registrado diariamente empleando el espectrofotómetro Hatch.

Tabla 8.9 Valores de Turbiedad - TRH 24 h.

Valores de Turbiedad - TRH 24h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (UNT)	Unidad de Sedimentación (UNT)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (UNT)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (UNT)
08/03/10	155	122.00	101.00	83.00
09/03/10	145	120.33	41.33	47.67
10/03/10				
11/03/10				
12/03/10	178	160.00	93.33	43.33
15/03/10	138.2	127.33	94.67	55.33
16/03/10	95.3	81.00	5.33	2.67
17/03/10	98.3	89.00	4.00	4.50
18/03/10	77.2	76.33	5.00	2.00
19/03/10	260	256.33	27.00	11.67
22/03/10	85.5	53.33	1.67	2.00
23/03/10	145.6	131.00	4.67	11.00
24/03/10	155.2	167.33	47.00	4.00
25/03/10	101.50	95.67	55.33	21.67
26/03/10	84.60	83.33	39.00	18.33
29/03/10	140.20	135.00	39.00	25.00
30/03/10	75.60	66.00	26.00	10.50
31/03/10	65.36	61.33	29.67	16.67
01/04/10				
02/04/10				
05/04/10	110.00	105.00	62.00	18.00
06/04/10	95.23	87.33	50.67	22.00
07/04/10	92.35	90.67	47.00	23.00
08/04/10	65.23	55.00	35.00	20.00
09/04/10	64.45	64.33	37.00	27.33
12/04/10	59.80	61.00	39.00	18.00
13/04/10	80.25	79.00	42.00	14.50
14/04/10	64.30	63.67	41.00	20.00
15/04/10	75.80	66.33	30.33	15.67
16/04/10	80.25	76.00	29.00	12.67
19/04/10	160.80	156.00	39.33	13.00
20/04/10	85.60	73.00	46.00	17.00
21/04/10	78.50	77.00	47.00	18.33
22/04/10	63.50	62.00	53.33	13.33
23/04/10	62.56	61.67	56.00	23.33

Tabla 8.10 Valores de Turbiedad - TRH 14 h.

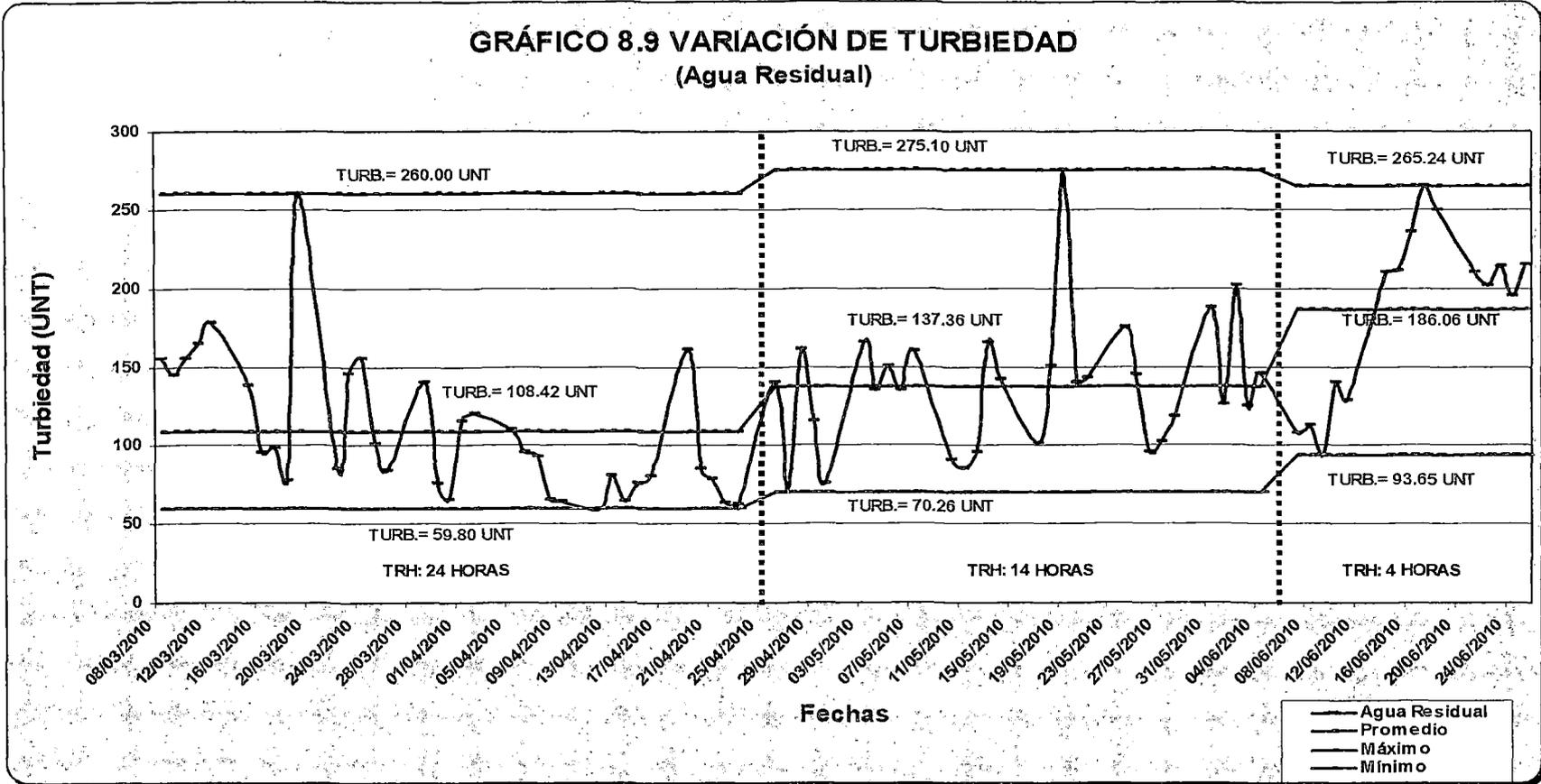
Valores de Turbiedad – TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (UNT)	Unidad de Sedimentación (UNT)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (UNT)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (UNT)
26/04/10	140.25	135.33	47.67	38.67
27/04/10	70.26	68.00	41.33	31.67
28/04/10	160.85	157.33	72.33	22.33
29/04/10	115.80	106.33	42.67	27.33
30/04/10	75.65	68.00	45.50	46.00
03/05/10	165.87	151.67	49.33	23.00
04/05/10	135.60	134.33	36.33	21.00
05/05/10	150.87	143.00	54.33	34.67
06/05/10	135.26	129.33	75.67	37.67
07/05/10	160.27	157.33	68.33	26.00
10/05/10	90.58	85.33	44.00	30.00
11/05/10	85.42	77.33	48.33	33.33
12/05/10	95.40	81.00	46.00	27.00
13/05/10	165.42	143.00	58.00	39.33
14/05/10	142.12	125.00	72.00	41.00
17/05/10	101.24	88.00	59.00	46.33
18/05/10	150.23	146.33	42.00	17.33
19/05/10	275.10	267.00	53.00	18.00
20/05/10	140.20	135.00	136.67	33.33
21/05/10	142.56	112.00	71.00	32.67
24/05/10	175.52	158.00	43.67	17.33
25/05/10	145.26	133.50	55.00	28.00
26/05/10	95.23	91.00	45.33	18.67
27/05/10	102.52	96.50	55.00	32.00
28/05/10	118.54	112.33	71.33	27.33
31/05/10	187.52	169.33	59.33	16.67
01/06/10	125.42	101.33	60.00	19.67
02/06/10	201.26	194.67	61.67	19.00
03/06/10	125.25	117.33	63.67	19.00
04/06/10	145.28	99.67	58.33	20.67

Tabla 8.11 Valores de Turbiedad - TRH 4 h.

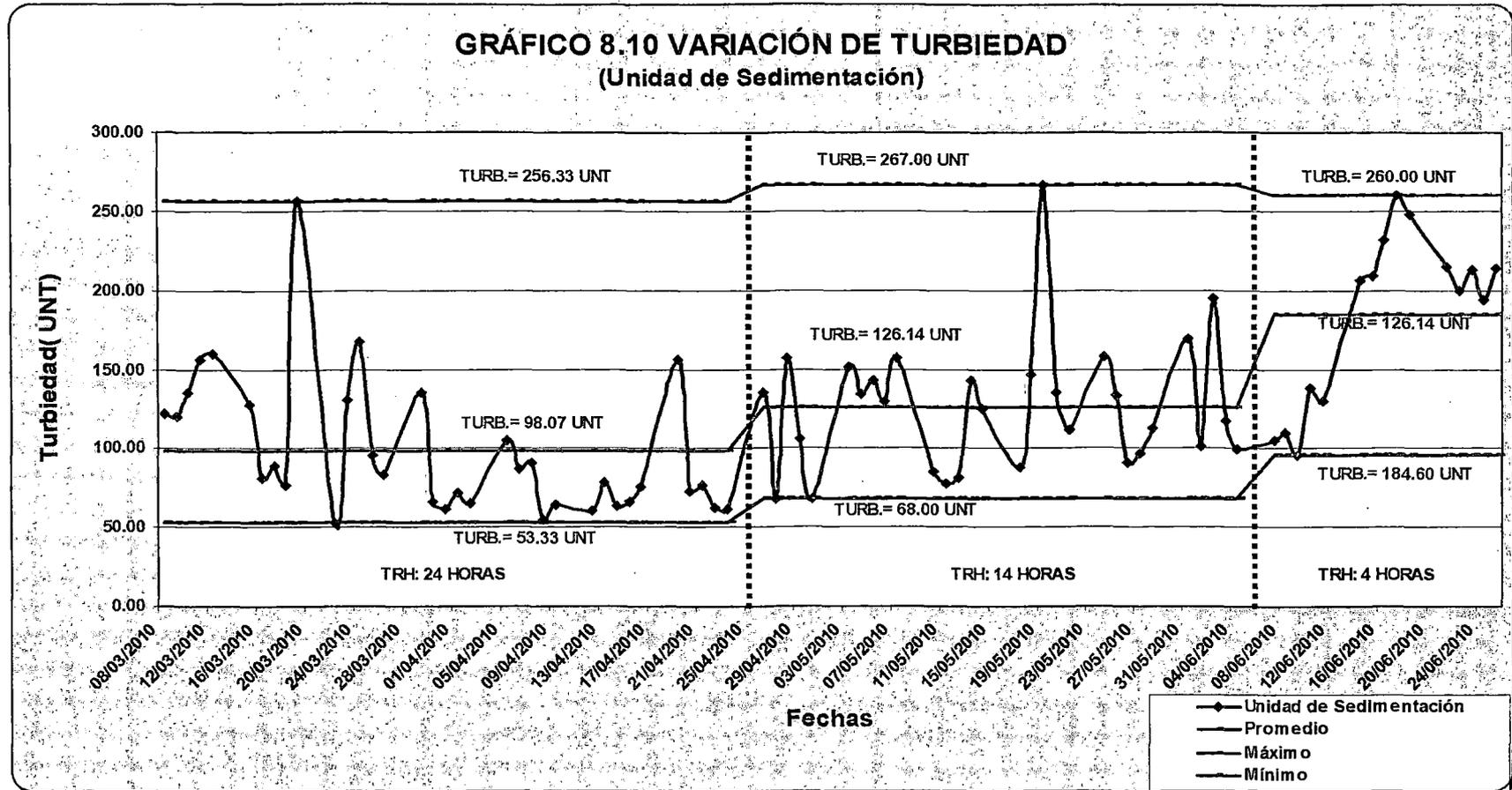
Valores de Turbiedad - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (UNT)	Unidad de Sedimentación (UNT)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (UNT)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (UNT)
07/06/10	108.25	105.00	78.00	52.00
08/06/10	112.30	110.00	89.00	53.00
09/06/10	93.65	95.67	86.00	48.00
10/06/10	140.20	138.00	88.00	51.00
11/06/10	128.50	129.33	88.00	50.67
14/06/10	210.25	206.67	130.00	58.00
15/06/10	211.35	209.00	113.00	64.33
16/06/10	235.20	232.00	112.67	41.67
17/06/10	265.24	260.00	118.33	38.67
18/06/10	250.25	248.00	104.67	47.00
21/06/10	210.50	214.67	118.67	41.67
22/06/10	201.25	199.67	127.33	49.67
23/06/10	213.50	213.00	156.00	93.33
24/06/10	195.25	194.00	148.00	111.00
25/06/10	215.25	214.00	125.00	95.00

Tabla 8.12 Valores promedio de Turbiedad

Valores promedio de Turbiedad - TRH 24 h.			
Descripción	Turbiedad (UNT)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	260.00	59.80	108.42
U. Sedimentación	256.33	53.33	98.07
U. Tratamiento Reactor UASB	101.00	1.67	43.54
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	83.00	2.00	20.94
TRH: 14 h.			
Descripción	Turbiedad (UNT)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	275.10	70.26	137.36
U. Sedimentación	267.00	68.00	126.14
U. Tratamiento Reactor UASB	136.67	36.33	57.89
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	46.33	16.67	28.17
TRH: 4 h.			
Descripción	Turbiedad (UNT)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	265.24	93.65	186.06
U. Sedimentación	260.00	95.67	184.60
U. Tratamiento Reactor UASB	156.00	78.00	112.18
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	111.00	38.67	59.67

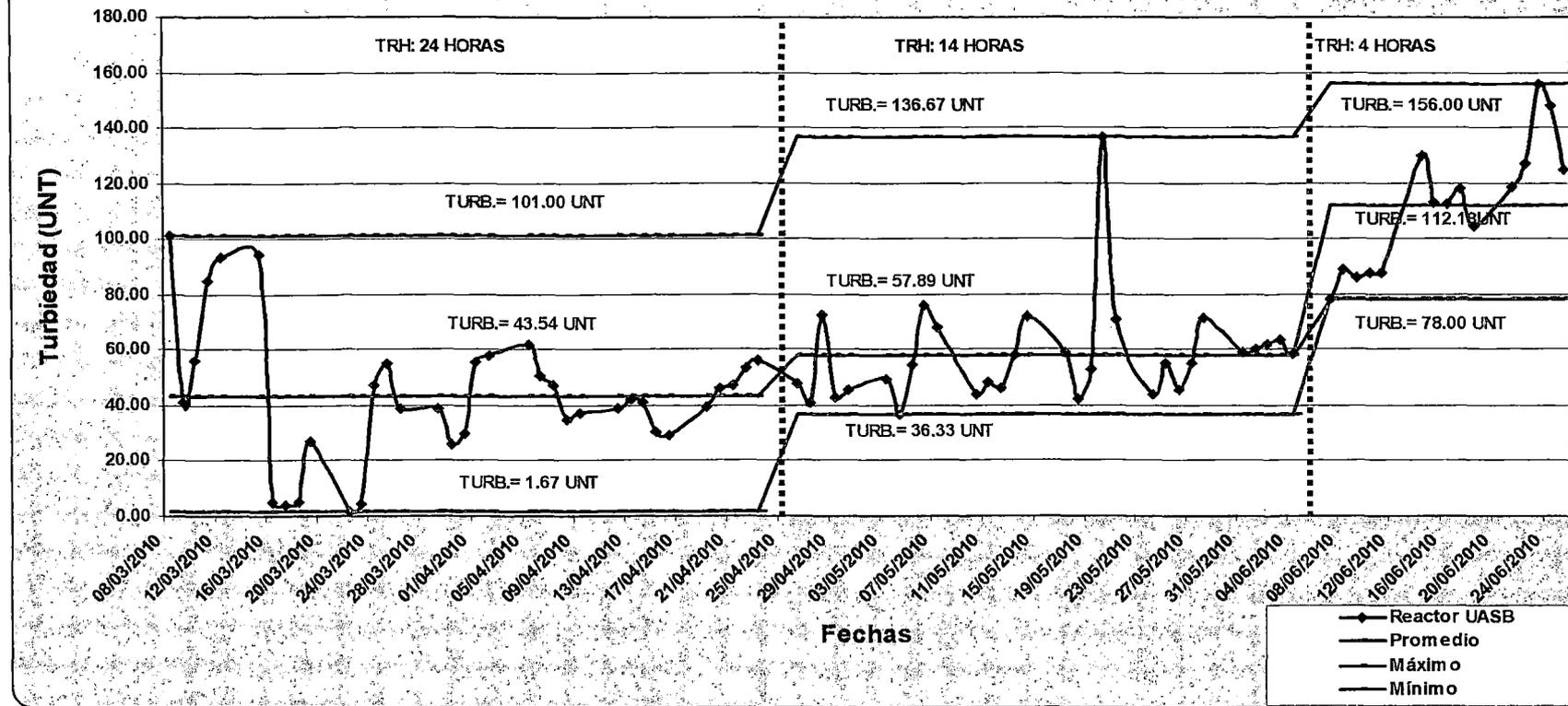


Del gráfico 8.9 para un TRH teórico de 24 h. los valores del agua residual fueron 260 UNT máxima, 59.80 UNT mínima y 108.42 UNT de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 275.10 de UNT máxima, 70.26 de UNT mínima y 137.36 UNT de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 265.24 UNT máxima, 93.65 UNT mínima y 186.06 UNT promedio.

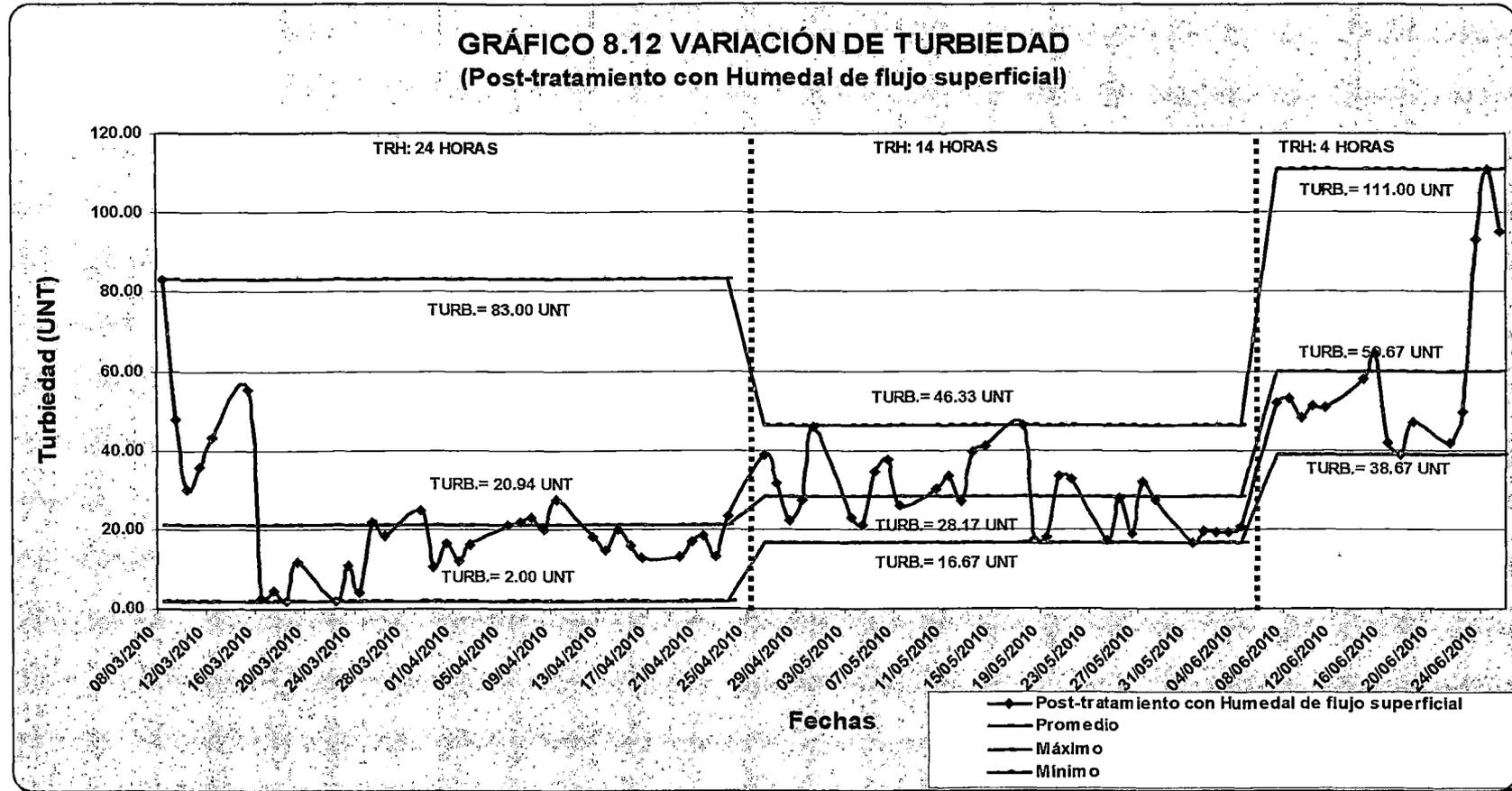


Del gráfico 8.10 para un TRH teórico de 24 h. los valores en la unidad de sedimentación fueron 256.33 UNT máxima, 53.33 UNT mínima y 98.07 UNT de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 267 de UNT máxima, 68 de UNT mínima y 126.14 UNT de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores 260UNT máxima, 95.67 UNT mínima y 184.60 UNT promedio.

GRÁFICO 8.11 VARIACIÓN DE TURBIEDAD
(Unidad de tratamiento Reactor UASB)

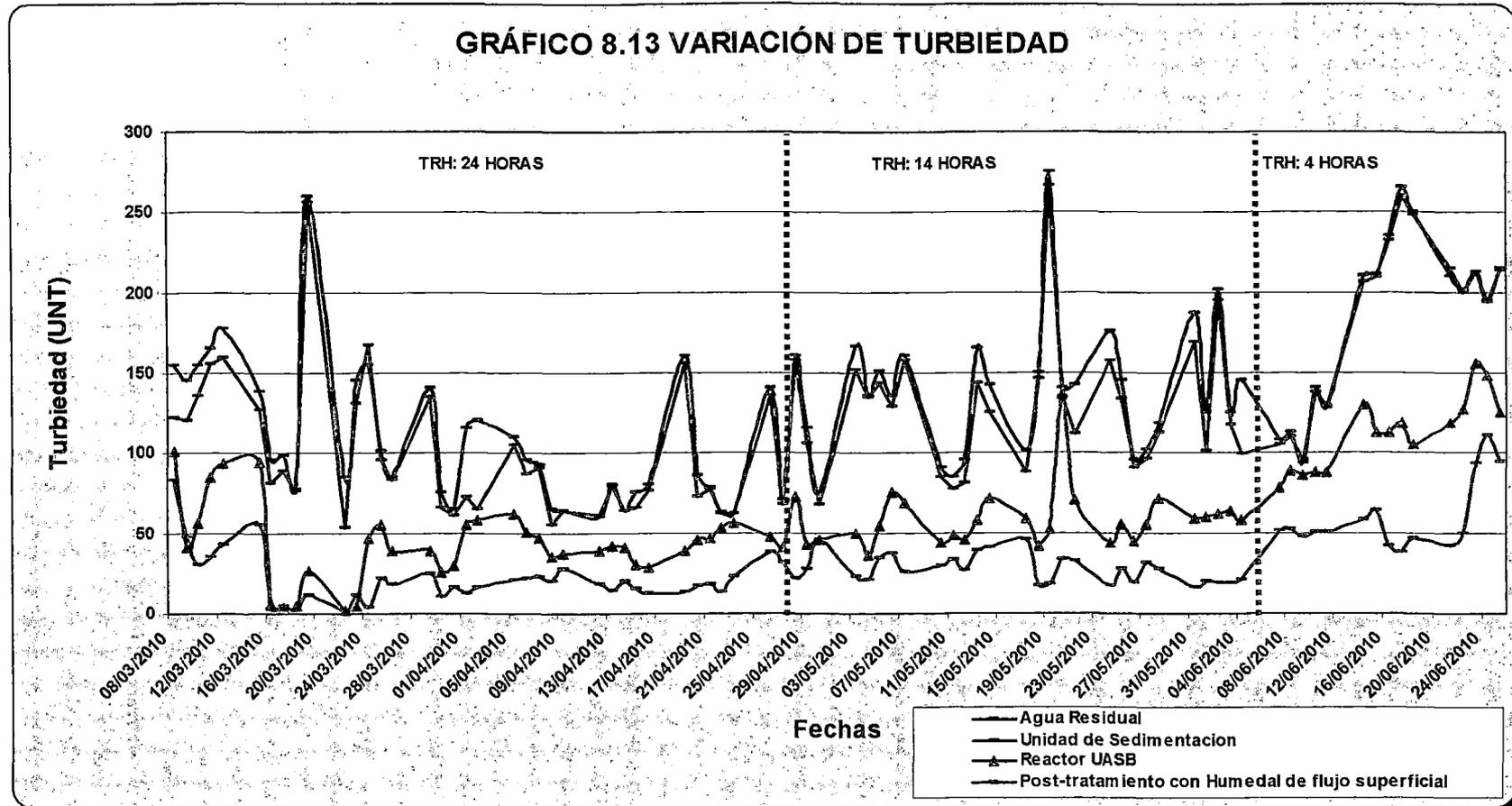


Del gráfico 8.11 para un TRH teórico de 24 h. los valores en la Unidad de tratamiento Reactor UASB fueron 101 UNT máxima, 1.67 UNT mínima y 43.54 UNT de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 136.67 UNT máxima, 36.33 UNT mínima y 57.89 UNT de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 156 UNT máxima, 78 UNT mínima y 112.18 UNT promedio.



D

el gráfico 8.12 para un TRH teórico de 24 h, los valores en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial fueron 83 UNT máxima, 2 UNT mínima y 20.94 UNT de promedio; para un TRH teórico de 14 h. los valores fueron 46.33 UNT máxima, 16.67 de UNT mínima y 28.17 UNT de promedio en tanto para un TRH teórico de 4 h. los valores fueron 111 UNT máxima, 38.67 UNT mínima y 59.67 UNT promedio.



Del gráfico 8.13 para los TRH conforme van pasando por las unidades de tratamiento va disminuyendo la turbiedad, pero con respecto al TRH esta se va incrementando debido a que el TRH aumenta.

Se puede concluir que los TRH son directamente proporcionales a los valores de turbiedad, ya que estas se incrementan para TRH mayor.

8.1.4 CAUDAL

El caudal aforado se determinó volumetricamente antes del ingreso del Reactor UASB, se aforaba tres veces al día a las 10:00 am, 12:30 pm y 4:00 pm desde el 04 de Marzo del 2010 al 25 de Junio del 2010.

Tabla 8.13 Variación del Caudal aforado y TRH - TRH 24 h.

TRH teórico promedio diario (24 h.)				
Fecha	Caudal (mL/s)	Caudal Promedio (mL/s)	TRH (°C)	TRH promedio (mL/s)
04/03/10	0.480	0.584	28.436	23.513
05/03/10	0.582	0.584	22.321	23.513
08/03/10	0.573	0.584	23.072	23.513
09/03/10	0.528	0.584	24.104	23.513
10/03/10	0.637	0.584	22.465	23.513
11/03/10	0.586	0.584	24.620	23.513
12/03/10	0.557	0.584	24.918	23.513
15/03/10	0.586	0.584	23.966	23.513
16/03/10	0.606	0.584	21.443	23.513
17/03/10	0.599	0.584	22.825	23.513
18/03/10	0.602	0.584	21.650	23.513
19/03/10	0.630	0.584	23.230	23.513
22/03/10	0.539	0.584	28.550	23.513
23/03/10	0.615	0.584	24.660	23.513
24/03/10	0.551	0.584	24.474	23.513
25/03/10	0.601	0.584	23.561	23.513
26/03/10	0.597	0.584	24.694	23.513
29/03/10	0.577	0.584	20.885	23.513
30/03/10	0.574	0.584	23.182	23.513
31/03/10	0.545	0.584	22.023	23.513
01/04/10	0.586	0.584	22.011	23.513
02/04/10	0.638	0.584	25.024	23.513
05/04/10	0.625	0.584	22.442	23.513
06/04/10	0.606	0.584	16.535	23.513
07/04/10	0.625	0.584	14.010	23.513
08/04/10	0.512	0.584	13.835	23.513
09/04/10	0.548	0.584	13.907	23.513
12/04/10	0.576	0.584	14.504	23.513
13/04/10	0.605	0.584	13.603	23.513
14/04/10	0.507	0.584	14.898	23.513
15/04/10	0.539	0.584	14.328	23.513
16/04/10	0.651	0.584	14.151	23.513
19/04/10	0.592	0.584	13.493	23.513
20/04/10	0.603	0.584	13.818	23.513
21/04/10	0.565	0.584	14.425	23.513
22/04/10	0.664	0.584	13.502	23.513
23/04/10	0.621	0.584	13.831	23.513

Tabla 8.14 Variación del Caudal aforado y TRH - TRH 14 h.

TRH teórico promedio diario (14 h.)				
Fecha	Caudal (mL/s)	Caudal Promedio (mL/s)	TRH (°C)	TRH promedio (mL/s)
26/04/10	0.983	0.988	13.875	13.830
27/04/10	0.979	0.988	13.935	13.830
28/04/10	0.988	0.988	13.800	13.830
29/04/10	0.957	0.988	14.278	13.830
30/04/10	0.949	0.988	14.384	13.830
03/05/10	1.036	0.988	13.159	13.830
04/05/10	0.922	0.988	14.794	13.830
05/05/10	0.978	0.988	13.952	13.830
06/05/10	0.950	0.988	14.362	13.830
07/05/10	1.012	0.988	13.493	13.830
10/05/10	0.987	0.988	13.818	13.830
11/05/10	0.946	0.988	14.425	13.830
12/05/10	1.000	0.988	13.637	13.830
13/05/10	0.951	0.988	14.345	13.830
14/05/10	1.010	0.988	13.526	13.830
17/05/10	0.987	0.988	13.819	13.830
18/05/10	1.011	0.988	13.505	13.830
19/05/10	1.037	0.988	13.176	13.830
20/05/10	1.037	0.988	13.176	13.830
21/05/10	1.014	0.988	13.464	13.830
24/05/10	0.987	0.988	13.827	13.830
25/05/10	1.040	0.988	13.122	13.830
26/05/10	0.984	0.988	13.896	13.830
27/05/10	0.931	0.988	14.657	13.830
28/05/10	0.999	0.988	13.657	13.830
31/05/10	1.001	0.988	13.682	13.830
01/06/10	0.948	0.988	14.386	13.830
02/06/10	0.947	0.988	14.399	13.830
03/06/10	0.991	0.988	13.779	13.830
04/06/10	1.085	0.988	12.574	13.830

Tabla 8.15 Variación del Caudal aforado y TRH - TRH 4 h.

TRH teórico promedio diario (4 h.)				
Fecha	Caudal (mL/s)	Caudal Promedio (mL/s)	TRH (°C)	TRH promedio (mL/s)
07/06/10	3.486	3.450	3.918	3.976
08/06/10	3.263	3.450	4.454	3.976
09/06/10	3.501	3.450	3.897	3.976
10/06/10	3.611	3.450	3.780	3.976
11/06/10	3.419	3.450	3.988	3.976
14/06/10	3.514	3.450	3.882	3.976
15/06/10	3.583	3.450	3.806	3.976
16/06/10	3.364	3.450	4.058	3.976
17/06/10	3.416	3.450	3.992	3.976
18/06/10	3.353	3.450	4.067	3.976
21/06/10	3.464	3.450	3.938	3.976
22/06/10	3.538	3.450	3.861	3.976
23/06/10	3.535	3.450	3.863	3.976
24/06/10	3.406	3.450	4.008	3.976
25/06/10	3.299	3.450	4.133	3.976

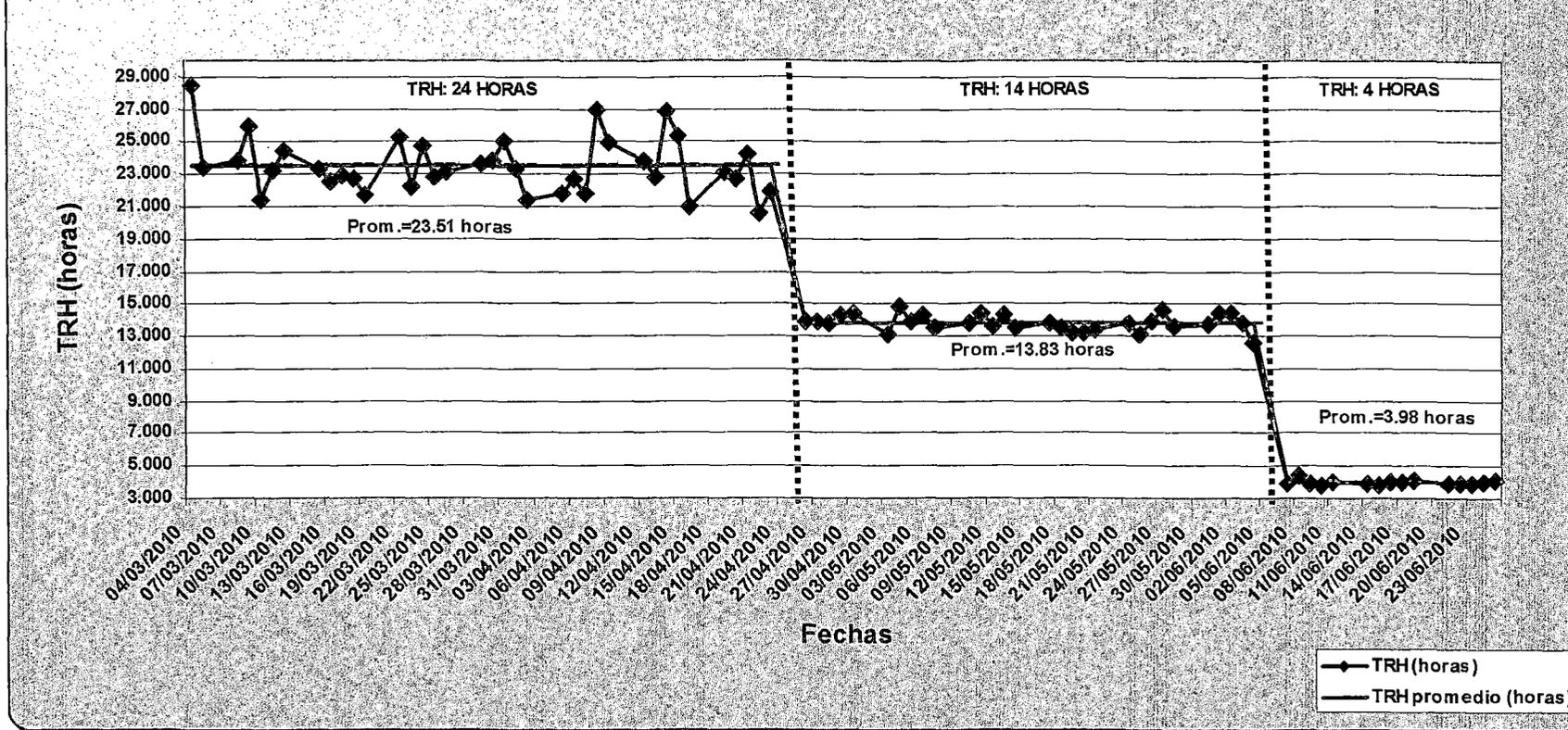
Tabla 8.16 Valores promedio de TRH real

Valores promedio de Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)			
Descripción	TRH (h)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
TRH: 24 h.	28.44	20.55	23.51
TRH: 14 h.	14.79	12.57	13.83
TRH: 4 h.	4.45	3.78	3.98

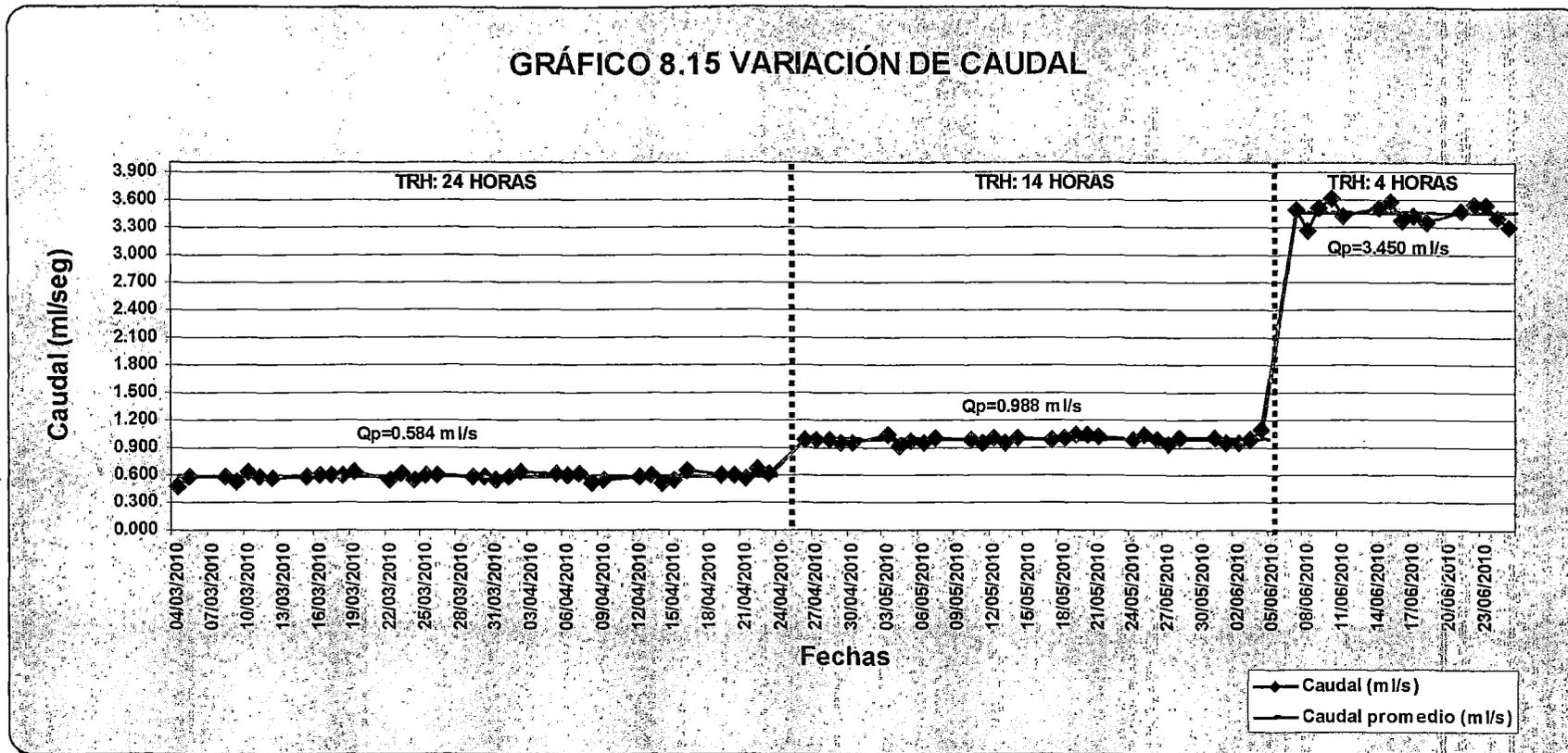
Tabla 8.17 Valores promedio de Caudal Real

Valores promedio de Caudal Real			
Descripción	Caudal (mL/s)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
TRH: 24 h.	0.66	0.48	0.58
TRH: 14 h.	1.08	0.92	0.99
TRH: 4 h.	3.61	3.26	3.45

GRÁFICO 8.14 VARIACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICA (TRH)



Del gráfico 8.14 para un TRH teórico de 24 h el valor del TRH real fue 23.51 h para un TRH teórico de 14 h. el valor del TRH real fue 13.83 h y para un TRH de 4 h para un TRH real fue 3.98 h teniendo una variación del 2%, 1.2% y 0.5% respectivamente por lo que se podría decir que la variación fue casi despreciable.



Del gráfico 8.15 para un TRH 24 h el valor del caudal teórico fue de 0.568 mL/s y el caudal real promedio es de 0.584 mL h. /s, para el caudal teórico de un TRH 14 h fue de 0.974 mL/s y el caudal real promedio es de 0.988 mL/s y para el caudal teórico de un TRH 4 h fue de 3.409 mL/s y el caudal real promedio de 3.50 mL/s, teniendo una variación del 2.73%, 1.41% y 2.6 % respectivamente por lo que se podría decir que la variación no fue insignificativa.

8.1.5 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es un indicativo de la cantidad de sólidos disueltos en el desagüe. Algunos desagües presentan alta conductividad, debido a la gran concentración de sólidos disueltos, normalmente esto sucede en desagües industriales, muy rara vez se presenta en desagües domésticos, en nuestra investigación consideramos este parámetro como referencia para relacionar con la concentración de sólidos disueltos y determinar algún efecto que podría ocasionar en el funcionamiento del sistema de tratamiento

El parámetro de conductividad eléctrica no nos indica, específicamente, cuales son los iones presentes en una determinada muestra de agua, pero puede ayudar a detectar posibles impactos ambientales que ocurran en el vertimiento del agua residual debido a la descarga de desperdicios domésticos, industriales, minería, etc.

Tabla 8.18 Valores de Conductividad - TRH 24 h.

Valores de Conductividad - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (uS/cm)	Unidad de Sedimentación (uS/cm)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (uS/cm)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (uS/cm)
17/03/2010	735.00	682.00	675.00	735.00
18/03/2010	795.00	765.00	712.00	658.00
19/03/2010	765.00	718.00	698.00	712.00
24/03/2010	785.00	716.00	719.00	685.00
25/03/2010	715.00	675.00	698.00	754.00
26/03/2010	755.00	724.00	727.00	716.00
30/03/2010	780.00	766.00	763.00	732.00
31/03/2010	626.00	760.00	668.00	729.00
07/04/2010	785.00	715.00	735.00	775.00
14/04/2010	793.00	745.00	762.00	787.00
15/04/2010	761.00	695.00	720.00	793.00
22/04/2010	816.00	795.00	768.00	736.00
23/04/2010	782.00	795.00	811.00	748.00

Tabla 8.19 Valores de Conductividad - TRH 14 h.

Valores de Conductividad - TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (uS/cm)	Unidad de Sedimentación (uS/cm)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (uS/cm)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (uS/cm)
05/05/2010	730.00	926.00	763.00	871.00
06/05/2010	899.00	995.00	968.00	852.00
07/05/2010	904.00	907.00	889.00	893.00
13/05/2010	865.00	786.00	845.00	787.00
14/05/2010	936.00	904.00	816.00	823.00
19/05/2010	1210.00	1201.00	870.00	1241.00
20/05/2010	1131.00	1171.00	1270.00	1271.00
27/05/2010	1068.00	1125.00	1198.00	1215.00
28/05/2010	1231.00	1349.00	942.00	1297.00
03/06/2010	1238.00	1298.00	1275.00	1335.00
04/06/2010	1234.00	1380.00	1358.00	1445.00

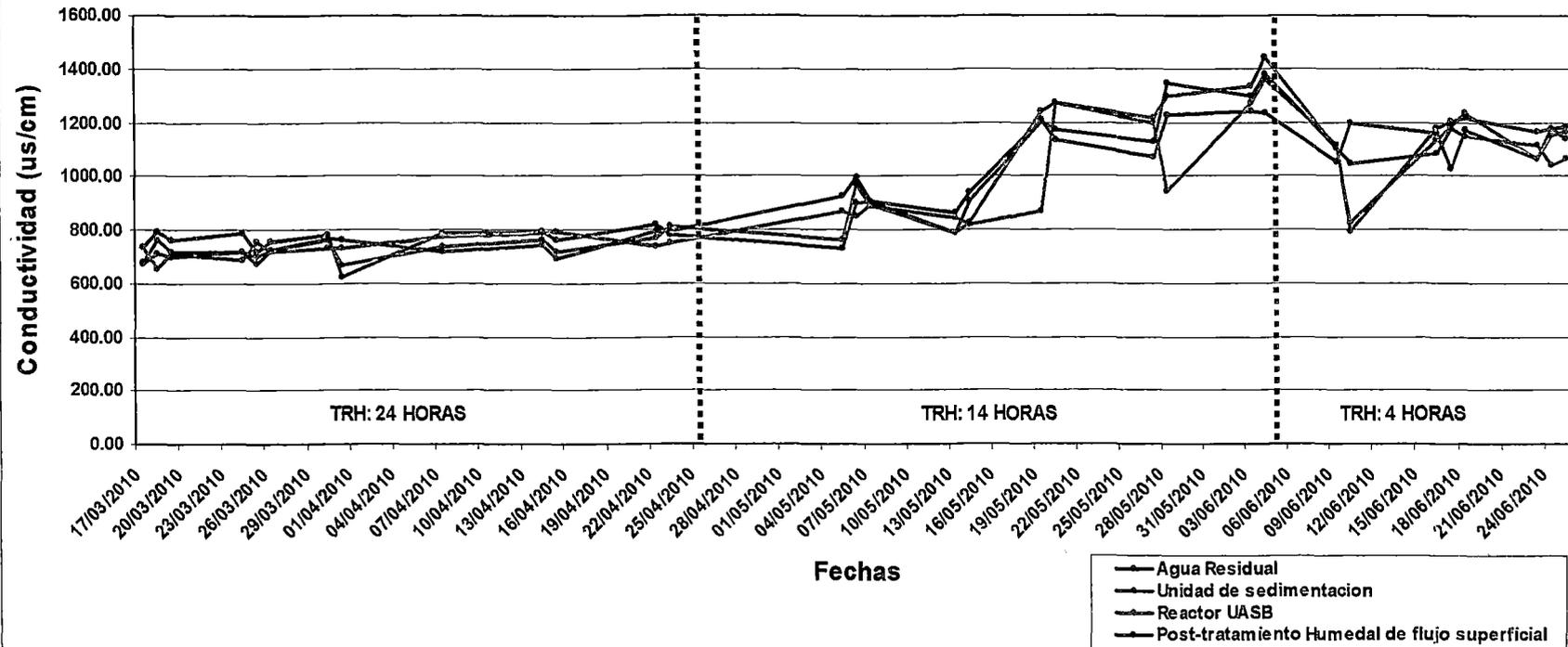
Tabla 8.20 Valores de Conductividad - TRH 4 h.

Valores de Conductividad - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (uS/cm)	Unidad de Sedimentación (uS/cm)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (uS/cm)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (uS/cm)
09/06/2010	1049.00	1105.00	1113.00	1105.00
10/06/2010	1200.00	1043.00	792.00	826.00
16/06/2010	1162.00	1085.00	1179.00	1135.00
17/06/2010	1028.00	1180.00	1202.00	1185.00
18/06/2010	1174.00	1147.00	1215.00	1233.00
23/06/2010	1065.00	1112.00	1163.00	1067.00
24/06/2010	1179.00	1038.00	1178.00	1155.00
25/06/2010	1186.00	1067.00	1138.00	1165.00

Tabla 8.21 Valores promedio de Conductividad

Valores Promedio de Conductividad (uS/cm) – TRH 24 h.			
Descripción	Conductividad (uS/cm)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	816.00	626.00	761.00
U. Sedimentación	795.00	675.00	734.69
U. Tratamiento Reactor UASB	811.00	668.00	727.38
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	793.00	658.00	735.38
TRH: 14 h.			
Descripción	Conductividad (uS/cm)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1238.00	730.00	1040.55
U. Sedimentación	1380.00	786.00	1094.73
U. Tratamiento Reactor UASB	1358.00	763.00	1017.64
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	1445.00	787.00	1093.64
TRH: 4 h.			
Descripción	Conductividad (uS/cm)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1200.00	1028.00	1130.38
U. Sedimentación	1180.00	1038.00	1097.13
U. Tratamiento Reactor UASB	1215.00	792.00	1122.50
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	1233.00	826.00	1108.88

GRÁFICO 8.16 VARIACIÓN DE CONDUCTIVIDAD



La conductividad eléctrica se midió en las fechas como indican la tabla 8.18, 8.19, 8.20.

De la tabla 8.18, para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 816 us/cm máxima, 626 us/cm mínima y 761 us promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 795 us/cm máxima, 675 us/cm mínima y 734.69 us/cm promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 811 us/cm máxima, 668 us/cm mínima y 727.38 us/cm promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 793 us/cm máxima, 658 us/cm mínima y 735.38 us/cm promedio.

De la tabla 8.19, para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 1238 us/cm máxima, 730 us/cm mínima y 1040.55 us/cm promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 1380 us/cm máxima, 786 us/cm mínima y 1049.73 us/cm promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 1358 us/cm máxima, 763 us/cm mínima y 1017.64 us/cm promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 1445 us/cm máxima, 787 us/cm mínima y 1093.64 us/cm promedio.

De la tabla 8.20, para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 1200 us/cm máxima, 1028 us/cm mínima y 1130.38 us/cm promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 1180 us/cm máxima, 1038 us/cm mínima y 1097.13 us/cm promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 1215 us/cm máxima, 797 us/cm mínima y 1122.50 us/cm promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 1233 us/cm máxima, 826 us/cm mínima y 1108.88 us/cm promedio.

8.1.6 OXÍGENO DISUELTO (OD)

En una forma u otra todos los organismos vivientes dependen del Oxígeno, para mantener el proceso metabólico que produce energía para crecer y reproducirse. En desagües domésticos el OD es el factor que determina si los cambios biológicos son hechos por organismos aeróbicos o anaeróbicos

En la tabla 8.22 podemos decir tanto en el agua residual como en la unidad de sedimentación si había presencia de OD, pero para el Reactor UASB el OD fue cero, con lo se confirma que es un proceso netamente anaerobio.

Tabla 8.22 Valores de Oxígeno Disuelto - TRH 24 h.

Valores de Oxígeno Disuelto - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	1.16	1.31	0.00	0.24
18/03/2010	0.54	0.55	0.00	0.41
19/03/2010	2.41	2.12	0.00	0.57
24/03/2010	1.32	0.86	0.00	0.55
25/03/2010	2.64	1.32	0.00	0.57
26/03/2010	0.86	0.75	0.00	0.43
30/03/2010	0.36	0.22	0.00	0.32
31/03/2010	0.86	0.86	0.00	0.85
07/04/2010	0.42	0.33	0.00	0.92
14/04/2010	1.16	0.91	0.00	0.51
15/04/2010	2.32	1.40	0.00	0.22
22/04/2010	3.48	2.13	0.00	0.12
23/04/2010	0.67	0.31	0.00	0.63

Tabla 8.23 Valores de Oxígeno Disuelto - TRH 14 h.

Valores de Oxígeno Disuelto – TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	0.86	0.52	0.00	0.52
06/05/2010	1.18	0.84	0.00	0.20
07/05/2010	3.32	2.16	0.00	0.35
13/05/2010	2.54	1.21	0.00	0.34
14/05/2010	1.27	1.26	0.00	0.24
19/05/2010	0.55	0.42	0.00	0.25
20/05/2010	1.42	1.26	0.00	0.36
27/05/2010	1.63	1.28	0.00	0.68
28/05/2010	0.88	0.86	0.00	0.34
03/06/2010	0.22	0.46	0.00	0.45
04/06/2010	0.84	0.26	0.00	0.31

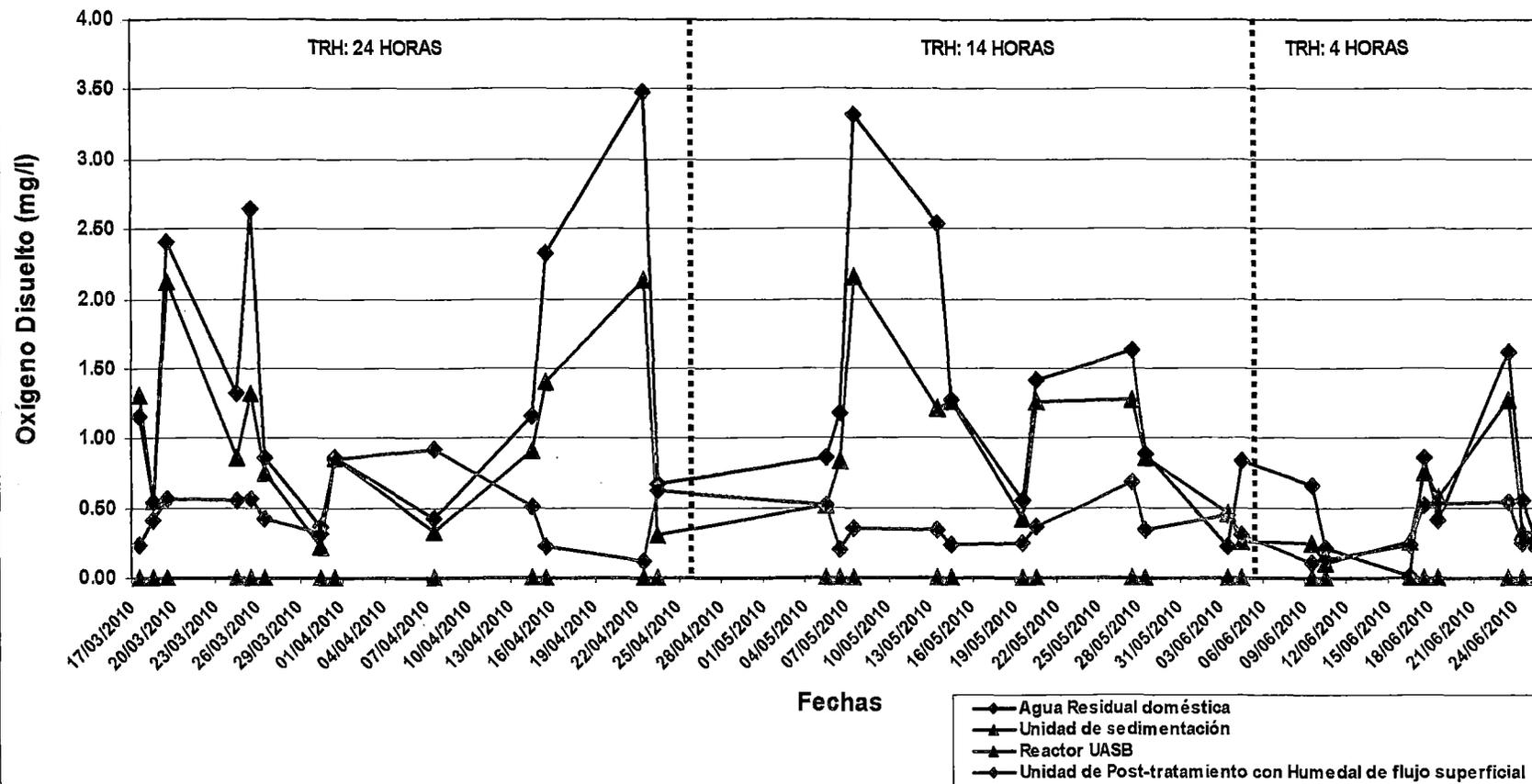
Tabla 8.24 Valores de Oxígeno Disuelto - TRH 14 h.

Valores de Oxígeno Disuelto - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	0.66	0.25	0.00	0.11
10/06/2010	0.21	0.11	0.00	0.13
16/06/2010	0.01	0.26	0.00	0.24
17/06/2010	0.86	0.75	0.00	0.52
18/06/2010	0.41	0.58	0.00	0.53
23/06/2010	1.62	1.28	0.00	0.54
24/06/2010	0.55	0.33	0.00	0.25
25/06/2010	0.26	0.32	0.00	0.21

Tabla 8.25 Valores promedio de Oxígeno Disuelto

Valores Promedio de Oxígeno Disuelto - TRH 24 h.			
Descripción	Oxígeno Disuelto (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	3.48	0.36	1.40
U. Sedimentación	2.13	0.22	1.01
U. Tratamiento Reactor UASB	0.00	0.00	0.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	0.92	0.12	0.49
TRH: 14 h.			
Descripción	Oxígeno Disuelto (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	3.32	0.22	1.34
U. Sedimentación	2.16	0.26	0.96
U. Tratamiento Reactor UASB	0.00	0.00	0.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	0.68	0.20	0.37
TRH: 4 h.			
Descripción	Oxígeno Disuelto (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1.62	0.01	0.57
U. Sedimentación	1.28	0.11	0.49
U. Tratamiento Reactor UASB	0.00	0.00	0.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	0.54	0.11	0.32

GRÁFICO 8.17 VARIACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO



El Oxígeno disuelto se midió en las fechas como indican la tabla 8.22, 8.23 y 8.24

De la tabla 8.25, para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 3.48mg/L máxima, 0.36mg/L mínima y 1.40 mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 2.13mg/L máxima, 0.22mg/L mínima y 1.01mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 0 mg/L; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 0.92mg/L máxima, 0.12mg/L mínima y 0.49mg/L promedio.

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 3.32mg/L máxima, 0.22mg/L mínima y 1.34 mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 2.16mg/L máxima, 0.26mg/L mínima y 0.96mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 0 mg/l; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 0.68mg/L máxima, 0.20mg/L mínima y 0.37mg/L promedio.

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 1.62mg/L máxima, 0.01mg/L mínima y 0.57 mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 1.28mg/L máxima, 0.11mg/L mínima y 0.49mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 0 mg/l; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 0.54mg/L máxima, 0.11mg/L mínima y 0.32mg/L promedio.

8.1.7 SÓLIDOS TOTALES

Tabla 8.26 Valores de Sólidos Totales - TRH 24 h.

Valores de Sólidos Totales – TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	764.00	680.00	524.00	432.00
18/03/2010	788.00	668.00	464.00	440.00
19/03/2010	684.00	528.00	476.00	460.00
24/03/2010	1172.00	732.00	564.00	465.00
25/03/2010	524.00	472.00	360.00	348.00
26/03/2010	892.00	864.00	496.00	346.00
30/03/2010	560.00	544.00	460.00	355.00
31/03/2010	552.00	536.00	468.00	360.00
07/04/2010	764.00	720.00	612.00	433.00
14/04/2010	704.00	588.00	492.00	402.00
15/04/2010	956.00	596.00	520.00	383.00
22/04/2010	844.00	776.00	648.00	382.00
23/04/2010	900.00	568.00	408.00	366.00

Tabla 8.27 Valores de Sólidos Totales - TRH 14 h.

Valores de Sólidos Totales - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	640.00	596.00	468.00	435.00
06/05/2010	1104.00	724.00	712.00	443.00
07/05/2010	748.00	716.00	600.00	481.00
13/05/2010	756.00	700.00	600.00	528.00
14/05/2010	740.00	672.00	536.00	503.00
19/05/2010	1028.00	920.00	636.00	618.00
20/05/2010	836.00	788.00	720.00	647.00
27/05/2010	896.00	764.00	588.00	528.00
28/05/2010	884.00	700.00	552.00	513.00
03/06/2010	780.00	692.00	504.00	449.00
04/06/2010	956.00	716.00	712.00	638.00

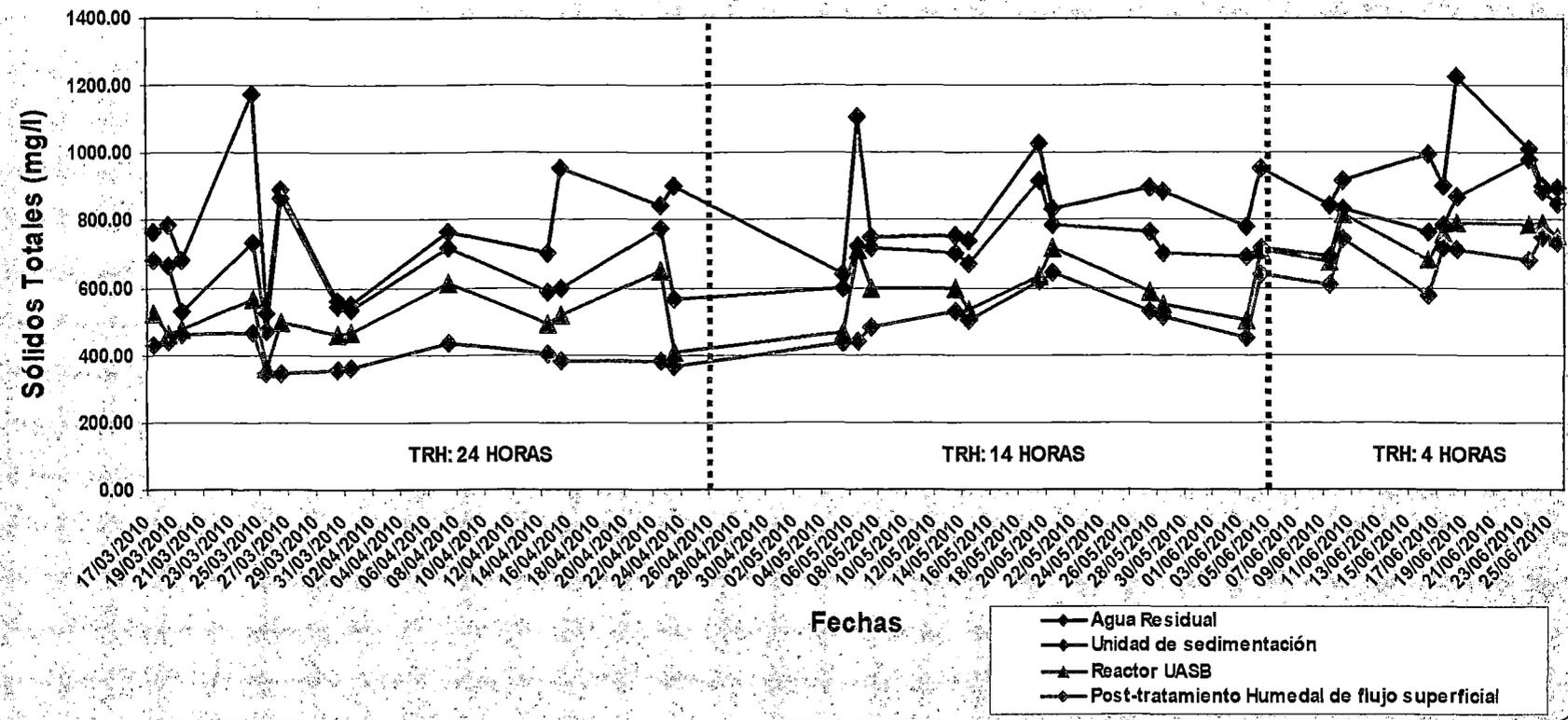
Tabla 8.28 Valores de Sólidos Totales - TRH 4 h.

Valores de Sólidos Totales - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	844.00	692.00	676.00	610.00
10/06/2010	916.00	832.00	820.00	745.00
16/06/2010	996.00	764.00	684.00	575.00
17/06/2010	904.00	784.00	760.00	719.00
18/06/2010	1228.00	872.00	792.00	713.00
23/06/2010	1012.00	980.00	788.00	681.00
24/06/2010	900.00	888.00	792.00	750.00
25/06/2010	896.00	852.00	748.00	734.00

Tabla 8.29 Valores promedio de Sólidos Totales

Valores promedio de Sólidos Totales – TRH 24 h.			
Descripción	Sólidos Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1172.00	524.00	777.23
U. Sedimentación	864.00	472.00	636.31
U. Tratamiento Reactor UASB	648.00	360.00	499.38
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	465.00	346.00	397.85
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1104.00	640.00	851.64
U. Sedimentación	920.00	596.00	726.18
U. Tratamiento Reactor UASB	720.00	468.00	602.55
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	647.00	435.00	525.73
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1228.00	844.00	962.00
U. Sedimentación	980.00	692.00	833.00
U. Tratamiento Reactor UASB	820.00	676.00	757.50
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	750.00	575.00	690.88

GRÁFICO 8.18 VARIACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES



Los sólidos totales se midieron en las fechas como indican la tabla 8.26, 8.27 y 8.28

De la tabla 8.29 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 1172mg/L máxima, 524mg/L mínima y 777.23mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 864mg/L máxima, 472mg/L mínima y 636.31mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 648mg/L máxima, 360mg/L mínima y 499.38mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores 465mg/L máxima, 346mg/L mínima y 397.85mg/L promedio.

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 1104mg/L máxima, 640mg/L mínima y 851.64mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 920mg/L máxima, 596mg/L mínima y 726.18mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 720mg/L máxima, 468mg/L mínima y 602.55mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 647mg/L máxima, 435mg/L mínima y 525.73mg/L promedio.

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 1228mg/L máxima, 844mg/L mínima y 962mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 980mg/L máxima, 692mg/L mínima y 833mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 820mg/L máxima, 676mg/L mínima y 757.50mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 750mg/L máxima, 575mg/L mínima y 690.88mg/L promedio.

8.1.8 SÓLIDOS DISUELTOS

Semanalmente se midieron los Sólidos Totales como indica las tablas 8.30, 8.31y 8.32.

Tabla 8.30 Variación de Sólidos Disueltos - TRH 24 h.

Valores de Sólidos Disueltos - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	536.00	472.00	380.00	360.00
18/03/2010	548.00	476.00	404.00	392.00
19/03/2010	516.00	420.00	396.00	388.00
24/03/2010	872.00	716.00	556.00	512.00
25/03/2010	428.00	420.00	332.00	340.00
26/03/2010	604.00	608.00	472.00	342.00
30/03/2010	508.00	496.00	432.00	349.00
31/03/2010	468.00	500.00	444.00	355.00
07/04/2010	548.00	516.00	436.00	415.00
14/04/2010	572.00	516.00	452.00	398.00
15/04/2010	592.00	568.00	500.00	378.00
22/04/2010	700.00	680.00	612.00	375.00
23/04/2010	588.00	444.00	364.00	360.00

Tabla 8.31 Variación de Sólidos Disueltos - TRH 14 h.

Valores de Sólidos Disueltos - TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	568.00	516.00	424.00	420.00
06/05/2010	736.00	632.00	628.00	411.00
07/05/2010	636.00	600.00	548.00	466.00
13/05/2010	636.00	624.00	560.00	510.00
14/05/2010	616.00	584.00	476.00	485.00
19/05/2010	692.00	628.00	612.00	606.00
20/05/2010	592.00	564.00	552.00	615.00
27/05/2010	636.00	632.00	512.00	502.00
28/05/2010	640.00	632.00	520.00	495.00
03/06/2010	684.00	612.00	456.00	423.00
04/06/2010	720.00	676.00	668.00	624.00

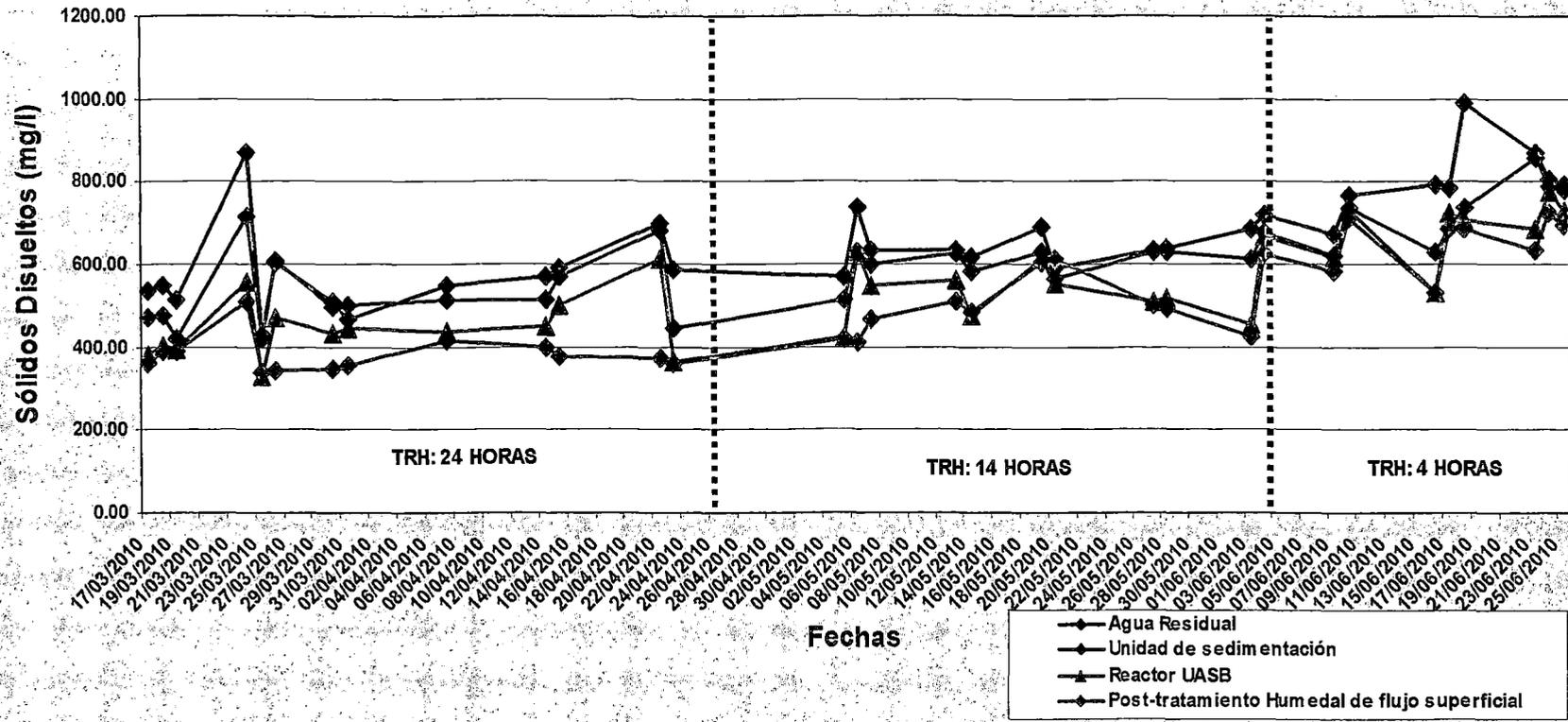
Tabla 8.32 Variación de Sólidos Disueltos - TRH 4 h.

Valores de Sólidos Disueltos - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	672.00	620.00	616.00	585.00
10/06/2010	768.00	736.00	732.00	712.00
16/06/2010	792.00	632.00	532.00	531.00
17/06/2010	784.00	684.00	724.00	687.00
18/06/2010	988.00	736.00	708.00	685.00
23/06/2010	872.00	856.00	684.00	635.00
24/06/2010	804.00	788.00	776.00	725.00
25/06/2010	792.00	780.00	728.00	695.00

Tabla 8.33 Valores promedio de Sólidos Disueltos

Valores promedio de Sólidos Disueltos - TRH 24 h.			
Descripción	Sólidos Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	872.00	428.00	575.38
U. Sedimentación	716.00	420.00	525.54
U. Tratamiento Reactor UASB	612.00	332.00	444.62
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	512.00	340.00	381.85
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	736.00	568.00	650.55
U. Sedimentación	676.00	516.00	609.09
U. Tratamiento Reactor UASB	668.00	424.00	541.45
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	624.00	411.00	505.18
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	988.00	672.00	809.00
U. Sedimentación	856.00	620.00	729.00
U. Tratamiento Reactor UASB	776.00	532.00	687.50
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	725.00	531.00	656.88

GRÁFICO 8.19 VARIACIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS



Los sólidos disueltos se midieron en las fechas como indican la tabla 8.30, 8.31 y 8.32

De la tabla 8.33 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 872mg/L máxima, 428mg/L mínima y 575.38mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 716mg/L máxima, 420mg/L mínima y 525.54mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 612mg/L máxima, 332mg/L mínima y 444.62mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 512mg/L máxima, 340mg/L mínima y 381.85mg/L promedio.

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 736mg/L máxima, 568mg/L mínima y 650.55mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 676mg/L máxima, 516mg/L mínima y 609.09mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 668mg/L máxima, 424mg/L mínima y 541.45mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 624mg/L máxima, 411mg/L mínima y 505.18mg/L promedio.

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 988mg/L máxima, 672mg/L mínima y 809mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 856mg/L máxima, 620mg/L mínima y 729mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 776mg/L máxima, 532mg/L mínima y 687.50mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 725mg/L máxima, 531mg/L mínima y 656.88mg/L promedio.

8.1.9 SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Esta determinación es de gran valor en los análisis de aguas residuales, es uno de los mayores parámetros usados para evaluar la concentración de desagües y para determinar la eficiencia de las plantas de tratamiento. Este parámetro se midió semanalmente como lo indica la tabla 8.34, 8.35 y 8.36.

Tabla 8.34 Variación de Sólidos Suspendidos - TRH 24 h.

Variación de Sólidos Suspendidos -TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	228.00	208.00	144.00	72.00
18/03/2010	240.00	192.00	60.00	48.00
19/03/2010	168.00	108.00	80.00	72.00
24/03/2010	300.00	16.00	8.00	4.00
25/03/2010	96.00	52.00	28.00	8.00
26/03/2010	288.00	256.00	24.00	4.00
30/03/2010	52.00	48.00	28.00	6.00
31/03/2010	84.00	36.00	24.00	5.00
07/04/2010	216.00	204.00	176.00	18.00
14/04/2010	132.00	72.00	40.00	4.00
15/04/2010	364.00	28.00	20.00	5.00
22/04/2010	144.00	96.00	36.00	7.00
23/04/2010	312.00	124.00	44.00	6.00

Tabla 8.35 Variación de Sólidos Suspendidos -TRH 14 h.

Variación de Sólidos Suspendidos -TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	72.00	80.00	44.00	15.00
06/05/2010	368.00	92.00	84.00	32.00
07/05/2010	112.00	116.00	52.00	15.00
13/05/2010	120.00	76.00	40.00	18.00
14/05/2010	124.00	88.00	60.00	18.00
19/05/2010	336.00	292.00	24.00	12.00
20/05/2010	244.00	224.00	168.00	32.00
27/05/2010	260.00	132.00	76.00	26.00
28/05/2010	244.00	68.00	32.00	18.00
03/06/2010	96.00	80.00	48.00	26.00
04/06/2010	236.00	40.00	44.00	14.00

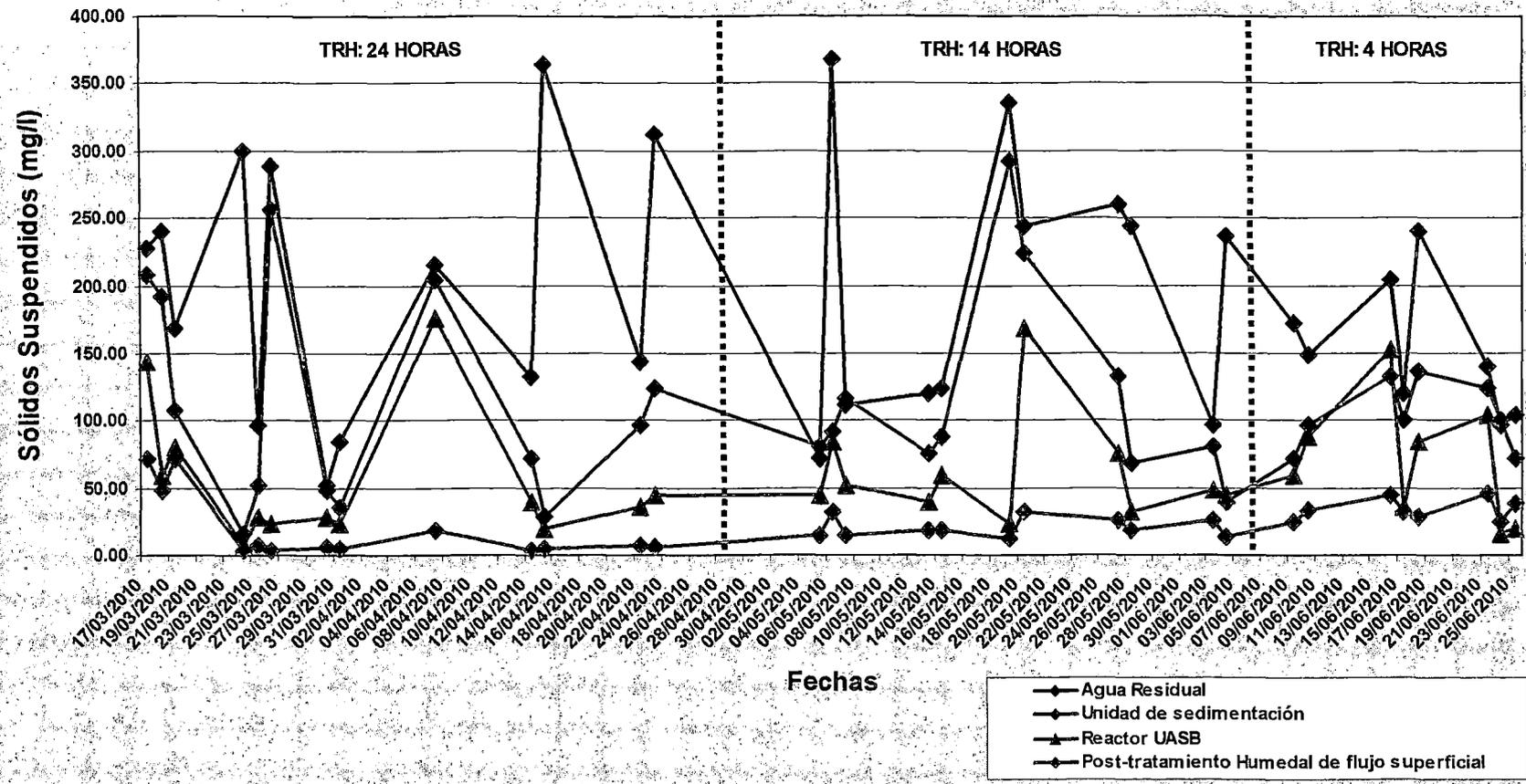
Tabla 8.36 Variación de Sólidos Suspendidos - TRH 4 h.

Variación de Sólidos Suspendidos -TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	172.00	72.00	60.00	25.00
10/06/2010	148.00	96.00	88.00	33.00
16/06/2010	204.00	132.00	152.00	44.00
17/06/2010	120.00	100.00	36.00	32.00
18/06/2010	240.00	136.00	84.00	28.00
23/06/2010	140.00	124.00	104.00	46.00
24/06/2010	96.00	100.00	16.00	25.00

Tabla 8.37 Valores promedio de Sólidos Suspendidos

Valores promedio de Sólidos Suspendidos - TRH 24 h.			
Descripción	Sólidos Suspendidos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	364.00	52.00	201.85
U. Sedimentación	256.00	16.00	110.77
U. Tratamiento Reactor UASB	176.00	8.00	54.77
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	72.00	4.00	19.92
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Suspendidos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	368.00	72.00	201.09
U. Sedimentación	292.00	40.00	117.09
U. Tratamiento Reactor UASB	168.00	24.00	61.09
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	32.00	12.00	20.55
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Suspendidos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	240.00	96.00	153.00
U. Sedimentación	136.00	72.00	104.00
U. Tratamiento Reactor UASB	152.00	16.00	70.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	46.00	25.00	34.00

GRÁFICO 8.20 VARIACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS



Los sólidos suspendidos se midieron en las fechas como indican la tabla 8.34, 8.35 y 8.36

De la tabla 8.37 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 364mg/L máxima, 52mg/L mínima y 201.85mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 256mg/L máxima, 16mg/L mínima y 110.77mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 176mg/L máxima, 8mg/L mínima y 54.77mg/L promedio, en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 72mg/L máxima, 4mg/L mínima y 19.92mg/L promedio.

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 368mg/L máxima, 72mg/L mínima y 201.09mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 292mg/L máxima, 40mg/L mínima y 117.09mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 168mg/L máxima, 24mg/L mínima y 61.09mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 32mg/L máxima, 12mg/L mínima y 20.55mg/L promedio.

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 240mg/L máxima, 96mg/L mínima y 153mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 136mg/L máxima, 72mg/L mínima y 104mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 152mg/L máxima, 16mg/L mínima y 70mg/L promedio; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 46mg/L máxima, 25mg/L mínima y 34mg/L promedio.

8.1.10 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Es de particular importancia en los análisis de las aguas residuales. Esta prueba se realizó en un cono Imhoff, dándole una hora de sedimentación en condiciones de quietudes cuyos resultados son medidos e informados en mililitros por litro de sólidos sedimentables.

Este parámetro se medio semanalmente como indican las tablas 8.38, 8.39 y 8.40.

Tabla 8.38 Valores de Sólidos Sedimentables - TRH 24h.

Valores de Sólidos Sedimentables – TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mL/L/h)	Unidad de Sedimentación (mL/L/h)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mL/L/h)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mL/L/h)
17/03/2010	1.80	0.10	0.00	0.00
18/03/2010	1.50	0.00	0.00	0.00
19/03/2010	1.80	0.00	0.00	0.00
24/03/2010	1.60	0.00	0.00	0.00
25/03/2010	1.90	0.00	0.00	0.00
26/03/2010	1.50	0.00	0.00	0.00
30/03/2010	1.30	0.00	0.00	0.00
31/03/2010	0.90	0.00	0.00	0.00
07/04/2010	0.90	0.00	0.00	0.00
14/04/2010	1.00	0.00	0.00	0.00
15/04/2010	1.20	0.01	0.00	0.00
22/04/2010	1.60	0.00	0.00	0.00
23/04/2010	0.90	0.00	0.00	0.00

Tabla 8.39 Valores de Sólidos Sedimentables – TRH 14 h.

Valores de Sólidos Sedimentables – TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mL/L/h)	Unidad de Sedimentación (mL/L/h)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mL/L/h)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mL/L/h)
05/05/2010	1.20	0.00	0.00	0.00
06/05/2010	1.30	0.00	0.00	0.00
07/05/2010	1.00	0.00	0.00	0.00
13/05/2010	0.90	0.00	0.00	0.00
14/05/2010	1.50	0.00	0.00	0.00
19/05/2010	1.60	0.00	0.00	0.00
20/05/2010	1.30	0.00	0.00	0.00
27/05/2010	0.80	0.00	0.00	0.00
28/05/2010	0.80	0.00	0.00	0.00
03/06/2010	1.50	0.00	0.00	0.00
04/06/2010	1.10	0.00	0.00	0.00

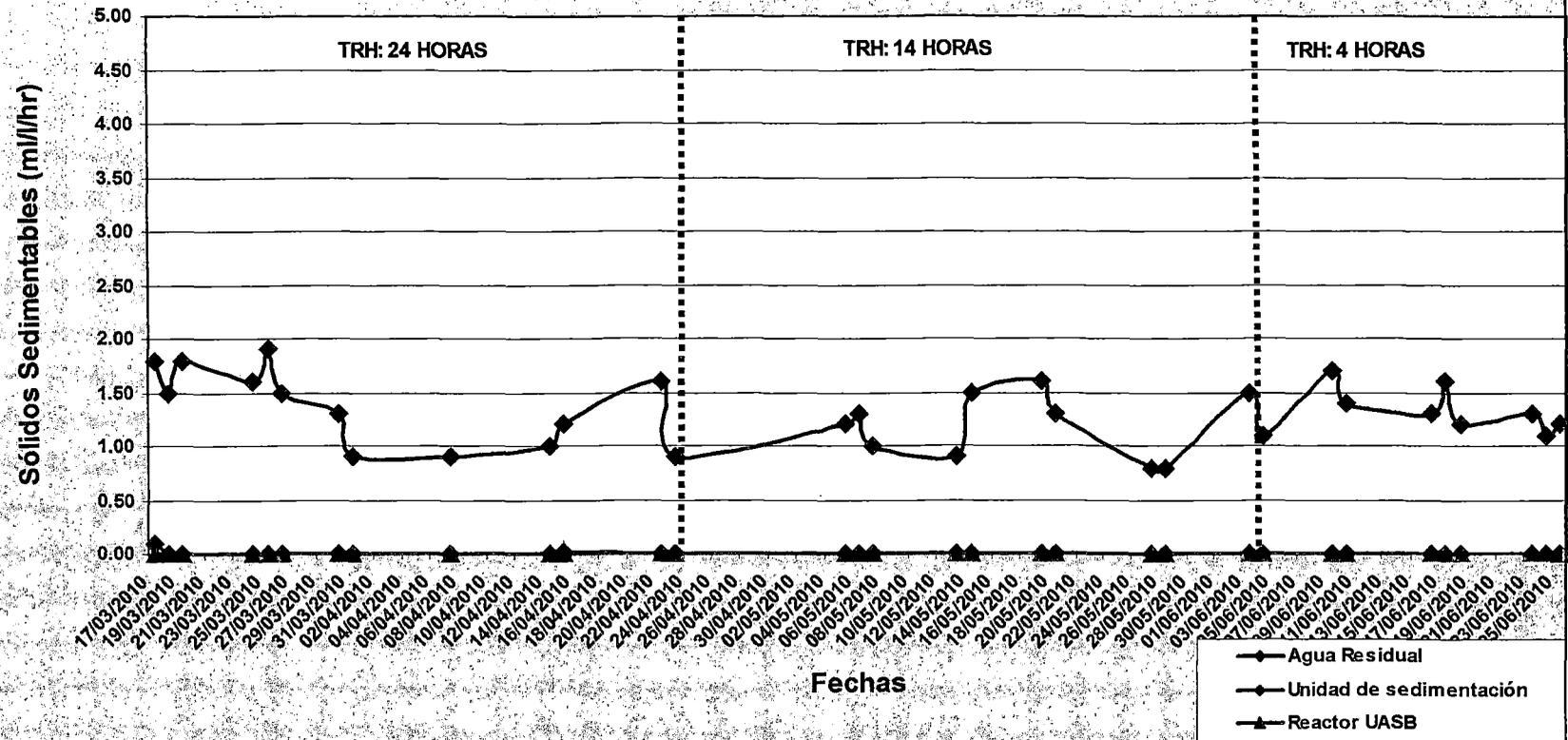
Tabla 8.40 Valores de Sólidos Sedimentables – TRH 4 h.

Valores de Sólidos Sedimentables – TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mL/L/h)	Unidad de Sedimentación (mL/L/h)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mL/L/h)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mL/L/h)
09/06/2010	1.70	0.00	0.00	0.00
10/06/2010	1.40	0.00	0.00	0.00
16/06/2010	1.30	0.00	0.00	0.00
17/06/2010	1.60	0.00	0.00	0.00
18/06/2010	1.20	0.00	0.00	0.00
23/06/2010	1.30	0.00	0.00	0.00
24/06/2010	1.10	0.00	0.00	0.00
25/06/2010	1.20	0.00	0.00	0.00

Tabla 8.41 Valores promedio de Sólidos Sedimentables

Valores promedio de Sólidos Sedimentables - TRH 24 h.			
Descripción	Sólidos Sedimentables (mL/L/h)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1.90	0.90	1.38
U. Sedimentación	0.10	0.00	0.01
U. Tratamiento Reactor UASB	0.00	0.00	0.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	0.00	0.00	0.00
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Sedimentables (mL/L/h)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1.60	0.80	1.18
U. Sedimentación	0.00	0.00	0.00
U. Tratamiento Reactor UASB	0.00	0.00	0.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	0.00	0.00	0.00
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Sedimentables (mL/L/h)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	1.70	1.10	1.35
U. Sedimentación	0.00	0.00	0.00
U. Tratamiento Reactor UASB	0.00	0.00	0.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	0.00	0.00	0.00

GRÁFICO 8.21 VARIACIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES



Los sólidos sedimentables se midieron en las fechas como indican la tabla 8.38, 8.39 y 8.40

De la tabla 8.41 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 1.90mL/L/h máxima, 0.90mL/L/h mínima y 1.38mL/L/h promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 0.10mL/L/h máxima, 0.00mL/L/h mínima y 0.01mL/L/h promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 0.00 mL/L/h; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 0.00 mL/L/h.

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 1.60mL/L/h máxima, 0.80mL/L/h mínima y 1.18mL/L/h promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 0.00 mL/L/h; para el Reactor UASB es 0.00mL/L/h; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 0.00 mL/L/h.

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 1.70mL/L/h máxima, 1.10 mL/L/h mínima y 1.35 mL/L/h promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 0.00 mL/L/h; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 0.00 mL/L/h; en la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron 0.00 mL/L/h.

8.1.11 SÓLIDOS FIJOS TOTALES

Tabla 8.42 Valores de Sólidos Fijos Totales - TRH 24 h.

Valores de Sólidos Fijos Totales - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	524.00	452.00	360.00	---
18/03/2010	536.00	440.00	384.00	---
19/03/2010	524.00	404.00	352.00	---
24/03/2010	868.00	620.00	452.00	---
25/03/2010	404.00	392.00	316.00	---
26/03/2010	616.00	592.00	436.00	---
30/03/2010	404.00	424.00	380.00	---
31/03/2010	444.00	492.00	388.00	---
07/04/2010	560.00	504.00	400.00	---
14/04/2010	552.00	492.00	472.00	---
15/04/2010	572.00	532.00	492.00	---
22/04/2010	652.00	632.00	604.00	---
23/04/2010	524.00	524.00	320.00	---

Tabla 8.43 Valores de Sólidos Fijos Totales - TRH 14 h.

Valores de Sólidos Fijos Totales - TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	552.00	480.00	388.00	---
06/05/2010	708.00	592.00	612.00	---
07/05/2010	612.00	524.00	544.00	---
13/05/2010	612.00	604.00	572.00	---
14/05/2010	620.00	524.00	492.00	---
19/05/2010	636.00	604.00	592.00	---
20/05/2010	556.00	524.00	536.00	---
27/05/2010	604.00	540.00	508.00	---
28/05/2010	600.00	608.00	524.00	---
03/06/2010	656.00	564.00	432.00	---

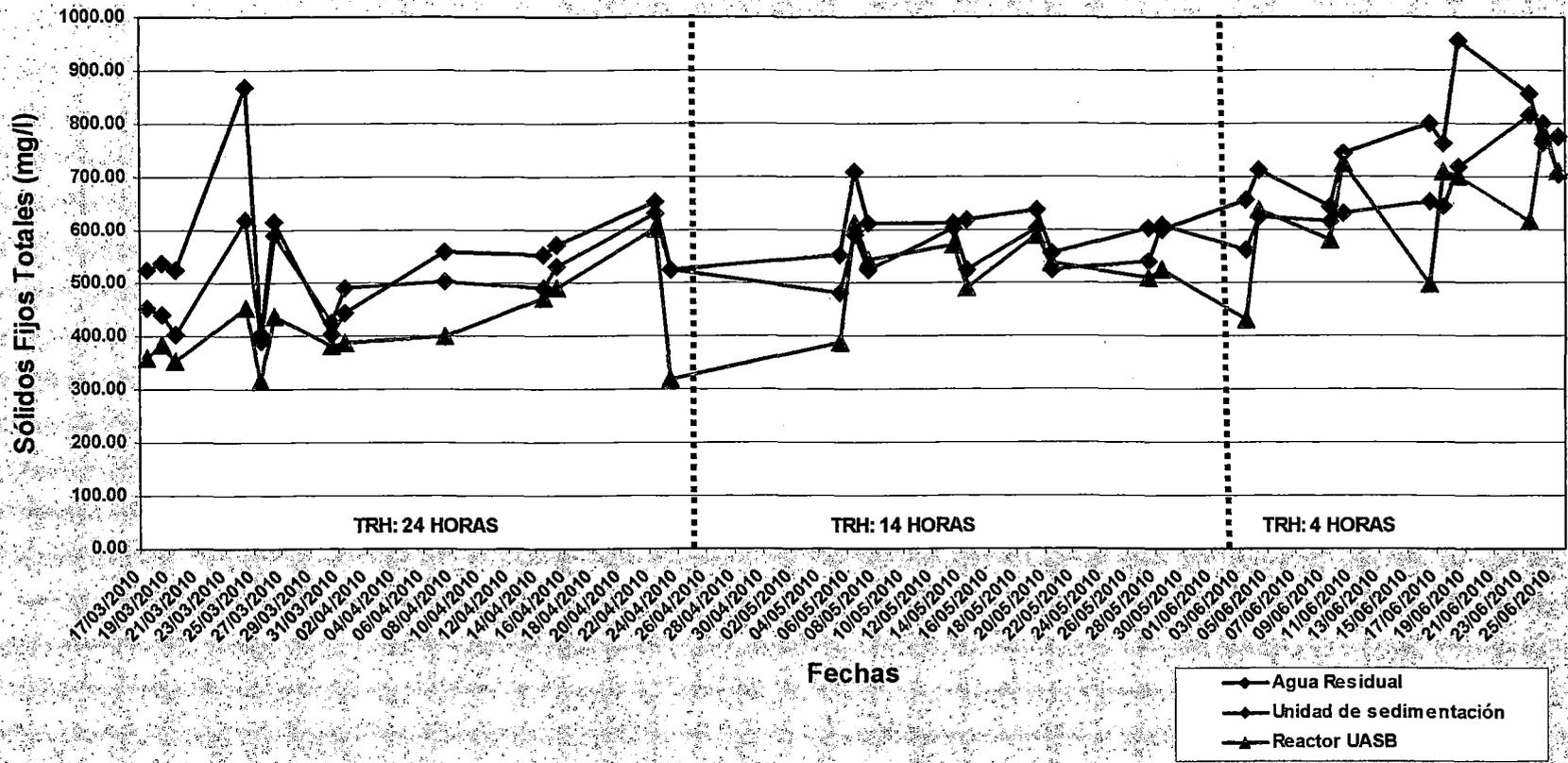
Tabla 8.44 Valores de Sólidos Fijos Totales - TRH 4 h.

Valores de Sólidos Fijos Totales - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	644.00	616.00	580.00	---
10/06/2010	744.00	632.00	724.00	---
16/06/2010	800.00	652.00	496.00	---
17/06/2010	764.00	644.00	708.00	---
18/06/2010	956.00	720.00	700.00	---
23/06/2010	856.00	816.00	616.00	---
24/06/2010	764.00	800.00	784.00	---
25/06/2010	776.00	704.00	708.00	---

Tabla 8.45 Valores promedio de Sólidos Fijos Totales

Valores promedio de Sólidos Fijos Totales - TRH 24 h.			
Descripción	Sólidos Fijos Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	868.00	404.00	552.31
U. Sedimentación	632.00	392.00	500.00
U. Tratamiento Reactor UASB	604.00	316.00	412.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Fijos Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	712.00	552.00	624.36
U. Sedimentación	624.00	480.00	562.55
U. Tratamiento Reactor UASB	636.00	388.00	530.55
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Fijos Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	956.00	644.00	788.00
U. Sedimentación	816.00	616.00	698.00
U. Tratamiento Reactor UASB	784.00	496.00	664.50
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---

GRÁFICO 8.22 VARIACIÓN DE SÓLIDOS FIJOS TOTALES



Los sólidos fijos totales se midieron en las fechas como indican la tabla 8.42, 8.43 y 8.44

De la tabla 8.45 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 868mg/L máxima, 404mg/L mínima y 552.31mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 632mg/L máxima, 392mg/L mínima y 500mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 604mg/L máxima, 316mg/L mínima y 412mg/L promedio; no se midió para Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 712mg/L máxima, 552mg/L mínima y 624.36mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 624mg/L máxima, 480mg/L mínima y 562.55mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 636mg/L máxima, 338mg/L mínima y 530.55mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 956mg/L máxima, 644mg/L mínima y 788mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 816mg/L máxima, 616mg/L mínima y 698mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 784mg/L máxima, 496mg/L mínima y 664.50mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

8.1.11 SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

Tabla 8.46 Valores de Sólidos Volátiles Totales - TRH 24h.

Valores de Sólidos Volátiles Totales - TRH 24h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	240.00	228.00	164.00	---
18/03/2010	252.00	228.00	80.00	---
19/03/2010	160.00	124.00	124.00	---
24/03/2010	304.00	112.00	112.00	---
25/03/2010	120.00	80.00	44.00	---
26/03/2010	276.00	272.00	60.00	---
30/03/2010	156.00	120.00	80.00	---
31/03/2010	108.00	44.00	80.00	---
07/04/2010	204.00	216.00	212.00	---
14/04/2010	152.00	96.00	20.00	---
15/04/2010	384.00	64.00	28.00	---
22/04/2010	192.00	144.00	44.00	---
23/04/2010	376.00	44.00	88.00	---

Tabla 8.47 Valores de Sólidos Volátiles Totales - TRH 14h.

Valores de Sólidos Volátiles Totales - TRH 14h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	88.00	116.00	80.00	---
06/05/2010	396.00	132.00	100.00	---
07/05/2010	136.00	192.00	56.00	---
13/05/2010	144.00	96.00	28.00	---
14/05/2010	120.00	148.00	44.00	---
19/05/2010	392.00	316.00	44.00	---
20/05/2010	280.00	264.00	184.00	---
27/05/2010	292.00	224.00	80.00	---
28/05/2010	284.00	92.00	28.00	---
03/06/2010	124.00	128.00	72.00	---
04/06/2010	244.00	92.00	76.00	---

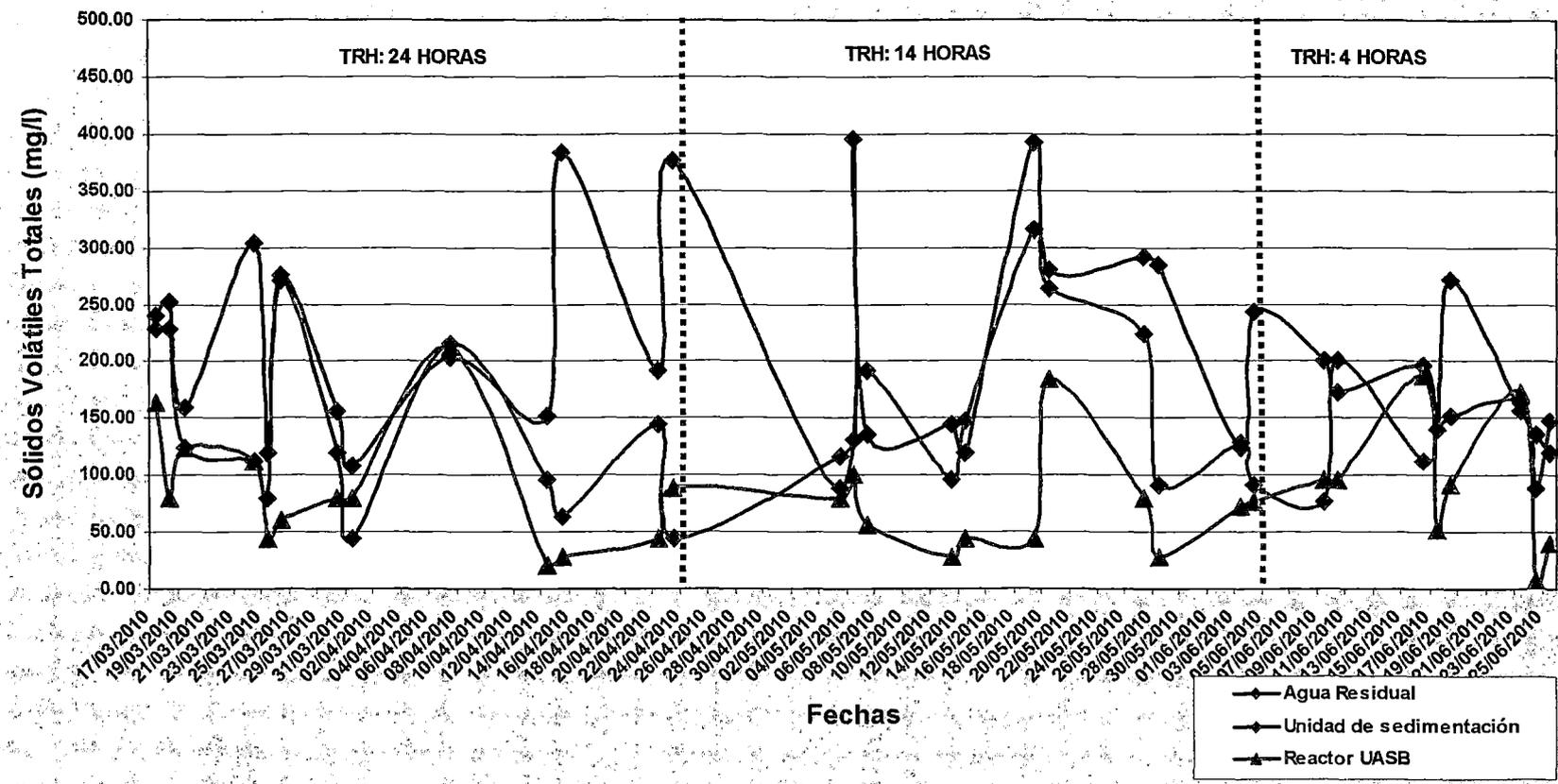
Tabla 8.48 Valores de Sólidos Volátiles Totales - TRH 4h.

Valores de Sólidos Volátiles Totales - TRH 4h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	200.00	76.00	96.00	---
10/06/2010	172.00	200.00	96.00	---
16/06/2010	196.00	112.00	188.00	---
17/06/2010	140.00	140.00	52.00	---
18/06/2010	272.00	152.00	92.00	---
23/06/2010	156.00	164.00	172.00	---
24/06/2010	136.00	88.00	8.00	---
25/06/2010	120.00	148.00	40.00	---

Tabla 8.49 Valores promedio de Sólidos Volátiles Totales

Valores promedio de Sólidos Volátiles Totales - TRH 24 h.			
Descripción	Sólidos Volátiles Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	384.00	108.00	224.92
U. Sedimentación	272.00	44.00	136.31
U. Tratamiento Reactor UASB	212.00	20.00	87.38
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Volátiles Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	396.00	88.00	227.27
U. Sedimentación	316.00	92.00	163.64
U. Tratamiento Reactor UASB	184.00	28.00	72.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Volátiles Totales (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	272.00	120.00	174.00
U. Sedimentación	200.00	76.00	135.00
U. Tratamiento Reactor UASB	188.00	8.00	93.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---

GRÁFICO 8.23 VARIACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES



Los sólidos volátiles totales se midieron en las fechas como indican la tabla 8.46, 8.47 y 8.48

De la tabla 8.49 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 384mg/L máxima, 108mg/L mínima y 224.92mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 272mg/L máxima, 44mg/L mínima y 136.31mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB es 212mg/L máxima, 20mg/L mínima y 87.38mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 396mg/L máxima, 88mg/L mínima y 227.27mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 316mg/L máxima, 92mg/L mínima y 163.64mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 184mg/L máxima, 28mg/L mínima y 72mg/L promedio; no se midió para el Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 272mg/L máxima, 120mg/L mínima y 174mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 200mg/L máxima, 76mg/L mínima y 135mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 188mg/L máxima, 8mg/L mínima y 93mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

8.1.12 SÓLIDOS FIJOS DISUELTOS

Tabla 8.50 Valores de Sólidos Fijos Disueltos - TRH 24 h.

Valores de Sólidos Fijos Disueltos - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	460.00	408.00	328.00	---
18/03/2010	480.00	420.00	344.00	---
19/03/2010	452.00	384.00	356.00	---
24/03/2010	812.00	660.00	516.00	---
25/03/2010	360.00	360.00	300.00	---
26/03/2010	548.00	532.00	404.00	---
30/03/2010	448.00	448.00	392.00	---
31/03/2010	404.00	444.00	400.00	---
07/04/2010	492.00	456.00	388.00	---
14/04/2010	488.00	444.00	400.00	---
15/04/2010	536.00	516.00	452.00	---
22/04/2010	632.00	616.00	560.00	---
23/04/2010	532.00	392.00	320.00	---

Tabla 8.51 Valores de Sólidos Fijos Disueltos - TRH 14 h.

Valores de Sólidos Fijos Disueltos - TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	360.00	508.00	476.00	---
06/05/2010	676.00	584.00	596.00	---
07/05/2010	556.00	544.00	504.00	---
13/05/2010	588.00	580.00	508.00	---
14/05/2010	552.00	516.00	436.00	---
19/05/2010	640.00	568.00	544.00	---
20/05/2010	544.00	520.00	500.00	---
27/05/2010	584.00	564.00	472.00	---
28/05/2010	568.00	584.00	476.00	---
03/06/2010	620.00	544.00	416.00	---
04/06/2010	616.00	616.00	672.00	---

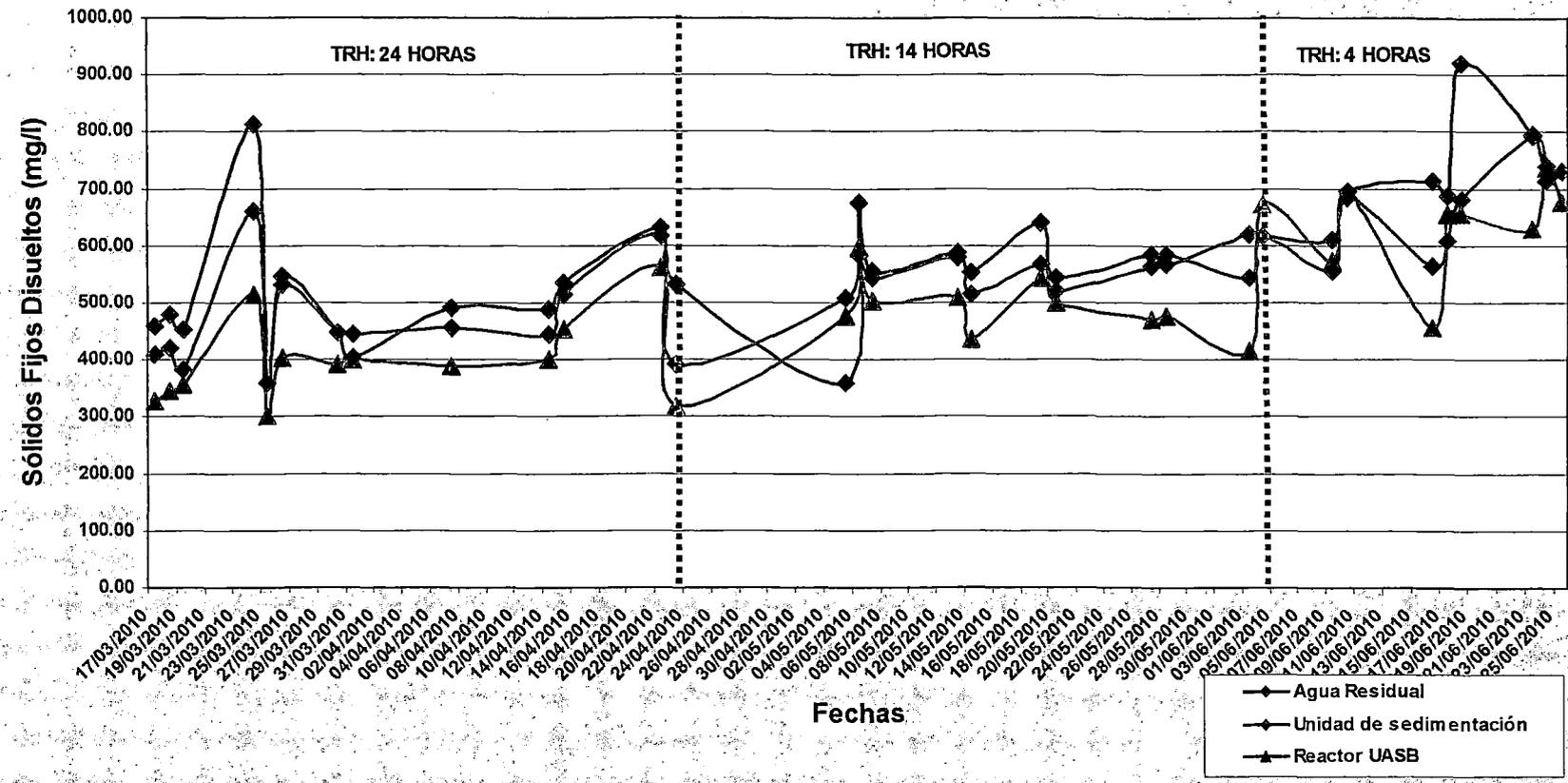
Tabla 8.52 Valores de Sólidos Fijos Disueltos - TRH 4 h.

Valores de Sólidos Fijos Disueltos - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	612.00	556.00	572.00	---
10/06/2010	696.00	684.00	696.00	---
16/06/2010	712.00	564.00	456.00	---
17/06/2010	688.00	608.00	656.00	---
18/06/2010	920.00	680.00	656.00	---
23/06/2010	796.00	792.00	628.00	---
24/06/2010	712.00	740.00	736.00	---
25/06/2010	732.00	732.00	676.00	---

Tabla 8.53 Valores promedio de Sólidos Fijos Disueltos

Valores promedio de Sólidos Fijos Disueltos - TRH 24 H.			
Descripción	Sólidos Fijos Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	812.00	360.00	511.08
U. Sedimentación	660.00	360.00	467.69
U. Tratamiento Reactor UASB	560.00	300.00	396.92
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Fijos Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	676.00	360.00	573.09
U. Sedimentación	616.00	508.00	557.09
U. Tratamiento Reactor UASB	672.00	416.00	509.09
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Fijos Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	920.00	612.00	733.50
U. Sedimentación	792.00	556.00	669.50
U. Tratamiento Reactor UASB	736.00	456.00	634.50
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---

GRÁFICO 8.24 VARIACIÓN DE SÓLIDOS FIJOS DISUELTOS



Los sólidos fijos disueltos se midieron en las fechas como indican la tabla 8.50, 8.51 y 8.52

De la tabla 8.53 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 812mg/L máxima, 360mg/L mínima y 511.08mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 660mg/L máxima, 360mg/L mínima y 467.69mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 560mg/L máxima, 300mg/L mínima y 396.92mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 676mg/L máxima, 360mg/L mínima y 573.09mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 616mg/L máxima, 508mg/L mínima y 557.09mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 672mg/L máxima, 416mg/L mínima y 509.09mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 920mg/L máxima, 612mg/L mínima y 633.50mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 792mg/L máxima, 556mg/L mínima y 669.50mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 736mg/L máxima, 456mg/L mínima y 634.50mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

8.1.13 SÓLIDOS VOLÁTILES DISUELTOS

Tabla 8.54 Valores de Sólidos Volátiles Disueltos - TRH 24 h.

Valores de Sólidos Volátiles Disueltos - TRH 24 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
17/03/2010	76.00	64.00	52.00	---
18/03/2010	68.00	56.00	60.00	---
19/03/2010	64.00	36.00	40.00	---
24/03/2010	60.00	56.00	40.00	---
25/03/2010	68.00	60.00	32.00	---
26/03/2010	56.00	76.00	68.00	---
30/03/2010	60.00	48.00	40.00	---
31/03/2010	64.00	56.00	44.00	---
07/04/2010	56.00	60.00	48.00	---
14/04/2010	84.00	72.00	52.00	---
15/04/2010	56.00	52.00	48.00	---
22/04/2010	68.00	64.00	52.00	---
23/04/2010	56.00	52.00	44.00	---

Tabla 8.55 Valores de Sólidos Volátiles Disueltos - TRH 14 h.

Valores de Sólidos Volátiles Disueltos - TRH 14 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
05/05/2010	64.00	60.00	40.00	---
06/05/2010	60.00	48.00	32.00	---
07/05/2010	80.00	56.00	44.00	---
13/05/2010	48.00	44.00	52.00	---
14/05/2010	64.00	68.00	40.00	---
19/05/2010	52.00	60.00	68.00	---
20/05/2010	48.00	44.00	52.00	---
27/05/2010	52.00	68.00	40.00	---
28/05/2010	64.00	56.00	44.00	---
03/06/2010	64.00	68.00	40.00	---
04/06/2010	60.00	52.00	48.00	---

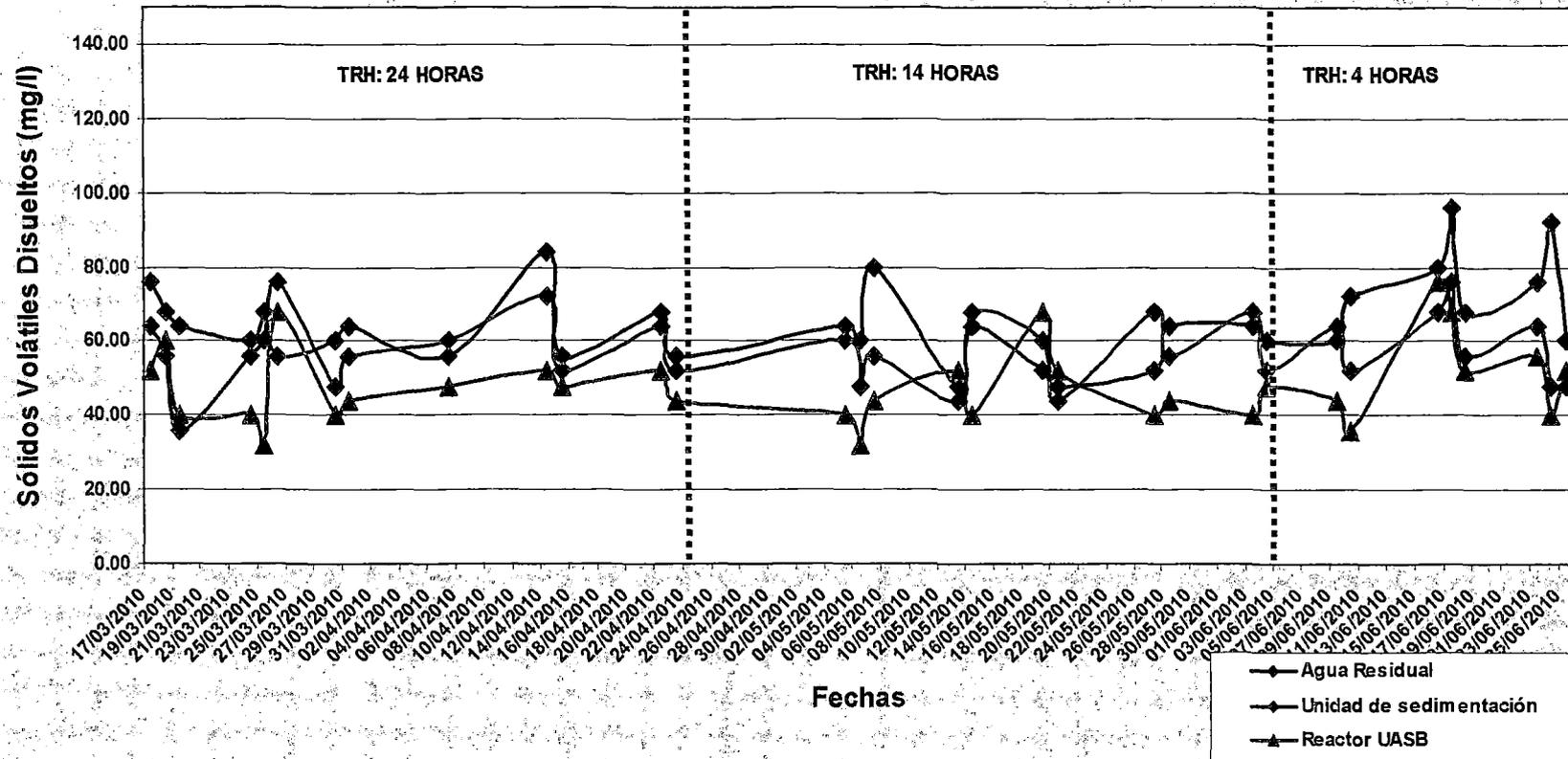
Tabla 8.56 Valores de Sólidos Volátiles Disueltos - TRH 4 h.

Valores de Sólidos Volátiles Disueltos - TRH 4 h.				
Fecha	Agua Residual Doméstica (mg/L)	Unidad de Sedimentación (mg/L)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)
09/06/2010	60.00	64.00	44.00	---
10/06/2010	72.00	52.00	36.00	---
16/06/2010	80.00	68.00	76.00	---
17/06/2010	96.00	76.00	68.00	---
18/06/2010	68.00	56.00	52.00	---
23/06/2010	76.00	64.00	56.00	---
24/06/2010	92.00	48.00	40.00	---
25/06/2010	60.00	48.00	52.00	---

Tabla 8.57 Valores promedio de Sólidos Volátiles Disueltos

Valores promedio de Sólidos Volátiles Disueltos - TRH 24 h.			
Descripción	Sólidos Volátiles Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	84.00	56.00	64.31
U. Sedimentación	76.00	36.00	57.85
U. Tratamiento Reactor UASB	68.00	32.00	47.69
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 14 h.			
Descripción	Sólidos Volátiles Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	80.00	48.00	59.64
U. Sedimentación	68.00	44.00	56.73
U. Tratamiento Reactor UASB	68.00	32.00	45.45
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---
TRH: 4 h.			
Descripción	Sólidos Volátiles Disueltos (mg/L)		
	Máximo	Mínimo	Promedio
Agua Residual doméstica	96.00	60.00	75.50
U. Sedimentación	76.00	48.00	59.50
U. Tratamiento Reactor UASB	76.00	36.00	53.00
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	---	---	---

GRÁFICO 8.25 VARIACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES DISUELTOS



Los sólidos volátiles disueltos se midieron en las fechas como indican la tabla 8.54, 8.55 y 8.56

De la tabla 8.57 para un TRH 24 h los valores del agua residual fueron 84mg/L máxima, 56mg/L mínima y 64.31mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 76mg/L máxima, 36mg/L mínima y 57.85mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 68mg/L máxima, 32mg/L mínima y 47.69mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

Para un TRH 14 h los valores del agua residual fueron 80mg/L máxima, 48mg/L mínima y 59.64mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 68mg/L máxima, 44mg/L mínima y 56.73mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 68mg/L máxima, 32mg/L mínima y 45.45mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

Para un TRH 4 h los valores del agua residual fueron 96mg/L máxima, 60mg/L mínima y 75.50mg/L promedio; para la unidad de sedimentación los valores fueron 76mg/L máxima, 48mg/L mínima y 59.50mg/L promedio; para la Unidad de tratamiento Reactor UASB los valores fueron 76mg/L máxima, 36mg/L mínima y 53mg/L promedio; no se midió para la Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

8.2 ANÁLISIS BIOLÓGICOS

8.2.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO₅), y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/L). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

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

La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación.

Esta prueba se realiza cada semana como se muestra en la tabla 5.58, 5.59, 5.60 para agua residual, unidad de sedimentación, Unidad de tratamiento Reactor UASB y Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial.

Tabla 8.58 Valores de la DBO, TRH 24 h.

RESULTADOS DBO (TRH=24 horas)								
Fecha	Agua residual doméstica (mg/L)	Unidad de sedimentación (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)	Eficiencia (%)	Eficiencia del sistema total de tratamiento (%)
19/03/2010	304.00	216.00	28.95	90.00	58.33	54.00	40.00	82.24
24/03/2010	209.70	122.40	41.63	55.95	54.29	15.89	71.60	92.42
25/03/2010	189.00	106.20	43.81	73.80	30.51	10.80	85.37	94.29
26/03/2010	268.00	141.60	47.16	80.40	43.22	27.90	65.30	89.59
30/03/2010	224.00	145.80	34.91	75.00	48.56	24.00	68.00	89.29
31/03/2010	279.60	200.40	28.33	101.85	49.18	33.60	67.01	87.98
07/04/2010	234.00	198.00	15.38	90.00	54.55	40.50	55.00	82.69
14/04/2010	156.00	80.40	48.46	57.30	28.73	19.35	66.23	87.60
15/04/2010	183.90	110.40	39.97	55.80	49.46	7.20	87.10	96.08
22/04/2010	216.00	114.00	47.22	72.00	36.84	27.00	62.50	87.50
23/04/2010	245.40	75.00	69.44	41.40	44.80	6.60	84.06	97.31

Tabla 8.59 Valores de la DBO, TRH 14 h.

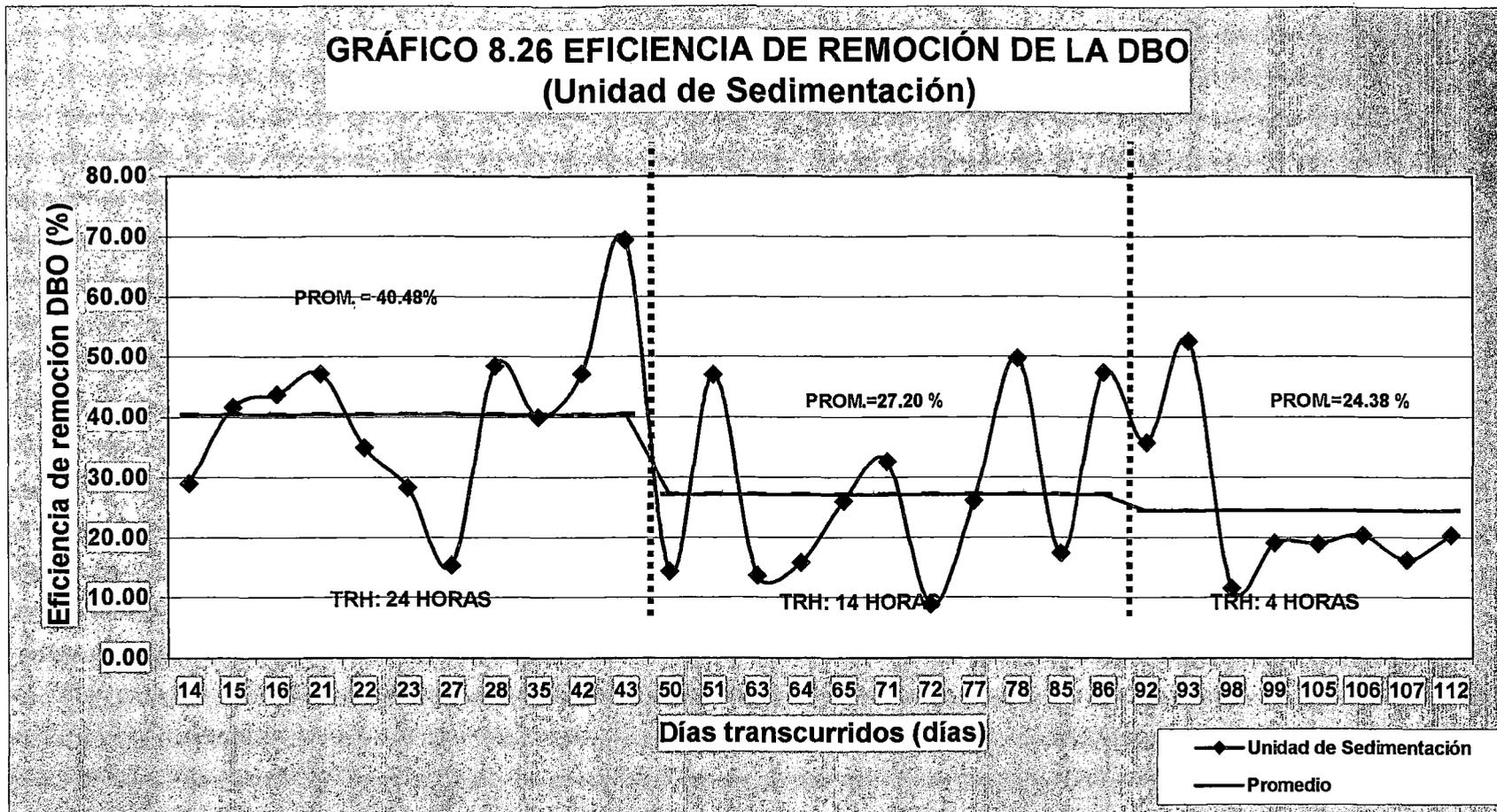
RESULTADOS DBO (TRH=14 horas)								
Fecha	Agua residual doméstica (mg/L)	Unidad de sedimentación (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)	Eficiencia (%)	Eficiencia del sistema total de tratamiento (%)
05/05/2010	132.60	113.40	14.48	80.40	29.10	16.50	79.48	87.56
06/05/2010	191.70	101.40	47.10	74.25	26.78	21.60	70.91	88.73
07/05/2010	211.50	182.40	13.76	85.50	53.13	22.20	74.04	89.50
13/05/2010	171.00	144.00	15.79	102.00	29.17	27.30	73.24	84.04
14/05/2010	190.50	141.00	25.98	99.00	29.79	28.65	71.06	84.96
19/05/2010	210.60	141.90	32.62	97.80	31.08	25.80	73.62	87.75
20/05/2010	259.80	236.70	8.89	121.20	48.80	39.00	67.82	84.99
27/05/2010	246.00	181.80	26.10	132.00	27.39	34.80	73.64	85.85
28/05/2010	222.30	111.60	49.80	62.40	44.09	24.00	61.54	89.20
03/06/2010	193.20	159.60	17.39	120.00	24.81	37.50	68.75	80.59
04/06/2010	187.80	99.00	47.28	73.80	25.45	28.80	60.98	84.66

Tabla 8.60 Valores de la DBO, TRH 4 h.

RESULTADOS DBO (TRH=4 horas)								
Fecha	Agua residual doméstica (mg/L)	Unidad de sedimentación (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)	Eficiencia (%)	Eficiencia del sistema total de tratamiento (%)
09/06/2010	262.50	168.60	35.77	96.60	42.70	43.80	54.66	83.31
10/06/2010	241.80	114.60	52.61	105.45	7.98	56.10	46.80	76.80
16/06/2010	220.50	195.00	11.56	155.00	20.51	62.20	59.87	71.79
17/06/2010	160.20	129.60	19.10	114.90	11.34	46.20	59.79	71.16
18/06/2010	237.30	192.30	18.96	139.20	27.61	39.75	71.44	83.25
23/06/2010	245.00	195.00	20.41	165.00	15.38	59.50	63.94	75.71
24/06/2010	268.60	225.00	16.23	180.50	19.78	66.50	63.16	75.24
25/06/2010	249.30	198.40	20.42	155.20	21.77	68.00	56.19	72.72

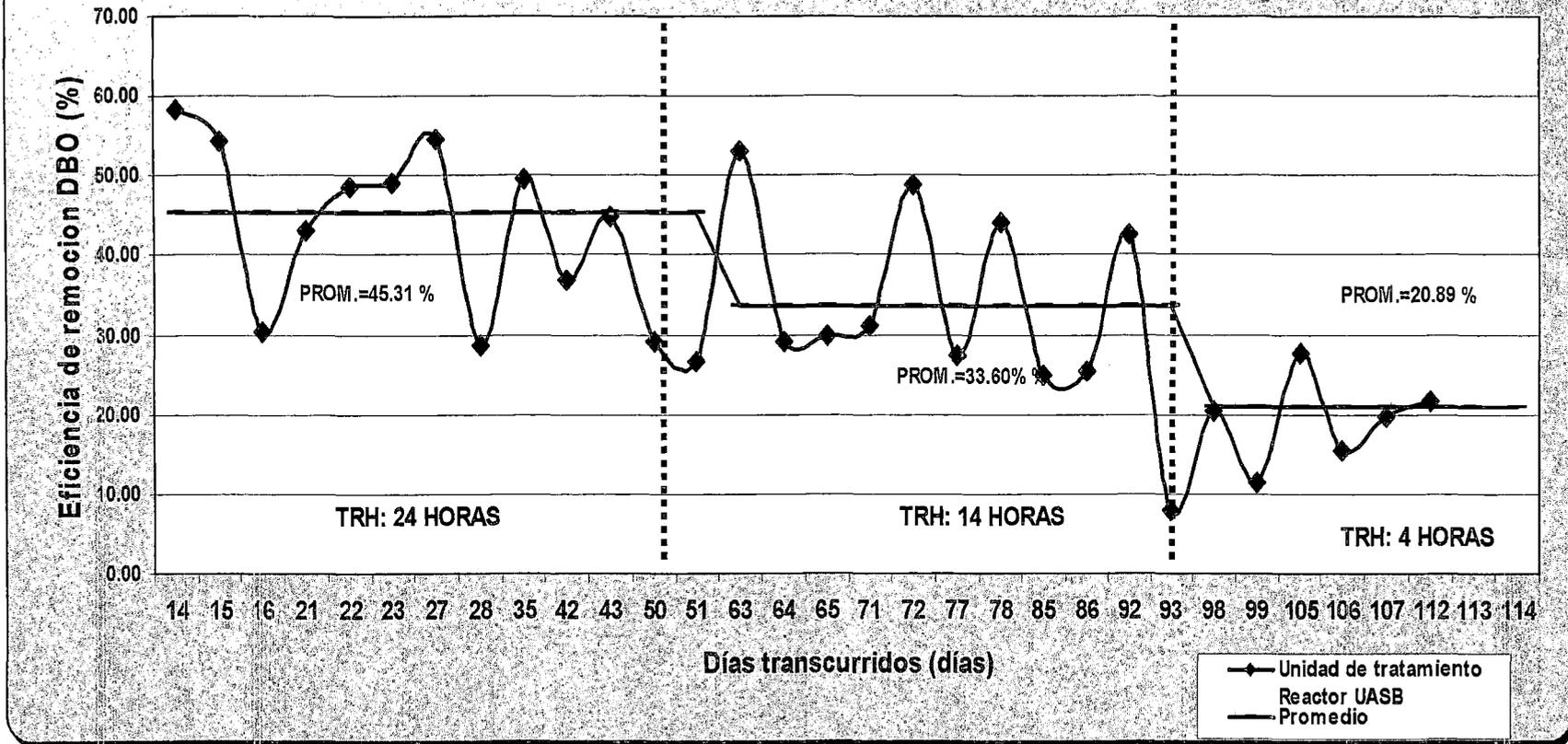
Tabla 8.61 Valores promedio de la DBO

TRH: 24 HORAS			
DESCRIPCION	EFICIENCIA DE REMOCION (%)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
Agua Residual doméstica	69.44	15.38	40.48
U. Sedimentación	58.33	28.73	45.31
U. Tratamiento Reactor UASB	87.10	40.00	68.38
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	97.31	82.24	89.73
TRH: 14 HORAS			
DESCRIPCION	EFICIENCIA DE REMOCION (%)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
Agua Residual doméstica	49.80	8.89	27.20
U. Sedimentación	53.13	24.81	33.60
U. Tratamiento Reactor UASB	79.48	60.98	70.46
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	89.50	80.59	86.17
TRH: 4 HORAS			
DESCRIPCION	EFICIENCIA DE REMOCION (%)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
Agua Residual doméstica	52.61	11.56	24.38
U. Sedimentación	42.70	7.98	20.89
U. Tratamiento Reactor UASB	71.44	46.80	59.48
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	83.31	71.16	76.25

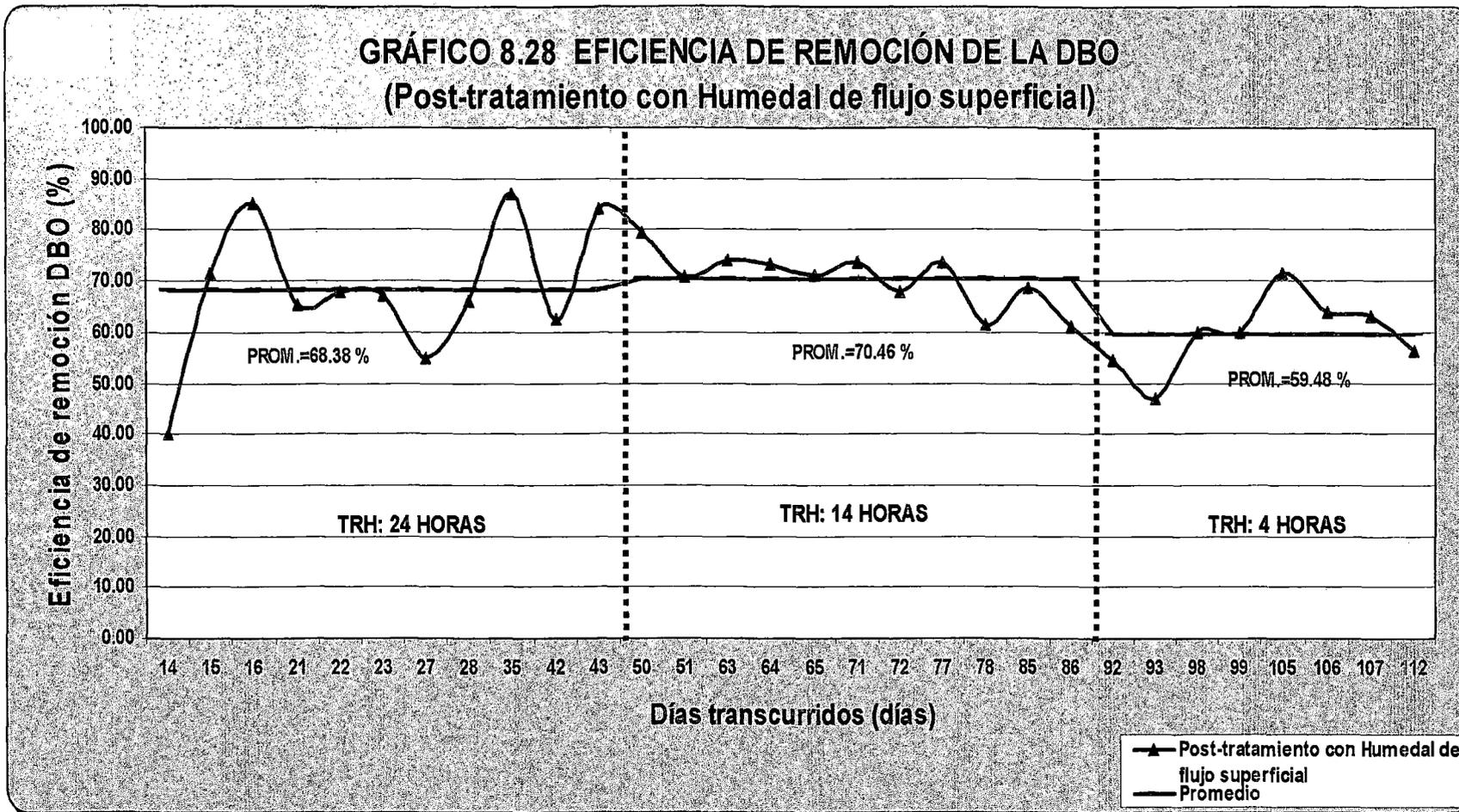


En el gráfico 8.26 para la unidad de sedimentación la remoción promedio de la DBO para un TRH 24 h es 40.48%, TRH 14 h es 27.20% y TRH 4 h es 24.38%.

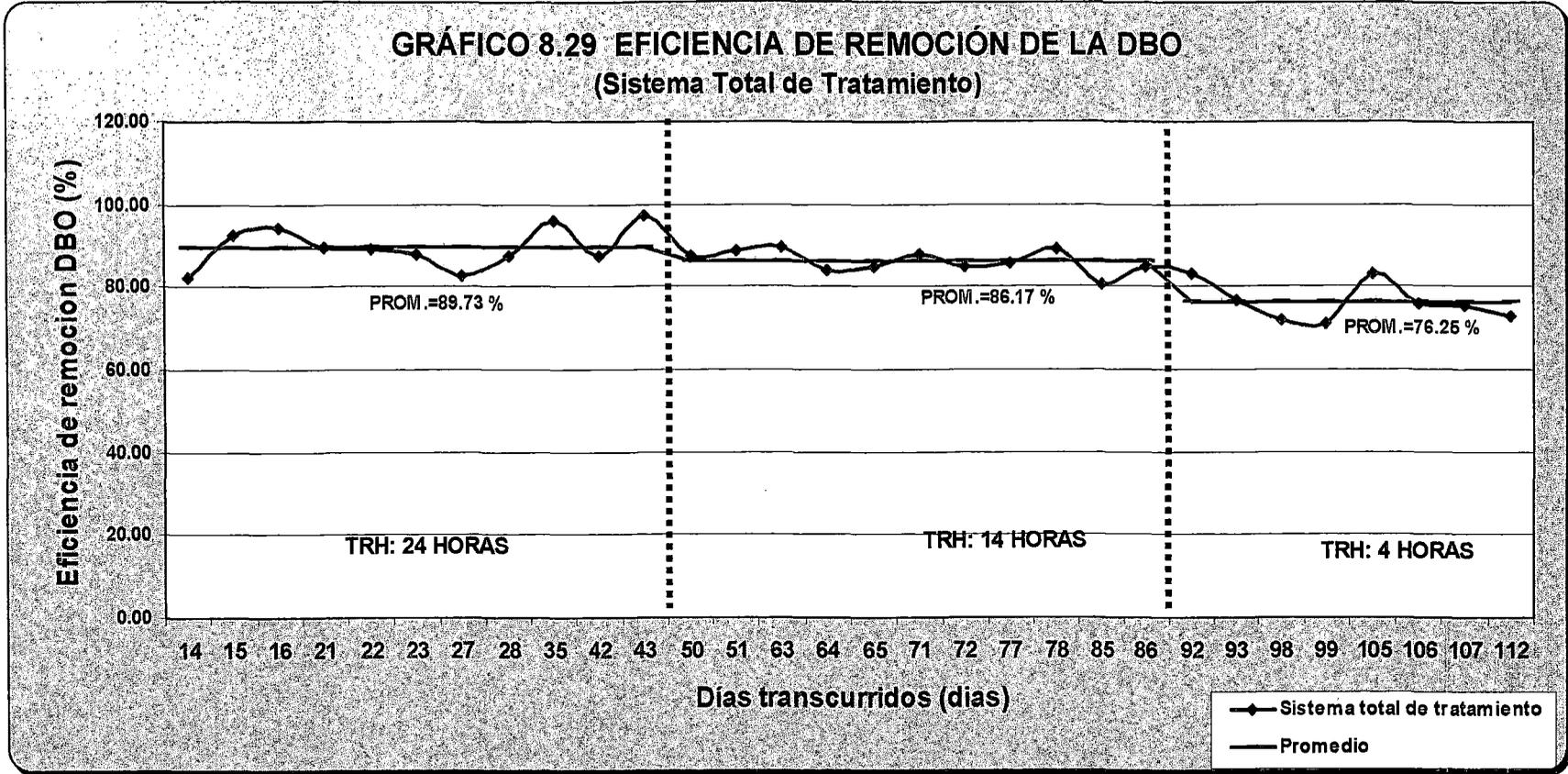
GRÁFICO 8.27 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO (Unidad de tratamiento Reactor UASB)



En el gráfico 8.27 para el Reactor UASB la remoción promedio de la DBO para un TRH 24 h es 45.31%, TRH 14 h es 33.60% y TRH 4 h es 20.89%.

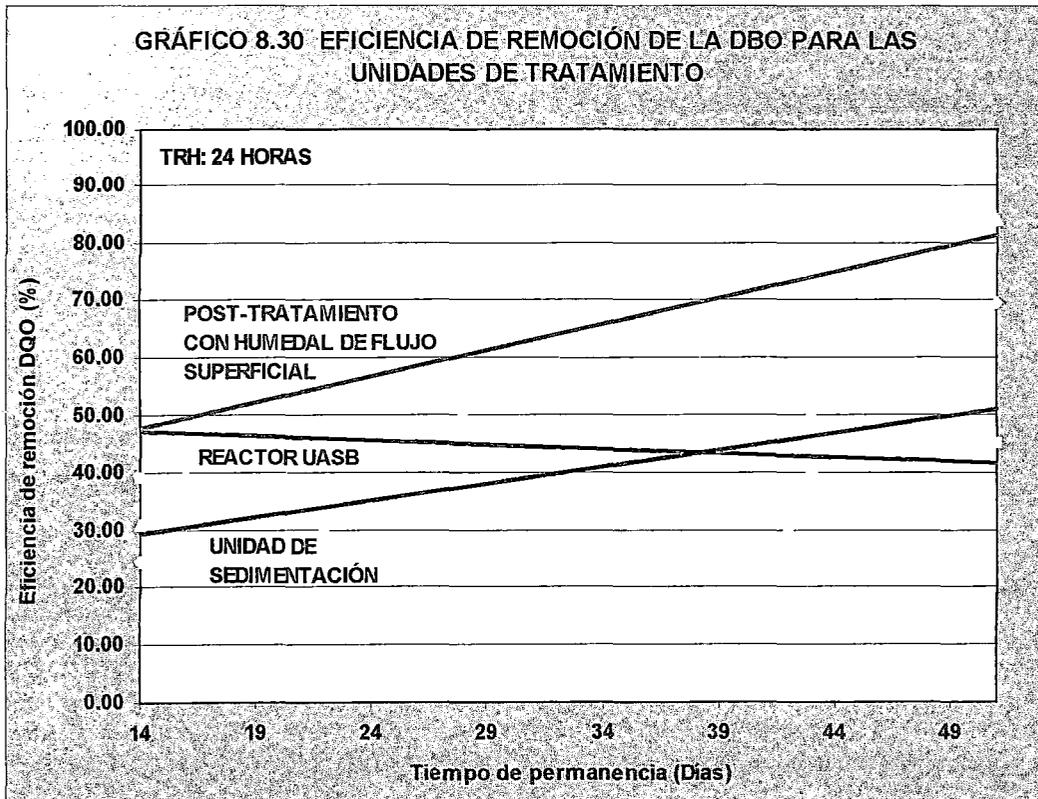


En el gráfico 8.28 para la Unidad de Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial la remoción promedio de la DBO para un TRH 24 h es 63.38%, TRH 14 h es 70.46% y TRH 4 h es 59.48%.

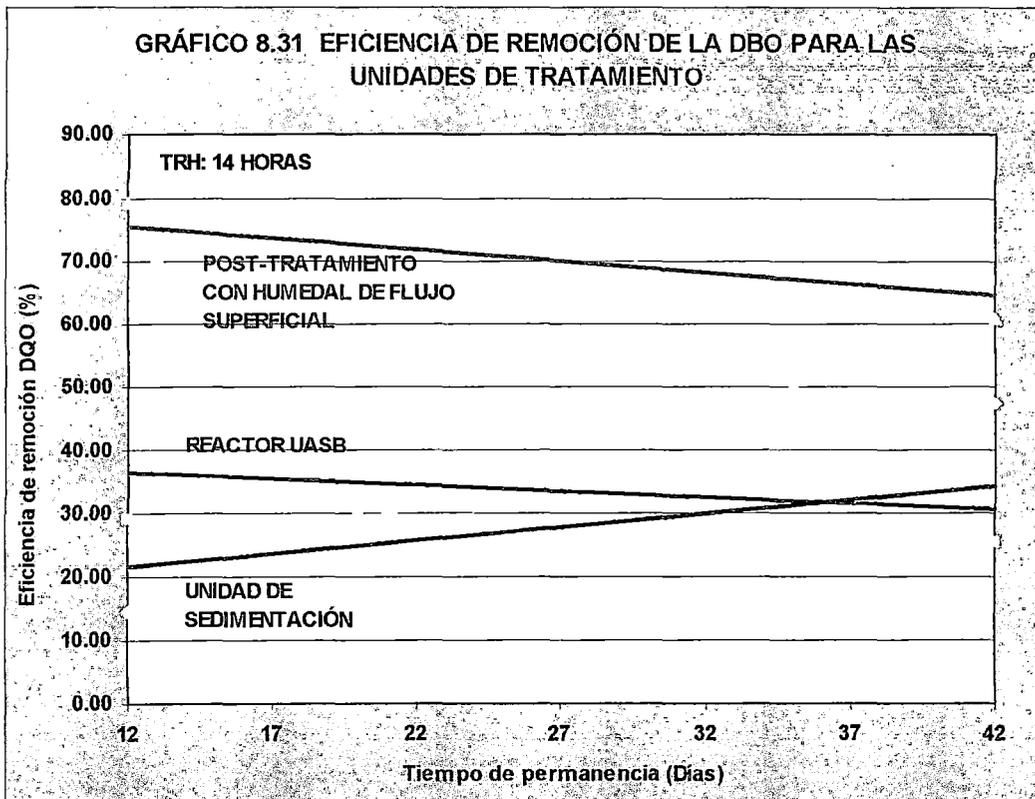


En el gráfico 8.29 para el sistema de tratamiento total la remoción promedio de la DBO para un TRH 24 h es 89.73%, TRH 14 h es 86.17% y TRH 4 h es 76.25%.

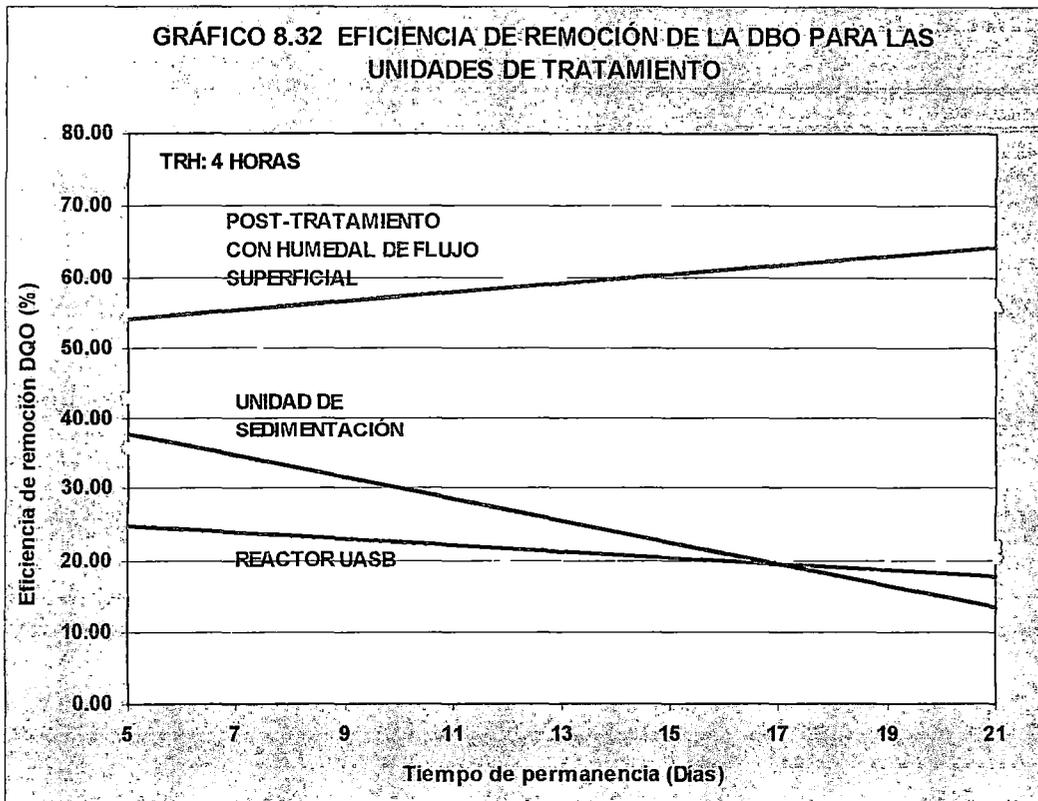
Considerando los tiempos de retención hidráulica de 24h, 14h y 4h para las unidades de tratamiento (Sedimentación, Reactor UASB, Humedal con flujo superficial) se obtiene una comparación de eficiencias de la DBO en función del tiempo de permanencia según los gráficos 8.30, 8.31, 8.32 respectivamente.



Del Grafico 8.30 podemos observar la comparación de las eficiencias de la DBO en función al tiempo de permanencia, lo que indica que la eficiencia aumenta conforme transcurren los días para las unidades de Sedimentación y Post-tratamiento, pero para el Reactor UASB disminuye la eficiencia cuando transcurren los días.



Del Grafico 8.31 podemos observar la comparación de las eficiencias de la DBO en función al tiempo de permanencia, lo que indica que la eficiencia aumenta conforme transcurren los días para la unidad de Sedimentación, pero para el Reactor UASB y Post-tratamiento disminuye la eficiencia cuando transcurren los días.



Del Grafico 8.32 podemos observar la comparación de las eficiencias de la DBO en función al tiempo de permanencia, lo que indica que la eficiencia aumenta conforme transcurren los días para la unidad de Post-tratamiento, pero para las unidades de Sedimentación y Reactor UASB disminuye la eficiencia cuando transcurren los días.

8.2.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

DQO cantidad de oxígeno (medido en mg/l) que es consumido en la oxidación de materia orgánica y materia inorgánica oxidable, bajo condiciones de prueba. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. En contraposición al DBO, con el DQO prácticamente todos los compuestos son oxidados. Este estudio es de mucha importancia en estudios de corrientes de agua y aguas residuales domesticas, industriales, también en control de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Para nuestra investigación esta prueba se realizo cada semana como indica las fechas establecidas en las tablas 5.62, 5.63, 5.64

Tabla 8.62 Valores de la DQO, TRH 24 h.

RESULTADOS DQO (TRH=24 horas)								
Fecha	Agua residual doméstica (mg/L)	Unidad de sedimentación (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de Pos-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)	Eficiencia (%)	Eficiencia del sistema total de tratamiento (%)
24/03/2010	468.00	277.00	40.81	107.00	61.37	35.00	67.29	92.52
26/03/2010	358.00	188.00	47.49	143.00	23.94	48.00	66.43	86.59
31/03/2010	352.00	150.00	57.39	98.00	34.67	26.00	73.47	92.61
15/04/2010	317.00	109.00	65.62	70.00	35.78	45.00	35.71	85.80
23/04/2010	325.00	145.00	55.38	68.50	52.76	35.00	48.91	89.23

Tabla 8.63 Valores de la DQO, TRH 14 h.

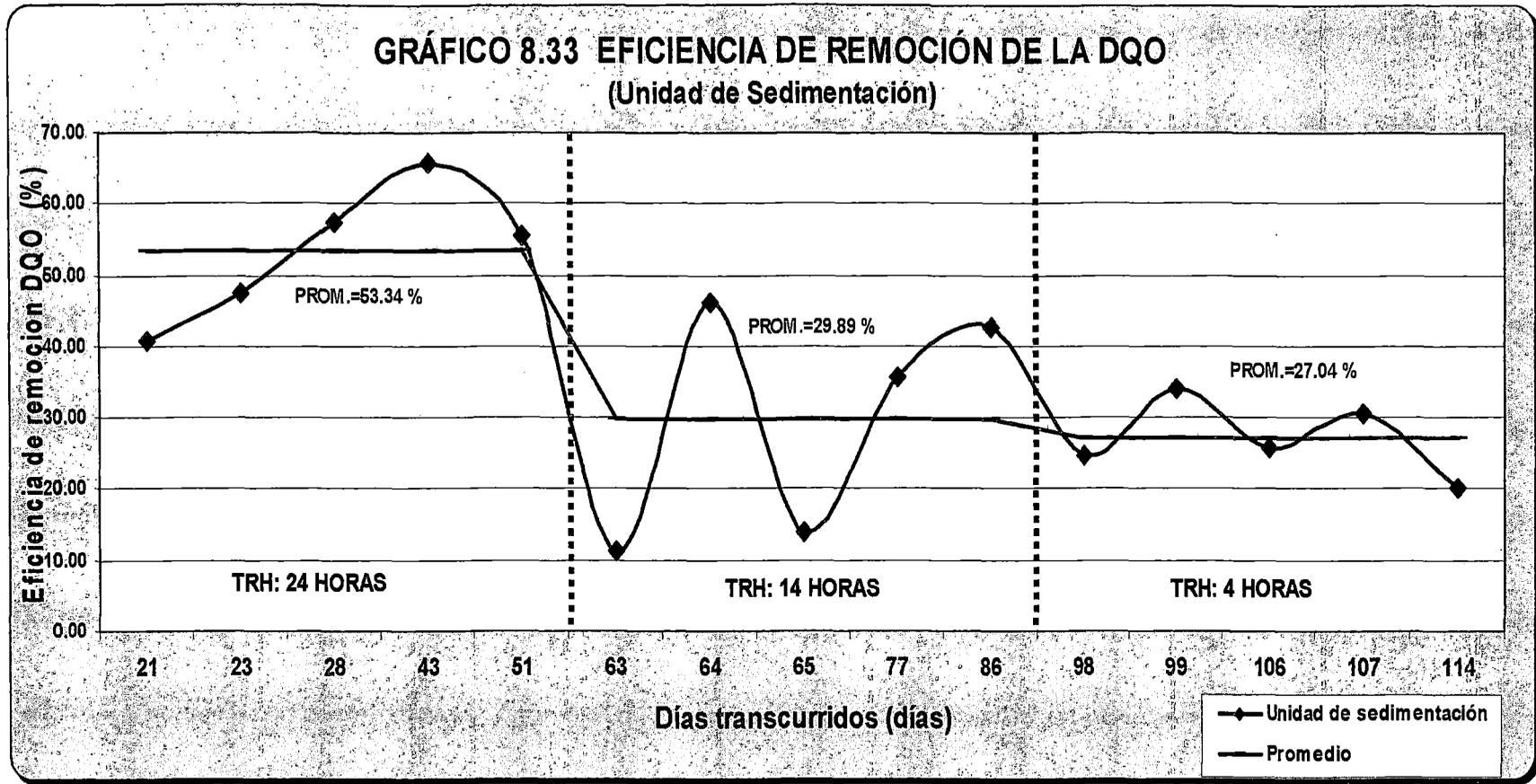
RESULTADOS DQO (TRH=14 horas)								
Fecha	Agua residual doméstica (mg/L)	Unidad de sedimentación (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)	Eficiencia (%)	Eficiencia del sistema total de tratamiento (%)
05/05/2010	247.00	219.00	11.34	132.00	39.73	72.00	45.45	70.85
06/05/2010	650.00	350.00	46.15	237.00	32.29	116.00	51.05	82.15
07/05/2010	491.00	423.00	13.85	253.00	40.19	120.00	52.57	75.56
19/05/2010	489.00	315.00	35.58	195.00	38.10	105.00	46.15	78.53
28/05/2010	463.00	266.00	42.55	175.00	34.21	80.00	54.29	82.72

Tabla 8.64 Valores de la DQO, TRH 4 h.

RESULTADOS DQO (TRH=4 horas)								
Fecha	Agua residual doméstica (mg/L)	Unidad de sedimentación (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de tratamiento Reactor UASB (mg/L)	Eficiencia (%)	Unidad de Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial (mg/L)	Eficiencia (%)	Eficiencia del sistema total de tratamiento (%)
09/06/2010	405.00	305.00	24.69	245.00	19.67	125.00	48.98	69.14
10/06/2010	425.00	280.00	34.12	220.00	21.43	101.00	54.09	76.24
17/06/2010	303.00	225.00	25.74	207.00	8.00	95.00	54.11	68.65
18/06/2010	486.00	337.00	30.66	208.00	38.28	101.00	51.44	79.22
25/06/2010	350.00	280.00	20.00	220.00	21.43	112.00	49.09	68.00

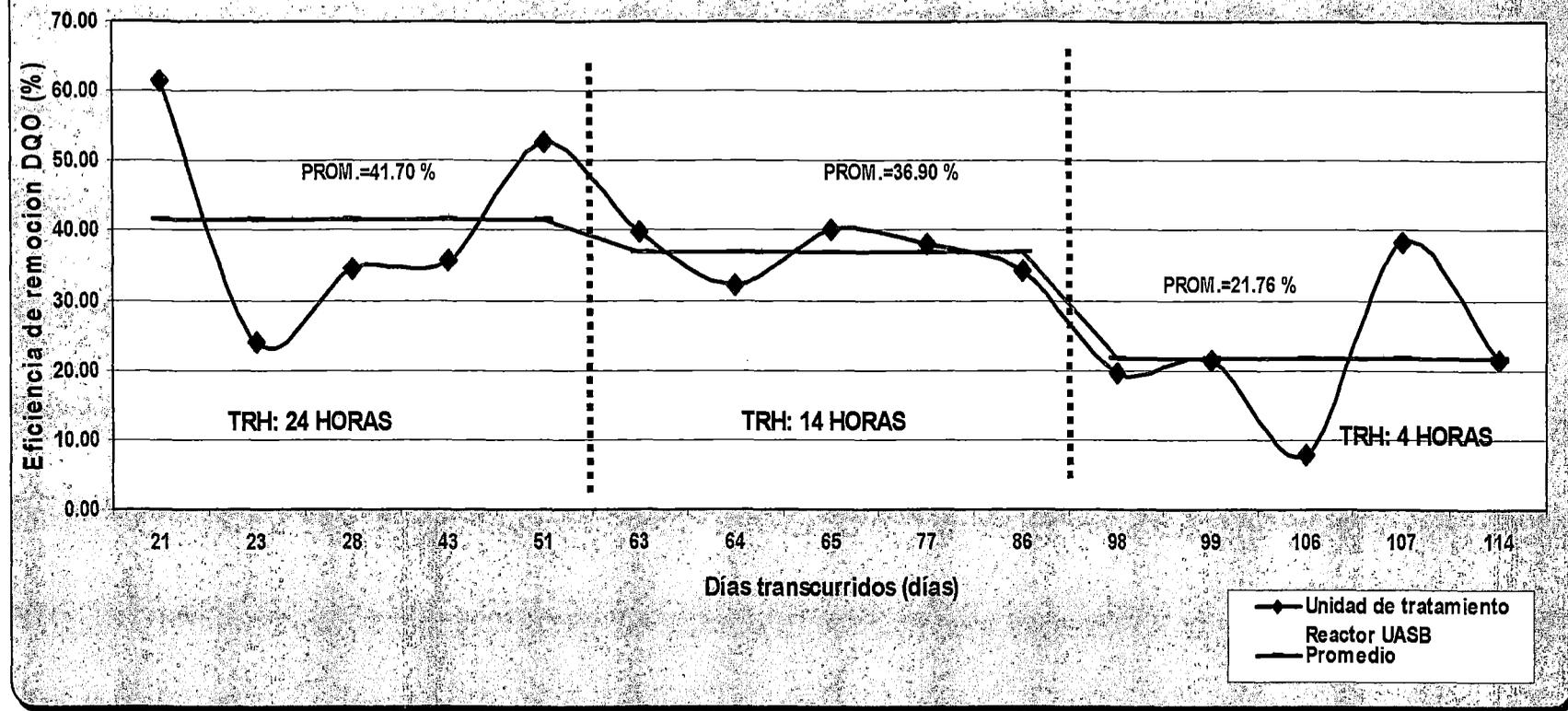
Tabla 8.65 Valores promedio de la DQO

TRH: 24 HORAS			
DESCRIPCION	EFICIENCIA DE REMOCION (%)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
Agua Residual doméstica	65.62	40.81	53.34
U. Sedimentación	61.37	23.94	41.70
U. Tratamiento Reactor UASB	73.47	35.71	58.36
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	92.61	85.80	89.35
TRH: 14 HORAS			
DESCRIPCION	EFICIENCIA DE REMOCION (%)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
Agua Residual doméstica	46.15	11.34	29.89
U. Sedimentación	40.19	32.29	36.90
U. Tratamiento Reactor UASB	54.29	45.45	49.90
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	82.72	70.85	77.96
TRH: 4 HORAS			
DESCRIPCION	EFICIENCIA DE REMOCION (%)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
Agua Residual doméstica	34.12	20.00	27.04
U. Sedimentación	38.28	8.00	21.76
U. Tratamiento Reactor UASB	54.11	48.98	51.54
U. Pos-tratamiento-Humedal flujo superficial	79.22	68.00	72.25

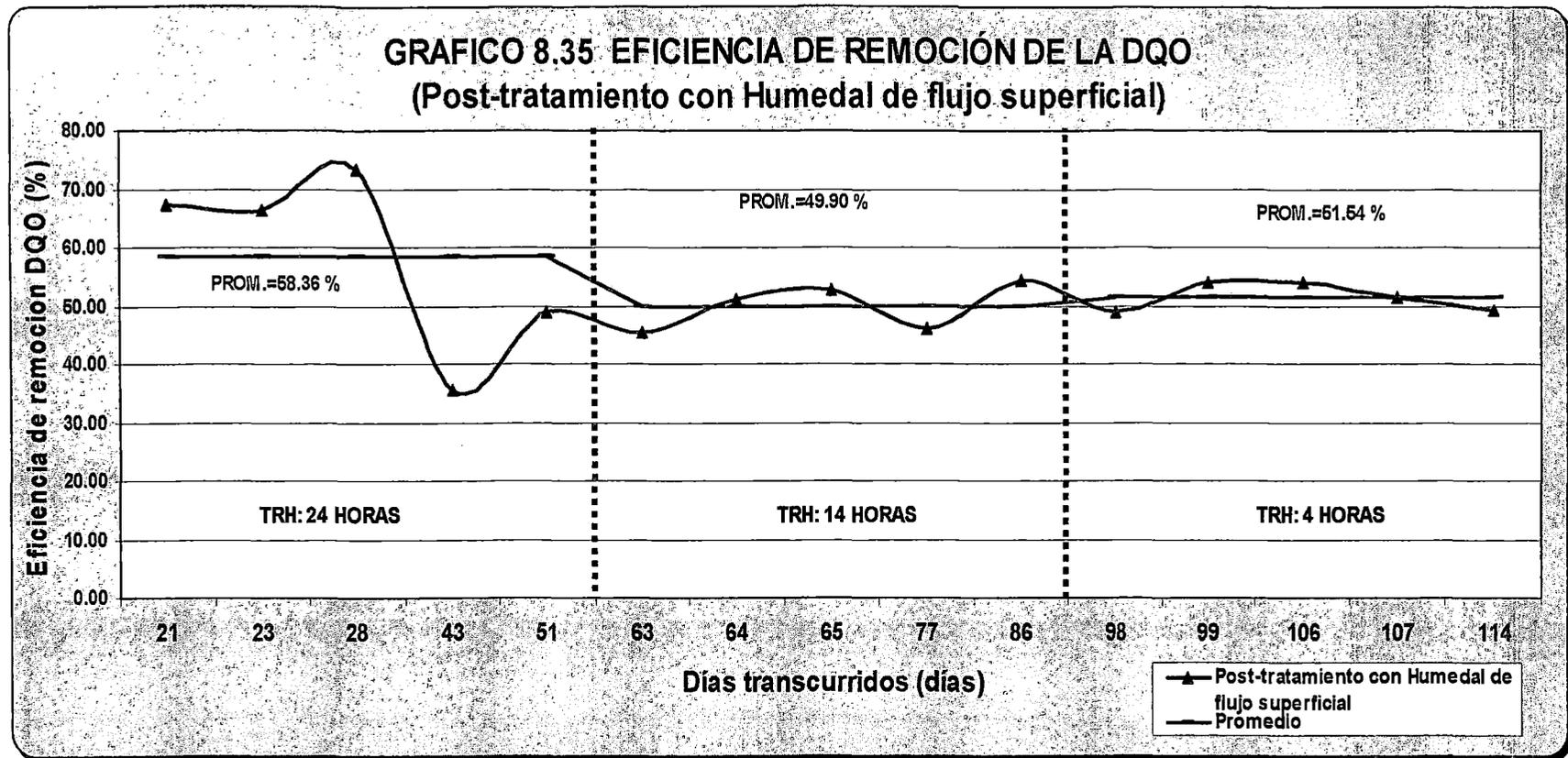


En el gráfico 8.33 se puede notar que para la unidad de sedimentación la remoción de la materia orgánica fue para un TRH (24 h.) es 53.34%, para un TRH (14 h.) es 29.89% y para un TRH (4 h.) fue de 27.04%.

GRÁFICO 8.34 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DQO (Unidad de tratamiento Reactor UASB)

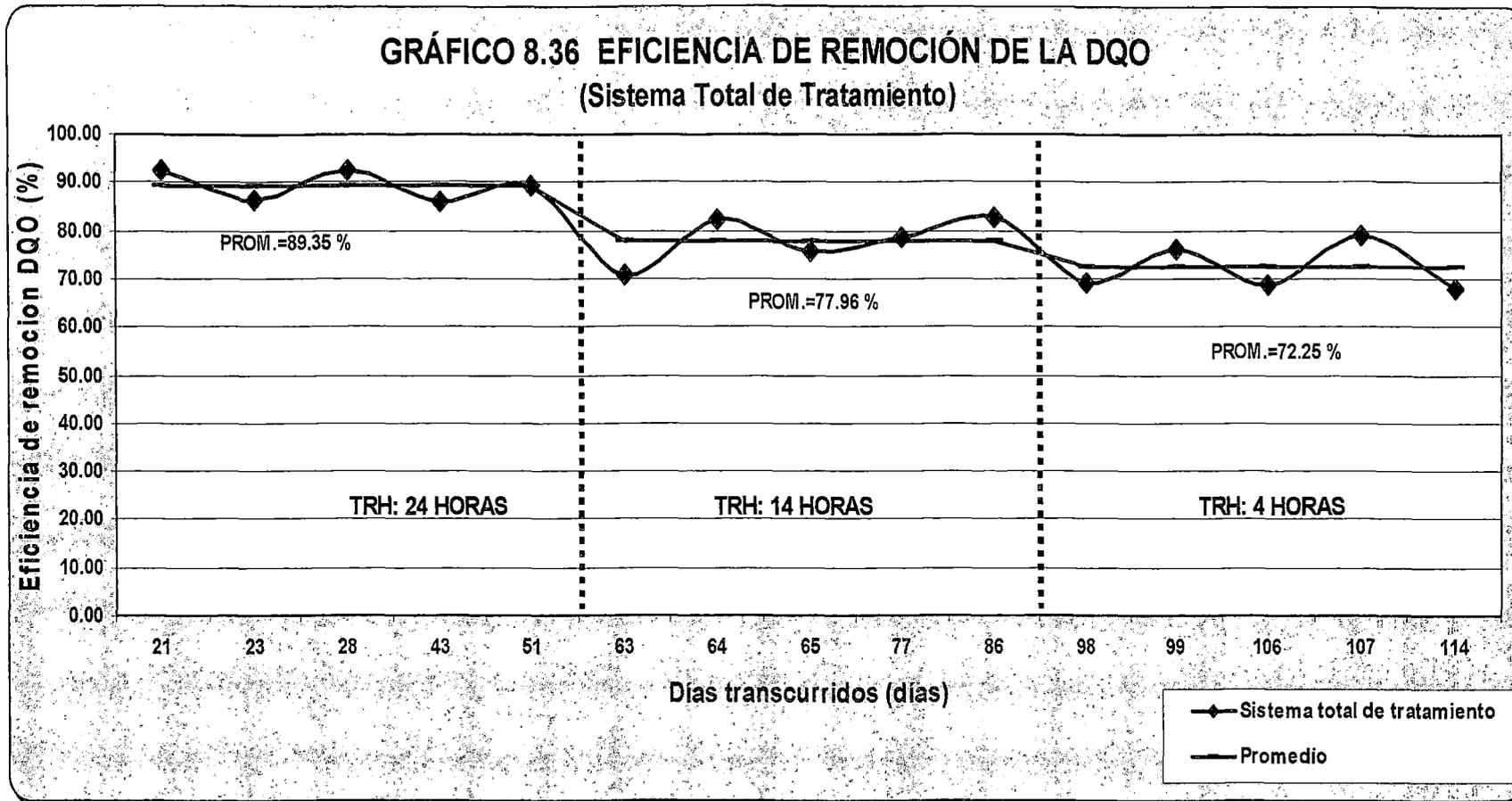


En el gráfico 8.34 para la Unidad de tratamiento Reactor UASB, la remoción promedio de materia orgánica para un TRH (24 h.) es 41.70%, TRH 14 h es 36.90% y TRH 4 h es 21.76%.



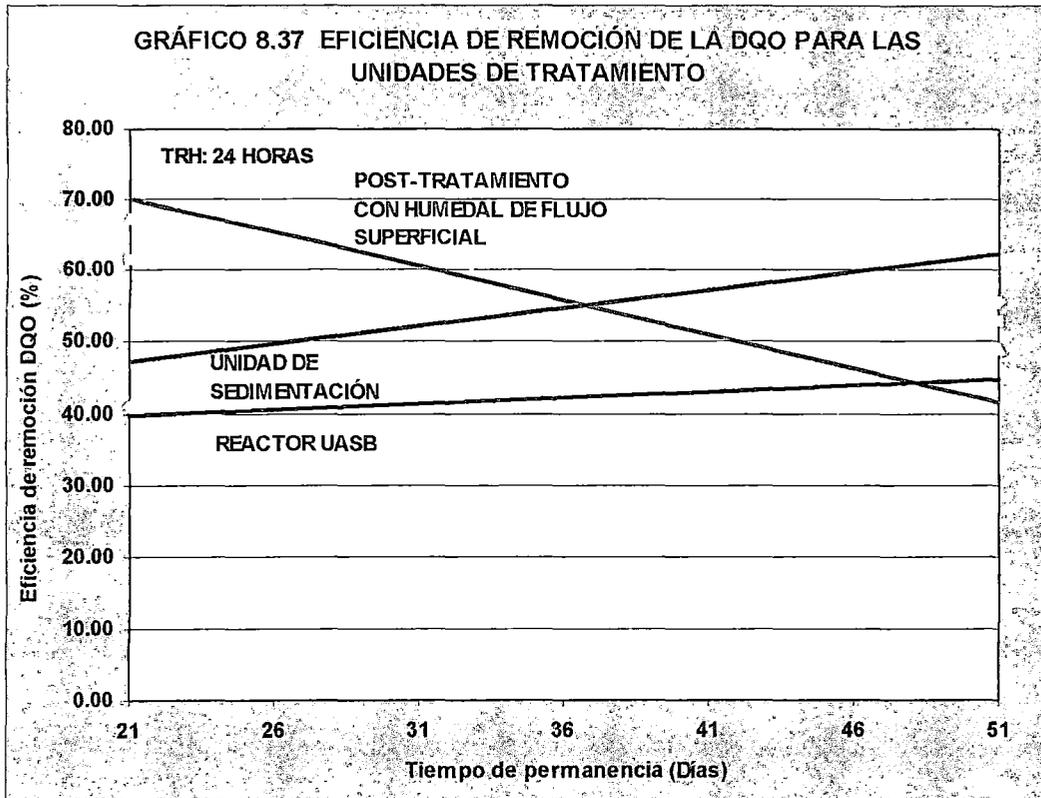
En el gráfico 8.35 para la Unidad de Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial, la remoción promedio de materia orgánica para un TRH 24 h es 58.36%, TRH 14 h es 49.90% y TRH (4 h.) es 51.54%.

Se comprueba con los valores de la DQO que la materia orgánica esta siendo removida en las tres unidades, es decir hay una remoción de los contaminantes que son oxidados en las unidades de tratamiento.

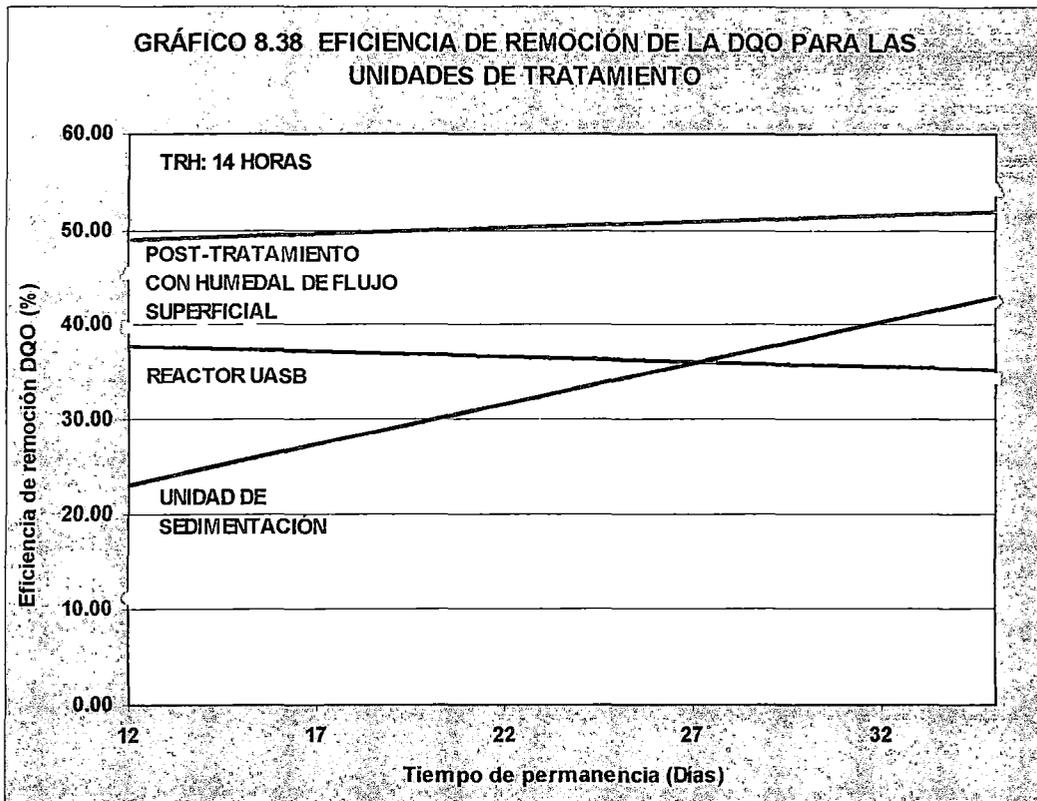


En el gráfico 8.36 para el sistema total de tratamiento la remoción promedio de materia orgánica para un TRH 24 h es 89.35%, TRH 14 h es 77.96% y TRH 4 h es 72.25%.

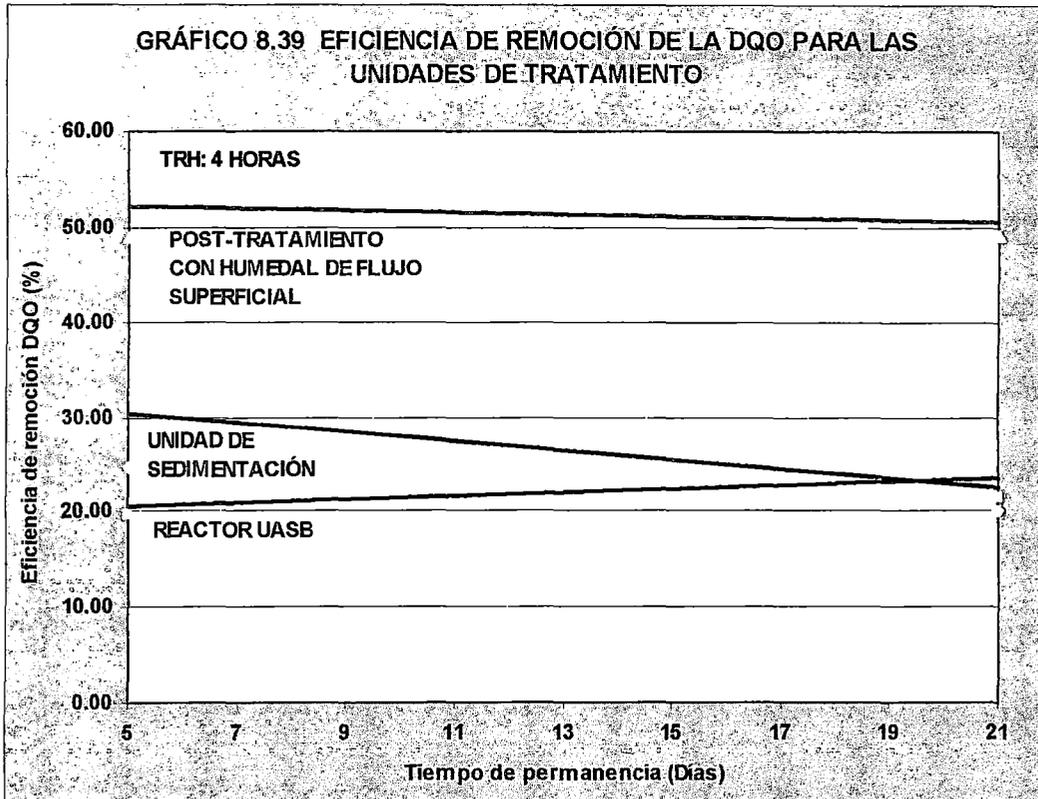
Considerando los tiempos de retención hidráulica de 24h, 14h y 4h para las unidades de tratamiento (Sedimentación, Reactor UASB, Humedal con flujo superficial) se obtiene una comparación de eficiencias de la DQO en función del tiempo de permanencia según los gráficos 8.37, 8.38, 8.39 respectivamente.



Del Grafico 8.37 podemos observar la comparación de las eficiencias de la DQO en función al tiempo de permanencia, lo que indica que la eficiencia aumenta conforme transcurren los días para la unidades de Sedimentación y Reactor UASB, pero para la unidad de Post-tratamiento disminuye la eficiencia cuando transcurren los días.



Del Grafico 8.38 podemos observar la comparación de las eficiencias de la DQO en función al tiempo de permanencia, lo que indica que la eficiencia aumenta conforme transcurren los días para la unidades de Sedimentación y Post-tratamiento, pero para el Reactor UASB disminuye la eficiencia cuando transcurren los días



Del Gráfico 8.39 podemos observar la comparación de las eficiencias de la DQO en función al tiempo de permanencia, lo que indica que la eficiencia aumenta conforme transcurren los días para la unidad del Reactor UASB, pero para la unidades de Sedimentación y Post-tratamiento disminuye la eficiencia cuando transcurren los días.

8.2.3 PRODUCCION DE BIOGÁS

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita.

TABLA 8.66: VALORES DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL REACTOR UASB (TRH: 24 H.)

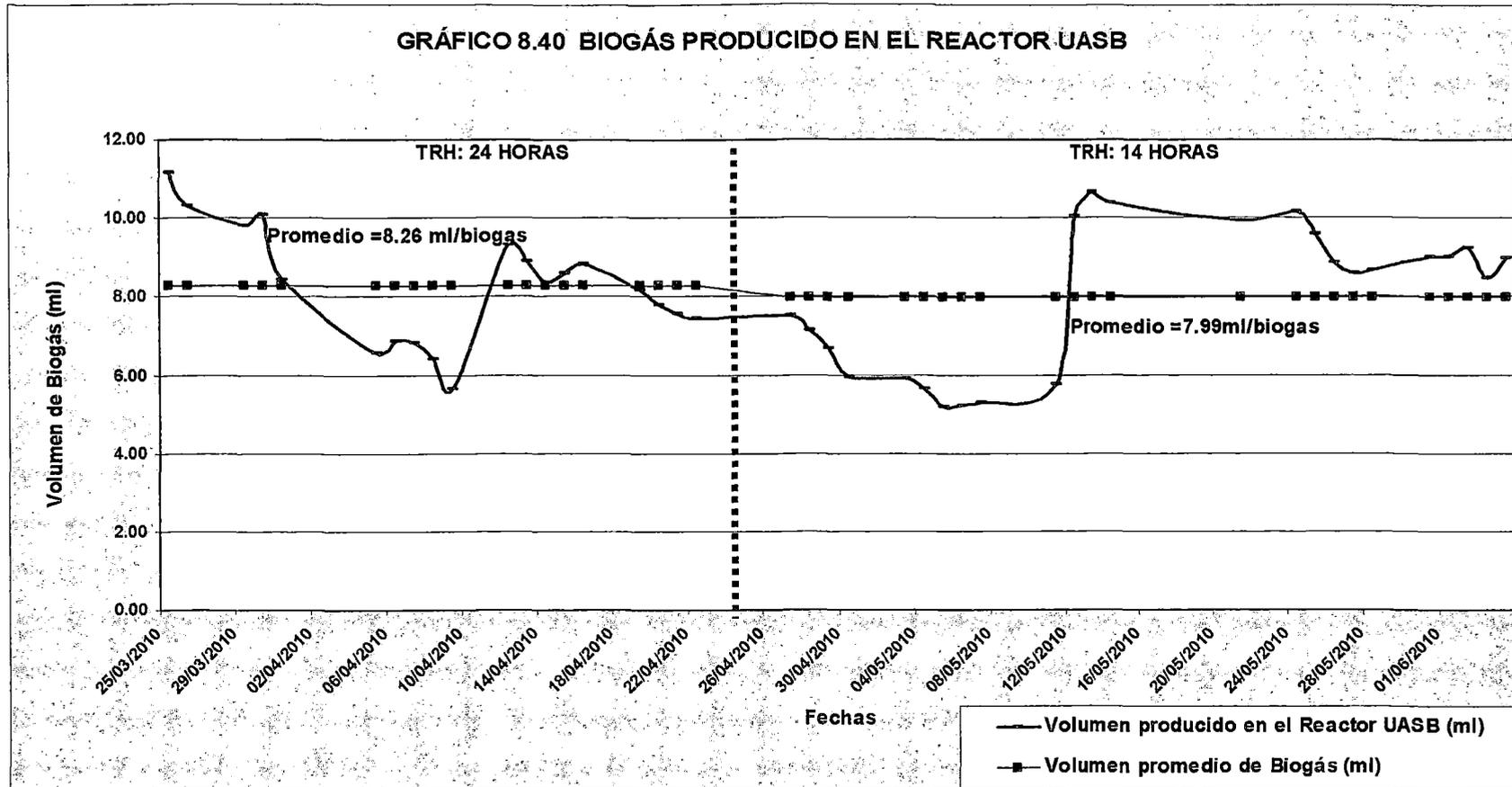
Fecha	Volumen (ml)	Tiempo (seg.)	Caudal (m ³ /día)
25/03/2010	27.75	2.49	0.96
26/03/2010	19.67	1.91	0.89
29/03/2010	18.13	1.85	0.85
30/03/2010	18.00	1.79	0.87
31/03/2010	13.90	1.65	0.73
05/04/2010	11.58	1.76	0.57
06/04/2010	11.75	1.71	0.59
07/04/2010	11.50	1.69	0.59
08/04/2010	11.02	1.72	0.55
09/04/2010	9.45	1.67	0.49
12/04/2010	16.80	1.80	0.81
13/04/2010	14.75	1.66	0.77
14/04/2010	14.50	1.74	0.72
15/04/2010	12.50	1.45	0.74
16/04/2010	12.90	1.46	0.76
19/04/2010	11.50	1.41	0.71
20/04/2010	10.50	1.35	0.67
21/04/2010	11.33	1.50	0.65
22/04/2010	10.50	1.41	0.64

TABLA 8.67: VALORES DE LA PRODUCCION DE BIOGÁS EN EL REACTOR UASB (TRH: 14 H.)

Fecha	Volumen (ml)	Tiempo (seg.)	Caudal (m3/día)
27/04/2010	10.17	1.35	0.65
28/04/2010	9.42	1.32	0.61
29/04/2010	8.72	1.31	0.58
30/04/2010	7.67	1.29	0.51
03/05/2010	7.25	1.23	0.51
04/05/2010	7.00	1.24	0.49
05/05/2010	6.83	1.32	0.45
06/05/2010	7.00	1.34	0.45
07/05/2010	7.17	1.36	0.46
11/05/2010	7.17	1.25	0.50
12/05/2010	14.33	1.43	0.87
13/05/2010	13.33	1.25	0.92
14/05/2010	13.67	1.32	0.90
21/05/2010	12.58	1.27	0.86
24/05/2010	13.33	1.31	0.88
25/05/2010	11.67	1.22	0.83
26/05/2010	11.83	1.33	0.77
27/05/2010	10.50	1.23	0.74
28/05/2010	11.00	1.27	0.75
31/05/2010	11.00	1.22	0.78
01/06/2010	11.33	1.26	0.78
02/06/2010	11.17	1.21	0.80
03/06/2010	10.50	1.24	0.73
04/06/2010	11.17	1.25	0.77

TABLA 8.68: VALORES PROMEDIO DE LA PRODUCCION DE BIOGÁS EN EL REACTOR UASB (TRH: 24 h y 14 h)

TRH: 24 H.			
DESCRIPCION	VOLUMEN BIOGÁS (mL)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
REACTOR UASB	11.14	5.65	8.26
TRH: 14 H.			
DESCRIPCION	VOLUMEN BIOGÁS (mL)		
	MAXIMO	MINIMO	PROMEDIO
REACTOR UASB	10.67	5.18	7.99



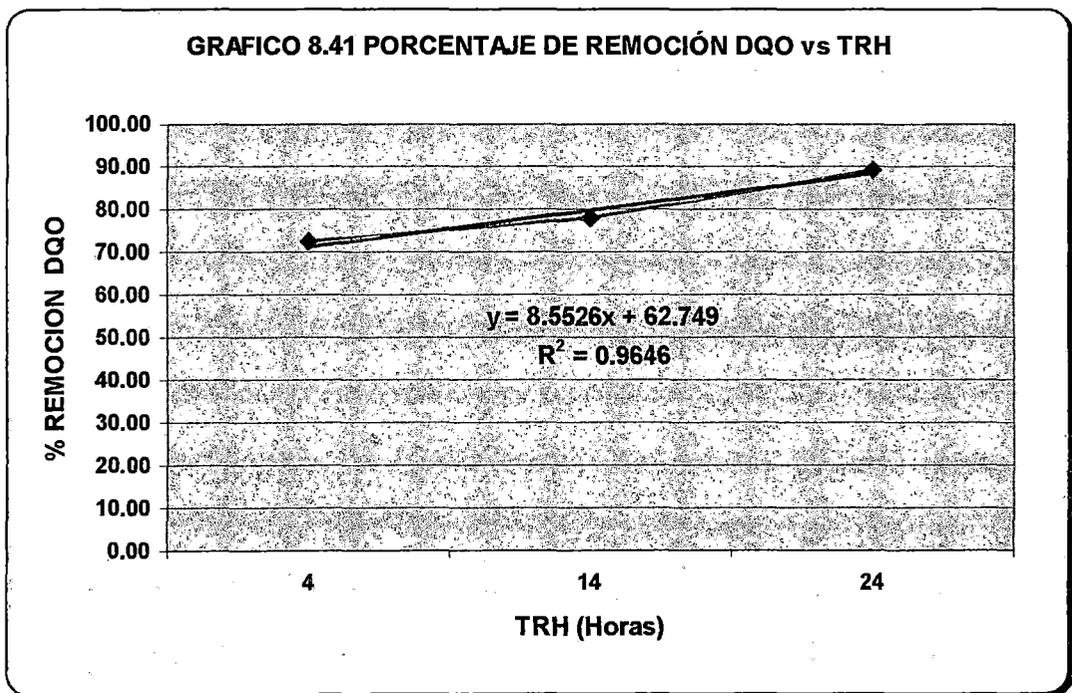
En el gráfico 8.40 la producción de Biogás es directamente proporcional al TRH, para un TRH de 24 h. la producción de Biogás es 8.26mL/Biogás en promedio y para un TRH de 14 h. la producción de Biogás es de 7.99mL/Biogás en promedio, cabe indicar que no se obtuvo buenos resultados para el TRH de 4 h. por lo que no se adjunto dichos datos para el análisis.

8.2.4 CORRELACIÓN LINEAL DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LA DQO VERSUS EL TRH.

Consideraremos una relación lineal entre el porcentaje de remoción de la DQO en el sistema total de tratamiento y el TRH con los datos de la tabla 8.69.

TABLA 8.69: VALORES PROMEDIO DE EFICIENCIA DE LA DQO EN EL SISTEMA TOTAL DE TRATAMIENTO

TRH (horas)	DQO (%)
4	72.25
14	77.96
24	89.35



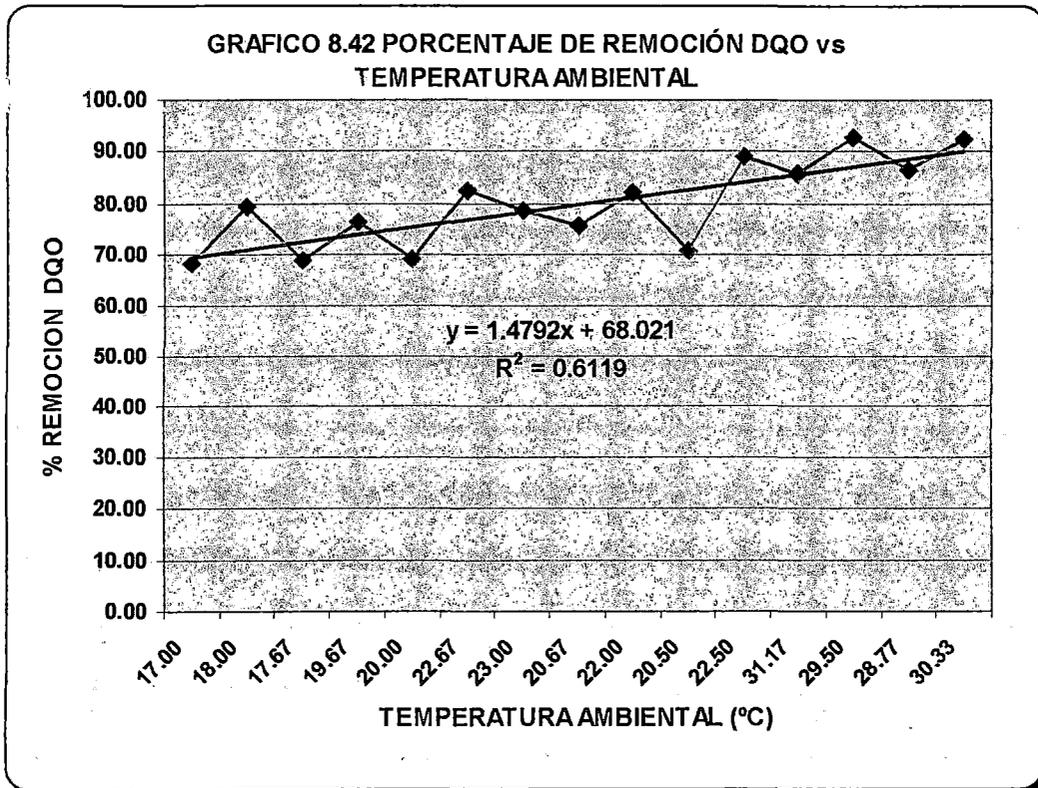
Del gráfico 8.41 podemos observar que a mayor TRH aumenta el porcentaje de eficiencia de la DQO en el sistema total de tratamiento, lo que podemos decir que son directamente proporcionales y cuya ecuación lineal es: $y=8.5526x + 62.749$

8.2.5 CORRELACIÓN LINEAL DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LA DQO VERSUS LA TEMPERATURA AMBIENTAL.

Realizaremos una relación lineal entre el porcentaje de remoción de la DQO en el sistema total de tratamiento y la Temperatura Ambiental con los datos de la tabla 8.70.

TABLA 8.70: VALORES PROMEDIO DE EFICIENCIA DE LA DQO EN EL SISTEMA TOTAL DE TRATAMIENTO Y DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL

FECHA	DQO (%)	TEMPERATURA AMBIENTAL (°C)
25/06/2010	68.00	17.00
18/06/2010	79.22	18.00
17/06/2010	68.65	17.67
10/06/2010	76.24	19.67
09/06/2010	69.14	20.00
28/05/2010	82.72	22.67
19/05/2010	78.53	23.00
07/05/2010	75.56	20.67
06/05/2010	82.15	22.00
05/05/2010	70.85	20.50
23/04/2010	89.23	22.50
15/04/2010	85.80	31.17
31/03/2010	92.61	29.50
26/03/2010	86.59	28.77
24/03/2010	92.52	30.33



Del grafico 8.42 podemos observar que a mayor temperatura ambiental aumenta el porcentaje de eficiencia de la DQO en el sistema total de tratamiento, lo que podemos decir que son directamente proporcionales y cuya ecuación lineal es: $y=1.4792x + 68.021$.

CONCLUSIONES

1. Uno de los parámetros mas importantes a tener en cuenta es el caudal de operación la cual depende del TRH, revisando investigaciones y con la sugerencia de algunos profesores se determino que los TRH para el Reactor UASB de nuestra investigación serian de 24, 14 y 4 h. por lo que nuestro caudal de operación fue de 0.58mL/s, 0.99mL/s y 3.45mL/s respectivamente (que viene hacer 50.11 L/día, 85.54 L/día, 298.08 L/día respectivamente), la regulación de dicho caudal se realizo manualmente 3 veces al día durante todo el periodo de la investigaciones, la cual se obtenía en función del tiempo y por el método del aforo volumétrico.
2. La unidad de sedimentación tiene un volumen de 200 L, el Reactor UASB un volumen efectivo de 44 L y la unidad de tratamiento con plantas jacinto de agua un volumen de 90 L, durante el arranque del Reactor UASB el TRH fue de 24 h. con un caudal de operación de 0.568mL/s consiguiendo valores de remoción después de haber arrancado el sistema para la DQO de 60% y para la DBO de 58%.
3. La carga hidráulica en el Reactor UASB para los TRH de 24, 14 y 4 h. fue de 1000 L/m².día, 1714.29 L/m².día y 6000 L/m².día respectivamente.
3. La velocidad ascensional en el Reactor UASB para los TRH de 24, 14 y 4 h. fue de 4.17cm/h, 7.14cm/h y 25cm/h respectivamente.
4. A lo largo de nuestra investigación uno de los factores que influyen mayormente en la degradación de la materia orgánica es la temperatura. Para nuestra investigación la temperatura más eficiente varia entre los 18 °C hasta los 28 °C, un rango optimo mesofilico si tomamos en cuenta los datos de otros investigadores.

5. En cuanto al pH, la variación para los TRH fue de 6.89 a 8.06. No se presentó cambio considerable, por el contrario se mantuvo dentro del rango óptimo lo cual garantizaba el buen desarrollo de los microorganismos.
6. Se confirma con los datos obtenidos que el proceso en el Reactor UASB es anaerobio, ya que el OD de la unidad se mantuvo en cero.
7. Para nuestra investigación la DBO máxima del agua residual fue de 304 mg/L y una mínima de 156 mg/L, la diferencia que existe entre la mínima y la máxima DBO es debido a las características del agua residual lo cual no siempre va ser constante, hay momentos donde al agua residual puede venir con alta cantidad de materia orgánica y en otros momentos disminuye.
8. Para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje de remoción para la DBO son las siguientes: en la unidad de sedimentación fueron de 69.44%, 49.80% y 52.61% como máximo y un mínimo de 15.38%, 8.89% y 11.56% respectivamente, en el Reactor UASB fue de 58.33%, 53.13% y 42.70% como máximo y un mínimo de 28.73%, 24.81% y 7.98% respectivamente, en el Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron de 87.10%, 79.48% y 71.44% como máximo y un mínimo de 40%, 60.98% y 46.80% respectivamente.
9. En cuanto al sistema total de tratamiento para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje de remoción para la DBO fueron 97.31%, 89.50% y 83.31% como máximo y un mínimo de 82.24%, 80.59% y 71.16% respectivamente, obteniéndose buenos resultados.
10. Para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje de remoción para la DQO son las siguientes: en la unidad de sedimentación fueron de 65.62%, 46.15% y 34.12% como máximo y un mínimo de 40.81%, 11.34% y 20% respectivamente, en el Reactor UASB fue de 61.37%, 40.19% y 38.28% como máximo y un mínimo de 23.94%, 32.29% y 8% respectivamente, en el Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial los valores fueron de

73.47%, 54.29% y 54.11% como máximo y un mínimo de 35.71%, 45.45% y 48.98% respectivamente.

11. En cuanto al sistema total de tratamiento para los TRH de 24, 14 y 4 h. los porcentaje máximo y mínimo de remoción para la DQO fueron 92.61% y 85.80% (desviación estándar de 2.86), 82.72% y 70.85% (desviación estándar de 4.40), 79.22% y 68.00% (desviación estándar de 4.59) respectivamente.
12. La correlación lineal de eficiencia de remoción de la DQO vs el TRH demostró que existió una relación directamente proporcional cuya ecuación es: $y = 8.5526x + 62.749$, ($R^2 = 0.9646$).
13. La correlación lineal de eficiencia la remoción de la DQO vs la Temperatura Ambiental demostró que existió una relación directamente proporcional cuya ecuación es: $y = 1.4792x + 68.021$, ($R^2 = 0.6119$).
14. En la unidad de sedimentación que a la vez era nuestra unidad de almacenamiento la cual alimentaba al Reactor UASB se obtuvieron resultados positivos en la remoción de la materia orgánica lo que confirma que siempre es muy importante tener una unidad de sedimentación primaria en una PTAR.
15. Se concluye que las tres unidades están removiendo materia orgánica. Para el Reactor UASB hay una remoción que es directamente proporcional con el TRH, es decir que para obtener una mejor remoción de la DBO, se optaría por un TRH mayor ya que se tendría un mayor tiempo de contacto.
16. La unidad de Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial con plantas jacinto de agua también se obtuvieron buenos resultados. Los porcentajes de remoción fueron más del 60%, esto indica que tratar efluentes después del Reactor UASB con plantas acuáticas se logra alcanzar mejor calidad de agua tratada.

17. En cuanto a los valores de los sólidos totales en el agua residual tuvieron una variación de 1228 mg/L como máximo a un mínimo de 524mg/L.

18. Para un TRH de 24, 14 y 4 h. los valores de los sólidos totales son las siguientes: en la unidad de sedimentación fue de 864mg/L, 920mg/L y 980mg/L como máximo y un mínimo de 472mg/L, 596mg/L y 692mg/L respectivamente, en el Reactor UASB fue de 648mg/L, 720mg/L y 820mg/L como máximo y un mínimo de 360mg/L, 468mg/L y 676mg/L respectivamente, y por ultimo en el Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial con plantas jacinto de agua fue de 465mg/L, 647mg/L y 750mg/L como máximo y un mínimo de 346mg/L, 435mg/L y 575mg/L respectivamente. Se puede notar claramente que conforme el TRH disminuye los valores de los sólidos totales aumentan esto es fácil de entender debido que a menor TRH hay un mayor caudal de operación lo que hace que la velocidad de sedimentación sea menor a la velocidad ascensional de las partículas y por ende estas serán arrastradas a la salida de las unidades de tratamiento.

19. En cuanto a los valores de los sólidos disueltos en el agua residual fueron de 988mg/L como máximo y un mínimo de 428mg/L.

20. Para un TRH de 24, 14 y 4 h. los valores de los sólidos disueltos son las siguientes: en la unidad de sedimentación fue de 716mg/L, 676mg/L y 856mg/L como máximo y un mínimo de 420mg/L, 516mg/L y 620mg/L respectivamente, en el Reactor UASB fue de 612mg/L, 668mg/L y 776mg/L como máximo y un mínimo de 332mg/L, 424mg/L y 532mg/L respectivamente, y por ultimo en el Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial con plantas jacinto de agua fue de 512mg/L, 624mg/L y 725mg/L como máximo y un mínimo de 340mg/l, 411mg/L y 531mg/L respectivamente. Podemos decir que ocurre algo similar como los sólidos totales dependerá de los TRH y el caudal de operación.

21. En cuanto a los valores de los sólidos suspendidos en el agua residual fueron de 368mg/L como máximo a un mínimo de 52mg/L.

22. Para un TRH de 24, 14 y 4 h. los valores de los sólidos suspendidos son las siguientes: en la unidad de sedimentación fue de 256mg/L, 292mg/L y 136mg/L como máximo y un mínimo de 16mg/L, 40mg/L y 72mg/L respectivamente, en el Reactor UASB fue de 176mg/L, 168mg/L y 152mg/L como máximo y un mínimo de 8mg/L, 24mg/L y 16mg/L respectivamente, y por ultimo en el Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial con plantas jacinto de agua fue de 72mg/L, 32mg/L y 46mg/L como máximo y un mínimo de 4mg/L, 12mg/L y 25mg/L respectivamente. Podemos decir que ocurre algo similar como los sólidos totales dependerá de los TRH y el caudal de operación.
23. En cuanto a la conductividad eléctrica para un TRH de 24, 14 y 4 h., los valores promedios son las siguientes: Para el agua residual fue de 761 us/cm, 1040.55 us/cm y 1130.38 us/cm respectivamente; en la unidad de sedimentación fue de 734.69 us/cm, 1094.77 us/cm y 1097.13 us/cm respectivamente; en el Reactor UASB fue de 727.38 us/cm, 1017.64 us/cm y 1122.50 us/cm respectivamente; y por ultimo en el Post-tratamiento con Humedal de flujo superficial con plantas jacinto de agua fue 735.38 us/cm, 1093.64 us/cm y 1108.88 us/cm respectivamente. Podemos concluir que los valores obtenidos para la conductividad eléctrica nos indican que hay sales disueltas en el agua y que además guardan una relación directa con los valores de los sólidos disueltos, es decir a mayor valor de conductividad eléctrica mayor será la cantidad de sales disueltas. Además la conductividad eléctrica guarda una relación inversamente proporcional al TRH, es decir a mayor TRH menor será la conductividad eléctrica como se puede verificar en los resultados obtenidos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir investigando estos procesos de tratamiento de empleando los Reactores UASB. Por ejemplo falta determinar con exactitud el porcentaje de lodo que debería tener una planta de tratamiento en función de su volumen total, si bien es cierto en las bibliografías nos indican cuanto es el porcentaje de lodo que se debería suministrar, se debe tener en cuenta que cada ciudad tiene su propia realidad, por lo que es muy importante obtener mas información al respecto.
2. Otro factor determinante es la temperatura, en muchas bibliografías se dice que el rango de temperatura para este tipo de tratamiento es de 15 a 30 °C, pero habría que investigar más al respecto y adecuarlo a nuestra realidad y por cada región.
3. Nuestra investigación se baso en tratar Agua residual doméstica proveniente de CITRAR UNI, pero se sabe que cada agua residual tiene diferentes composiciones en función a la zona de donde proviene, esto indica la necesidad de caracterizar las aguas residuales antes de realizar cualquier proyecto.
4. Se recomendaría seguir investigando el tratamiento con plantas acuáticas ya sea como un tratamiento independiente o como post-tratamiento de alguna unidad de tratamiento primario o secundario, se pudo comprobar en nuestra investigación que los resultados obtenido fueron optimos. Es decir se alcanzan una eficiencia en el sistema total de tratamiento alrededor del 90% como máxima y una minima del 77%

5. Se recomienda caracterizar el lodo producido en el Reactor UASB con el propósito de verificar que microorganismos están presentes los cuales hacen la función de estabilizar la materia orgánica.
6. Tener en cuenta que en un proceso anaerobio se debe aislar de toda luz natural o artificial, con el propósito de no generar algas en las paredes de los Reactores, como sucedió en el Reactor UASB de nuestra investigación.
7. Otro aspecto importante es el tratamiento con plantas acuáticas, se recomienda seguir investigando con diferentes tipos, ya que para nuestra investigación se obtuvieron buenos resultados con las plantas jacinto de agua.
8. Se recomienda emplear tratamiento de aguas residuales mediante Reactores UASB en zonas donde la temperatura oscilen entre los 18°C y 28°C, ya que a esta temperatura se han obtenido buenos en la remoción de la materia orgánica.
9. Para investigaciones similares se recomienda hacer un control de los caudales de operación en el Reactor UASB como mínimo 3 veces al día ya que estas dependen del TRH la cual influyen directamente en el proceso de tratamiento de dicha unidad.

BIBLIOGRAFIA

a. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

1. APHA, AWWA, WPCF (1989): "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". Ed. 17. Washington. 1391 pp.
2. Alejandro Mentaberry (2009) "Fitorremediación – Agro biotecnología", Universidad de Buenos Aires - Argentina.
3. Arena A. N., Liberal V., Cuevas C. "Eficiencia de remoción de bacterias coliformes en un sistema UASB y lagunas de maduración" (Vol. 9, 2005). Facultad de Ingeniería. Consejo de Investigaciones. U.N.SA. Campo Castaños, Argentina
4. Dilia I. Montoya, María E. Rincones, María Virginia Najul, Henry A. Blanco, Eudoro E. López, Rebeca Sánchez, María A. Gómez, Luis A. Suárez, Sergio A. Ribero, Juan C. Méndez, Regina Márquez (Abril 2003) "Experiencias a escala piloto en sistemas UASB para tratamiento de aguas residuales municipales en Venezuela", Caracas – Venezuela.
5. Estándares Nacionales de calidad ambiental para agua: DECRETO SUPREMO Nº 002-2008-MINAM.
6. Francisco J. Caicedo Messa (2006) "Diseño, construcción y arranque de un reactor UASB piloto para el tratamiento de lixiviados", Universidad Nacional de Colombia, Manizales – Colombia.
7. Gabriela R. Palomino Lucano, María C. Ballón Jomeque (2007) Tesis: "Tratamiento de aguas residuales por procesos de biopelículas", Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

8. Jorge H. Mejía Mendoza (1999) Tesis: "Diseño, Construcción y evaluación de un reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales". Universidad Mayor de San Simon, Cochabamba – Bolivia.
9. Juan P. Méndez Vega, Jhonny M. Peña (2008) "Diagnostico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución.", Sunáas, Lima – Perú.
10. Julio Moscoso, Tomas Alfaro (2008) "Panorama de experiencias de tratamiento y usos de aguas residuales en Lima Metropolitana y Callao", primera edición, Lima – Perú.
11. Marcela Lara M., Adalberto Noyola R, J. P. Guyot, (Diciembre 1995), "Efecto del tiempo de retención hidráulica (TRH) sobre el arranque y operación de reactores UASB", Instituto de Ingeniería-UNAM, A.P.70-472, C.U. Coyoacán 04510 D.F. Misión ORSTOM en México.
12. Metcalf & Eddy (1995). "Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización". Vol 1, 3a Ed. Editorial McGraw-Hill, Madrid.
13. Miguel M. Aisse (1985) Protocolo de investigación: "Tratamiento de desagües domestico en reactores anaeróbicos de manto de lodos de flujo ascendente", Cepis/Senapa/Itintec/UNI, Lima – Perú.
14. Miguel M. Aisse (1985) informe de avance N° 1: "Tratamiento de desagües domestico en reactores anaeróbicos de manto de lodos de flujo ascendente", Cepis/Senapa/Itintec/UNI, Lima – Perú.

15. Ramalho, R. S. (1993). "Tratamiento de Aguas Residuales", 2a Ed., Editorial Reverté, Barcelona.
16. Yaxcelys A. Caldera M., Pedro I. Madueño M., Alonso G. Griborio D., Edixon C. Gutiérrez G., Nola M. Fernández A. (Enero 2006) "Efecto del Tiempo de retención hidráulica en el funcionamiento de un reactor UASB tratando efluente cárnicos", Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Venezuela.

b. REFERENCIAS EN LA WEB:

1. Agua potable y Saneamiento en el Peru, Consultado en Enero del 2010 de.
http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable_y_saneamiento_en_el_Per%C3%BA.
2. Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua. Decreto Supremo N° 002 – 2008 – MINAM. Consultado en Enero del 2010 de.
http://www.minam.gob.pe/dmdocuments/ds_002_2008_eca_agua.pdf.
3. Consultado en Marzo del 2010 de.
http://www.minam.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&catid=1:noticias&id=641:aprueban-limites-maximos-permisibles-para-efluentes-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-o-municipales-para-el-sector-vivienda&Itemid=21.
4. Alejandro Pérez García, Uriel Mancebo del Castillo, Luis Ortega Chárleston y Adalberto Noyola Robles. "Digestión anaerobia no convencional de lodos biológicos utilizando un reactor tipo UASB,

- UNAM – Instituto de Ingenieria Coordinación de Bioprocesos Ambientales, México DF. Consultado en Marzo del 2010 de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico13/142.pdf>
5. Diana Arroyave Gómez, Maribel González Arteaga y Darío Gallego Suárez. “Evaluación del comportamiento hidráulico en reactor UASB utilizando para el tratamiento de aguas residuales” Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Minas, Medellín – Colombia. Consultado en Enero del 2010 de http://www.ciiq.org/variros/peru_2005/Trabajos/III/3/3.3.11.pdf
 6. Elizabeth Lam Esquenazi, Cecilia Demergasso Semenzato, Pedro Galleguillos Pérez, Lorena Escudero González “Diseño de un Biorreactor anaerobio para el tratamiento de aguas residuales en la producción de agua potable”, Antofagasta - Chile. Consultado en Octubre del 2009 de. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-142.pdf>
 7. Carlos R. Lara, Jaime Díaz, Olga L. Usaquen, Liliana Forero “Postratamiento del efluente de un reactor UASB por medio de humedal artificial”, UNIBOYACA – Colombia. Consultado en Noviembre del 2009 de. www.rds.org.co/aa/.../Humedal_artificial_tratamaguas14_1_.pdf
 8. Rodríguez Pérez de Agreda Celia, Díaz Marrero Miguel, Guerra Díaz Luis, Hernández de Armas Julia María “Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales”, La Habana, Cuba. Consultado en Diciembre del 2009 <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01280e08.pdf>

ANEXO

ANEXO 1:

1. ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD
AMBIENTAL PARA AGUA

Diagnóstico y el usuario esté dispuesto a proporcionarlos, el valor de dichos insumos será descontado del precio del servicio, previa presentación de la copia del comprobante de pago. Los insumos requeridos deberán ceñirse a las especificaciones técnicas exigidas por el SENASA.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

OSCAR M. DOMINGUEZ FALCON
 Jefe (e)
 Servicio Nacional de Sanidad Agraria

232229-1



Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

DECRETO SUPREMO
 N° 002-2008-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611-Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817-Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 Instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental -DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA

AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad de tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;

Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013; En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
 Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
 Ministro del Ambiente

El Peruano

DIARIO OFICIAL

REQUISITO PARA PUBLICACIÓN DE NORMAS LEGALES Y SENTENCIAS

Se comunica al Congreso de la República, Poder Judicial, Ministerios, Organismos Autónomos y Descentralizados, Gobiernos Regionales y Municipalidades que, para efecto de publicar sus dispositivos y sentencias en la Separata de Normas Legales y Separatas Especiales respectivamente, deberán además remitir estos documentos en disquete o al siguiente correo electrónico. normaslegales@editoraperu.com.pe

LA DIRECCIÓN

ANEXO I
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	µs/cm ²⁵	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Acceptable	**	**	Acceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 5	≥ 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ²⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
ORGÁNICOS						
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles COVs						
1,1,1-Tricloroetano -- 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano -- 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano -- 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno -- 95-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno -- 87-68-3	mg/L	0,0006	0,0006	**	**	**
Tetracloroetano -- 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloro de Carbono -- 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano -- 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BETX						

Descargado desde www.elperuano.com.pe

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
Benceno - 71-43-2	mg/L	0,01	0,01	**	**	**
Etilbenceno - 100-41-4	mg/L	0,3	0,3	**	**	**
Tolueno - 108-88-3	mg/L	0,7	0,7	**	**	**
Xilenos - 1330-20-7	mg/L	0,5	0,5	**	**	**
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)pireno - 50-32-8	mg/L	0,0007	0,0007	**	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**	**	**
Triclorobencenos (Totales)	mg/L	0,02	0,02	**	**	**
Plaguicidas						
Organofosforados:						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	**	**	**
Metamidofós (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paraquat (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Paratión	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Organoclorados (COP)*:						
Aldrin - 309-00-2	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Clordano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
DDT	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Dieldrin - 60-57-1	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	*	**	**
Endrin - 72-20-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro - 76-44-8	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Heptacloro epóxido 1024-57-3	mg/L	0,00003	0,00003	*	**	**
Lindano	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Carbamatos:						
Aldicarb (restringido)	mg/L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	**	**
Policloruros Bifenílicos Totales (PCBs)						
(PCBs)	mg/L	0,000001	0,000001	**	**	**
Otros						
Asbesto	Millones de fibras/L	7	**	**	**	**
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2 000	20 000	200	1 000
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0		200	**
Escherichia coli	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0		0	
Giardia duodenalis	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Salmonella	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
Vibrio Cholerae	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad

NMP/100 mL Número más probable en 100 mL

* Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.

CATEGORÍA 2: ACTIVIDADES MARINO COSTERAS

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1 Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Sub Categoría 2 Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Sub Categoría 3 Otras Actividades (C3)
ORGANOLEPTICOS				
Hidrocarburos de Petróleo		No Visible	No Visible	No Visible
FISICOQUÍMICOS.				
Aceites y grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0
DBO ₅	mg/L	**	10,0	10,0
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4	>=3	>=2,5
pH	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	**	50,0	70,0
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	**	0,06	0,08
Temperatura	celcius	**delta 3 °C	**delta 3 °C	**delta 3 °C
INORGÁNICOS				
Amoníaco	mg/L	**	0,08	0,21
Arsénico total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cadmio total	mg/L	0,0093	0,0093	0,0093
Cobre total	mg/L	0,0031	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05
Fosfatos (P-PO4)	mg/L	**	0,03 - 0,09	0,1

PARAMETRO	UNIDADES	AGUA DE MAR		
		Sub Categoría 1	Sub Categoría 2	Sub Categoría 3
		Extracción y Cultivo de Moluscos Bivalvos (C1)	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas (C2)	Otras Actividades (C3)
Mercurio total	mg/L	0,00094	0,0001	0,0001
Níquel total	mg/L	0,0082	0,1	0,1
Nitratos (N-NO3)	mg/L	**	0,07 - 0,28	0,3
Plomo total	mg/L	0,0081	0,0081	0,0081
Sulfatos (Si-Si O3)	mg/L	**	0,14 - 0,70	**
Zinc total	mg/L	0,081	0,081	0,081
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos de petróleo totales (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01
MICROBIOLÓGICOS				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	* ≤14 (área aprobada)	≤30	1000
Coliformes Termotolerantes	NREPT/100mL	* ≤88 (área restringida)		

NMP/ 100 mL. Número más probable en 100 mL.

* Área Aprobada: Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

** Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano luego de ser depurados

*** Se entenderá que para este uso, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente lo determine

**** La temperatura corresponde al promedio mensual multiannual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10
Nitritos (NO2-N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Peratión	ug/L	7,5

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	UNIDAD	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helminfos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente
PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES			
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR	
Físicoquímicos			
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40	
Fluoruro	mg/L	2	
Nitratos-(NO ₃ -N)	mg/L	50	
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	1	
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5	
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4	
Sulfatos	mg/L	500	
Sulfuros	mg/L	0,05	
Inorgánicos			
Aluminio	mg/L	5	
Arsénico	mg/L	0,1	
Berilio	mg/L	0,1	
Boro	mg/L	5	
Cadmio	mg/L	0,01	
Cianuro WAD	mg/L	0,1	
Cobalto	mg/L	1	
Cobre	mg/L	0,5	
Cromo (6+)	mg/L	1	
Hierro	mg/L	1	
Litio	mg/L	2,5	
Magnesio	mg/L	150	
Manganeso	mg/L	0,2	
Mercurio	mg/L	0,001	
Niquel	mg/L	0,2	
Plata	mg/L	0,05	
Plomo	mg/L	0,05	
Selenio	mg/L	0,05	
Zinc	mg/L	24	
Orgánicos			
Aceites y Grasas	mg/L	1	
Fenoles	mg/L	0,001	
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1	
Plaguicidas			
Aldicarb	ug/L	1	
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03	
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3	
DDT	ug/L	1	
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7	
Endosulfán	ug/L	0,02	

Endrín	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paraflón	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helminthos	huevo/litro	<1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente	

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 mL

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo :Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.

Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

SAAM: Sustancias activas de azul de metileno

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARAMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacoal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	500
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25 - 100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	---
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	---
Clorofila A	mg/L	10	---	---	---	---
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	---
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		---	---
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	---	---	---	---	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método fénico recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacoal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitró (NO)

Amonio: Como NH3 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 mL

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.