

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ESPONJAS COLGANTES
DHS DE PRIMERA GENERACION EN EL TRATAMIENTO
DEL EFLUENTE DEL REACTOR UASB”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

VERONICA SARA OSSIO TARNAWIECKI

JORGE ENRIQUE ACUÑA TAPIA

LIMA, PERU 2013

DEDICATORIAS

A mi padre por sembrar en mí la semilla de la investigación y el descubrimiento.

A mi madre por enseñarme a perseverar y por su apoyo constante.

A mi hijo, por enseñarme a ser mejor persona.

Verónica Ossio

A mis padres.

Jorge Acuña

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento al personal del Centro de Investigaciones en Tratamiento de Aguas Residuales y desechos tóxicos CITRAR de la Universidad Nacional de Ingeniería; en especial a la Ingeniera MSc. Rosa Yaya, Directora del CITRAR por habernos propuesto este tema de investigación y por su orientación y asesoría constante. Le agradecemos especialmente las facilidades brindadas en el montaje del sistema experimental, en el monitoreo y los análisis de las muestras en el laboratorio del CITRAR.

Gracias al Dr. Guy Carvajal por su orientación en los ensayos microbiológicos durante la etapa de monitoreo y por sus valiosos aportes y sugerencias y al Ing. Otto Rosasco por su aliento en nuestra investigación.

Nuestro reconocimiento especial al Ing. Juan Carlos Alarcón, ex Operador de Planta, por sus oportunas sugerencias, al Brigadista y Blgo. Christian Ayala por ser una importante referencia en los aspectos microbiológicos de nuestros ensayos, a los tesisistas Diana Amancio y Harold Castillo por su orientación en las metodologías de análisis de laboratorio, a los brigadistas Annie, Salvador, y Luis por su apoyo en el mantenimiento y monitoreo del reactor y al personal de mantenimiento del CITRAR, Manuel y Ramsés.

Nuestro agradecimiento al personal del Laboratorio de Investigación del Agua (Ex Lab. No.20) de la Facultad de Ingeniería Ambiental–UNI por habernos facilitado materiales y equipos para los ensayos de DBO y sólidos.

A todos los familiares, compañeros y amigos que nos alentaron en todo momento a perseverar en nuestro trabajo y nos apoyaron comprendiendo nuestras ausencias.

El tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas es una tecnología eficiente, compacta, fácil de operar y de bajo costo. Sin embargo, el tratamiento anaerobio por sí sólo no puede alcanzar los estándares de calidad que nuestra legislación exige para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

En esta investigación se muestra la aplicación de una tecnología alternativa de post tratamiento o tratamiento secundario diseñada para tratar el efluente de los reactores anaerobios de manto de lodos y flujo ascendente (UASB), que tiene la ventaja de generar un gran ahorro de terreno en comparación con las lagunas facultativas; simplificar la operación y bajar los costos de construcción en comparación con los filtros percoladores y procesos de lodos activados. Esta tecnología es conocida por sus siglas en inglés como DHS (Downflow Hanging Sponges) o “esponjas colgantes de flujo descendente” y su principio de funcionamiento es el desarrollo de una película biológica en la superficie de las esponjas que realiza los procesos de depuración del agua residual.

La aplicación y evaluación de esta tecnología en nuestro medio a nivel experimental es el objetivo de la presente tesis de investigación. Se estudia la eficiencia del sistema DHS en el tratamiento del efluente de un reactor UASB que trata el agua residual doméstica de una población de 9 000 habitantes. El sistema DHS experimental fue diseñado para operar con un tiempo de retención hidráulico de 90 minutos y tratar un caudal de 61 l/día con un caudal de recirculación equivalente. El sistema estuvo en funcionamiento por un tiempo de 236 días. La investigación se realizó en la ciudad de Lima-Perú en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Para este estudio se montó un pequeño sistema DHS que consistió en cubos de esponjas de poliuretano ensartados en serie y suspendidos dentro de dos columnas de vidrio instaladas en serie, abiertas por la parte superior e inferior.

La alimentación de este sistema provino del efluente del reactor UASB que se almacenaba en un cilindro para graduar el ingreso al sistema DHS. El desagüe tratado a través de este sistema se recibía en una unidad de sedimentación diseñada a escala. Este efluente era recibido en un recipiente desde donde se bombeaba parcialmente a la zona de alimentación del sistema para que se mezcle en partes iguales con el afluente proveniente del UASB.

El monitoreo se realizó mediante un muestreo en cuatro puntos del sistema: en el punto de ingreso del efluente del UASB; en el punto de mezcla del efluente del UASB con el caudal recirculado; en la salida de la primera columna de tratamiento y en la salida del recipiente de recirculación. Se evaluó el sistema mediante el análisis de los parámetros enfocados en el estudio que consistieron en mediciones diarias de los parámetros físicos y mediciones semanales de los parámetros químicos y bacteriológicos. Los parámetros evaluados fueron: la temperatura, el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto, la turbiedad, los sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno al quinto día, la demanda química de oxígeno, nitrógeno y coliformes termotolerantes o fecales. Los análisis de laboratorio se realizaron bajo la metodología estándar y el uso de manuales y reactivos de los equipos colorimétricos Hach. Asimismo, se usaron en el monitoreo un conductivímetro, potenciómetro, oxímetro y termómetro digitales.

El sistema fue capaz de remover 84,6 % de turbiedad, 94 % de DBO, 11 % de sólidos totales, 84 % de DQO y 99,961 % de Coliformes fecales. Estos resultados llevan a concluir que el sistema DHS presenta una alta eficiencia y estabilidad en el tratamiento de la carga orgánica y bacteriológica del efluente de un reactor UASB. La generación de lodos por el sistema fue mínima (0,02 gramos de sólidos suspendidos volátiles por día), al igual que la concentración de sólidos sedimentables en el efluente (0.06 ml por litro de efluente tratado). El periodo de maduración del reactor hasta alcanzar su eficiencia óptima en el tratamiento del agua residual fue de 4 a 5 meses bajo las condiciones del experimento sin la utilización de un inóculo. Sin embargo, los resultados en el análisis de los procesos de tratamiento del nitrógeno demuestran que es necesario un post tratamiento o una extensión del tratamiento con la misma

tecnología DHS para alcanzar niveles en la reducción de este parámetro aceptables por la Legislación Peruana para el reúso de efluentes en riego de vegetales y bebida de animales (ECA Categoría 3: 10 mg/l NO₃-N) como lo estipulan los estándares de calidad ambiental.

Anaerobic wastewater treatment units are a widespread technology because they are compact, low cost and easy to operate. However, anaerobic treatment by itself cannot achieve the quality standards of Peruvian legislation for wastewater treatment plants.

This research implements an alternative technology for the post treatment of anaerobic systems, the DHS, Downflow Hanging Sponges technology has the advantages of saving space, having constructional and operational simplicity and financial fitness in comparison with treatment ponds, trickling filters and activated sludge units. The principal of the DHS treatment system is the use of polyurethane sponge as a growing and supporting media for various microorganisms, which develop the wastewater purification process.

The objective of this research is the implementation and evaluation of this technology in our media. The target is to study the efficiency of this system in the treatment of the effluent of a UASB (Underflow Anaerobic Sludge Blanket) reactor that treats the domestic wastewater of a population of 9 000 people. This DHS experimental unit was designed to operate with a 90 minute hydraulic retention time and to treat a 61 l/day flow of UASB effluent plus an equivalent recycling of treated wastewater from the DHS unit. This experimental system was working for a period of 236 days. The research was developed in Lima city in the wastewater treatment plant –CITRAR- of the National University of Engineering.

A small DHS reactor was built for this study with strips of cubes of polyurethane sponges hanging inside two glass columns open at the surface and bottom. The inflow to the system was the UASB effluent stored in a unit to control the inflow rate. The wastewater treated by this system was received in a sedimentation unit designed by scale and then was partially pumped to the inflow of the system.

The samples were taken in four monitoring stations: the inflow to the system of the UASB effluent; the mixing point of the UASB effluent and the recycling of the DHS system; the effluent of the first treatment column and the effluent of the DHS system after the sedimentation unit. The monitoring of the physical parameters were done daily and the monitoring of the chemical and bacteriological parameters were done weekly. The following parameters were monitored: temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, turbidity, solids, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, nitrogen and fecal coliforms. The laboratory analysis was done following the Standard Methods and the use of the reagents and instruments of the Hach Colorimeter DR 850. Some digital instruments were also used such as conductivity meters, pH meter, oxygen meter, and thermometer.

The system removed 84,6 % of turbidity, 94 % of BOD, 11 % of total solids, 84 % of COD and 99,961 % of Fecal Coliforms. In conclusion, the DHS system exhibited high efficiencies in the treatment of the organic and bacteriological loads of the effluent of a UASB reactor. There was a minimum rate of sludge generation (0,02 grams of volatile suspended solids per day) and of settleable solids (0,06 ml per liter of treated effluent) by the system. The startup period of the system to reach the optimum treatment levels for most parameters was 4 to 5 months without the use of inoculum. However, further treatment is required to reach the Peruvian legislation requirements for Nitrogen concentrations for the reuse of the effluents in vegetable irrigation and animal beverage.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
I.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	1
I.2 ANTECEDENTES	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
II.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL ESTUDIO	23
II.1.1 Temperatura	23
II.1.2 pH	23
II.1.3 Conductividad	24
II.1.4 Oxígeno Disuelto	24
II.1.5 Turbiedad	25
II.1.6 Sólidos	25
II.1.7 DBO	30
II.1.8 DQO	32
II.1.9 Nitrógeno	33
II.1.10 Coliformes Termotolerantes o Fecales	35
II.2 FUNDAMENTOS DE BIOLOGÍA	37
II.2.1 Fuentes de Carbono	37
II.2.2 Fuentes de Energía	38
II.2.3 Organismos que intervienen en los procesos biológicos en el sistema DHS	40
II.2.4 Mecanismos de depuración de patógenos y carga orgánica en el sistema DHS	42
II.3 DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN EN EL SISTEMA DHS	52
CAPITULO III: HIPÓTESIS	57
CAPÍTULO IV: OBJETIVOS DEL ESTUDIO	58
CAPÍTULO V: DISEÑO METODOLÓGICO	59
V.1 PERIODO Y LUGAR DONDE SE DESARROLLA LA INVESTIGACIÓN	59
V.2 UNIVERSO Y MUESTRA	60
V.3 CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DHS	64

V.3.1 Características del agua a tratar	65
V.3.2 Caudal de diseño y Caudal de Recirculación	66
V.3.3 Periodo de retención (HRT)	66
V.3.4 Densidad y Porosidad de la Esponja de Poliuretano	66
V.4 DISEÑO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DHS	68
V.4.1 Unidad de Ingreso al Sistema DHS y de Mezcla	69
V.4.2 Columnas de Tratamiento con Esponjas	70
V.4.3 Unidad de Almacenamiento	70
V.4.4 Unidad de Recirculación	71
V.4.5 Unidad de Sedimentación	71
V.5 ARRANQUE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DHS	72
V.6 PLAN DE MONITOREO	76
V.6.1 Definición del programa de monitoreo	76
V.6.2 Definición de las estaciones de monitoreo	76
V.6.3 Equipo de Monitoreo y procedimientos de toma de muestras	77
V.7 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO	78
V.7.1 pH y Temperatura	78
V.7.2 Turbiedad	79
V.7.3 Conductividad	80
V.7.4 Oxígeno disuelto	81
V.7.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	82
V.7.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	83
V.7.7 Nitrógeno	86
V.7.8 Sólidos	91
V.7.9 Coliformes Termotolerantes	96
V.7.10 Examen Microbiológico directo	100
CAPITULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	102
VI.1 Temperatura	103
VI.2 Ph	103
VI.3 Oxígeno disuelto	107
VI.4 Conductividad	107
VI.5 Turbiedad	107
VI.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	107
VI.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	115
VI.8 Nitrógeno	125
VI.9 Sólidos	136
VI.10 Coliformes termotolerantes	156
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES	162

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES	167
CAPÍTULO IX: LITERATURA CITADA	169
ANEXOS:	
Anexo 01: Legislación Peruana para efluentes de plantas de tratamiento De aguas residuales y calidad ambiental para agua	172
Anexo 02: Cálculos de Diseño del sistema experimental DHS	175
Anexo 03: Resultados de las mediciones de los ensayos de laboratorio y procesamiento de la información	184

ÍNDICE DE TABLAS GRÁFICOS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1.1: Comparación entre los LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y los valores máximos obtenidos del efluente del reactor UASB – CITRAR	2
Tabla 1.2: Comparación de las eficiencias en el tratamiento de los efluentes UASB de los diferentes modelos de DHS	7
Tabla 1.3: Resultados Comparativos de los Parámetros Evaluados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Karnal en India	9
Tabla 2.1: Definiciones de los sólidos en el agua residual	26
Tabla 2.2: Formas químicas y orgánicas del Nitrógeno en el agua residual Doméstica	34
Tabla 5.1: Concentraciones Promedio, Máximas y Mínimas de los Parámetros Monitoreados en el Efluente del Reactor UASB durante el Estudio	64
Tabla 5-2: Viales usado para el análisis de DQO	84
Tabla 6.1: Concentraciones Promedio, Desviaciones Estándar y Porcentajes de Remoción de los Parámetros Monitoreados durante el periodo final de funcionamiento del sistema DHS	104
Tabla 6-2: Relación entre sólidos totales y sólidos volátiles totales en los diferentes puntos de monitoreo	142
Tabla 6-3: Relación entre sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos totales en los diferentes puntos de monitoreo	145
Tabla 6.4: Tasas de sólidos totales disueltos/conductividad en los puntos de monitoreo	156
Tabla 6.5: Concentración de Coliformes Fecales en UFC/100 ml en los puntos de monitoreo del sistema DHS	157

FIGURAS

Figura 1.1: Evolución de los modelos de DHS en el tiempo	6
Figura 1.2: El Sistema de Tratamiento DHS de Aguas Residuales en la ciudad de Karnal, India.	8
Figura 2.1: Interrelación de los sólidos en el agua residual	27
Figura 2.2: Tipo de materiales que componen los sólidos según rango de tamaño	28
Figura 2.3: Biófilm en el DHS.	38
Figura 2.4: Fuentes de Carbono y de energía que utilizan para su metabolismo los organismos presentes en el sistema DHS	39
Figura 2.5: Especies comunes de bacterias en biofilms de tratamiento de aguas residuales	40
Figura 2.6: Protozoarios ciliados característicos en biofilms de tratamiento de aguas residuales	41
Figura 2.7: Artrópodos que forman parte de la biocenosis del DHS	42
Figura 2.8: Etapas de la formación del biofilm en las esponjas del reactor DHS	43
Figura 2-9: Fotografías del desarrollo periódico del biofilm	45
Figura 2.10: Estructura y dinámica de un biofilm	47
Figura 2.11: Etapas del ciclo de desarrollo del biofilm	48
Figura 2.12: Evolución de biofilm en el sistema DHS	49
Figura 2.13: Diagrama de Evolución de biomasa en el Sistema DHS a través del tiempo	50
Figura 2-14:Esponjas vacías y colmatadas en un reactor DHS	50
Figura 2.15: Mecanismo de desprendimiento por arrastre hidráulico del biofilm	51

Figura 2.16: Diferentes formas en que se presenta el Nitrógeno en la naturaleza y su dinámica.	53
Figura 2.17: Bacterias que intervienen en los procesos de nitrificación en el reactor de DHS	54
Figura 2-18: Proceso Anammox	56
Figura 5.1: Ubicación del Sistema DHS en la planta de tratamiento de Aguas residuales del CITRAR UNI	60
Figura 5.2: Reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente	61
Figura 5.3: Unidad de Almacenamiento de Efluentes del UASB e Ingreso al Sistema DHS	62
Figura 5.4: Reactor DHS y esquema del flujo de circulación de fluidos	63
Figura 5.5: Estructura Química del Poliuretano	67
Figura 5.6: Vista en aumento de las fibras entrelazadas de espuma de Poliuretano	67
Figura 5.7: Unidades de Ingreso y de Mezcla al Sistema DHS	69
Figura 5.8: Columnas de esponjas	70
Figura 5.9: Unidad de Recirculación	71
Figura 5.10: Imagen de los Puntos de Monitoreo y Componentes del Sistema DHS	74
Figura 5.11: Esquema de los Puntos de Monitoreo en el Sistema DHS	75
Figura 5.12: Frascos de toma de muestras	78
Figura 5.13: Colorímetro Hach DR850	79
Figura 5.14: Sensor Hanna Instruments HI 8633	80
Figura 5.15: Oxímetro y frascos de ensayo de DBO_5	82
Figura 5.16: Digestor para viales de DQO. Reactor DRB 200	85

Figura 5.17: Tiras indicadoras Merckoquant para la medición de Nitritos y Nitratos	86
Figura 5.18: Viales de Amonio en reacción química con los reactivos Salicilato de Amonio y Cianurato de Amonio	91
Figura 5.19: Desecador de crisoles de porcelana	93
Figura 5.20: Mufla de calcinación para la determinación de sólidos volátiles	94
Figura 5.21: Placas de cultivo de Coliformes fecales con las colonias en azul	98
Figura 5.22: Kit de Análisis de coliformes termotolerantes	99
Figura 5.23: Vista microscópica de Opercularia en el lodo del sistema DHS	100

GRÁFICOS

Gráfico 6.1: Temperaturas registradas en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	105
Gráfico 6.2: Valores de pH registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	106
Gráfico 6.3: Valores de Oxígeno Disuelto registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	109
Gráfico 6.4: Valores de Conductividad registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	110
Gráfico 6.5: Valores de Turbiedad registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	111
Gráfico 6.6: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	112
Gráfico 6.7: Comparación de las Tasas de Remoción de DBO ₅ a la salida de la Primera y la Segunda Columna en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	113
Gráfico 6.8: Valores Promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo	114

Gráfico 6.9: DQO Total registrada en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	118
Gráfico 6.10: Valores Promedio de la Demanda Química de Oxígeno y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo	119
Gráfico 6.11: Tasas de DQO Total a la salida de la Primera y la Segunda Columna del Sistema DHS con respecto a la DQO Ingresada al Sistema en el Tiempo de Operación del mismo	120
Gráfico 6.12: Tasas de DQO Soluble a la salida de la Primera Columna y del sedimentador del sistema DHS con respecto a la DQO Ingresada al Sistema en el Tiempo de Operación del mismo	121
Gráfico 6.13: Puntos de monitoreo del sistema DHS incluyendo el nuevo Punto N	122
Gráfico 6.14: DQO Total y Soluble a lo largo de la columna DHS tomando en consideración el nuevo punto de monitoreo N	123
Gráfico 6.15: DQO Soluble y no soluble registrada en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	124
Gráfico 6.16: Nitrógeno Amoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$ registrado en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	128
Gráfico 6.17: Nitritos $\text{NO}_2\text{-N}$ registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	129
Gráfico 6.18: Nitratos $\text{NO}_3\text{-N}$ registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	130
Gráfico 6.19: Concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ al Ingreso y a la Salida de las Columnas del Sistema DHS en relación a las concentraciones de Oxígeno	131
Gráfico 6.20: Concentraciones de $\text{NO}_2\text{-N}$ al Ingreso y a la Salida de las Columnas del Sistema DHS en relación a las concentraciones de Oxígeno	132
Gráfico 6.21: Concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ al Ingreso y a la Salida de las Columnas del Sistema DHS en relación a las concentraciones de Oxígeno	133

Gráfico 6.22: Valores Promedio de Amoníaco, Nitritos y Nitratos a lo largo de la columna DHS tomando en consideración el nuevo punto de monitoreo N	134
Gráfico 6.23: Valores Promedio de Amoníaco, Nitritos y Nitratos y Porcentajes de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo	135
Gráfico 6.24: Sólidos Totales, Fijos y Volátiles en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	138
Gráfico 6.25: Tasas de Sólidos Totales a la salida del DHS 1 y DHS 2 luego del sedimentador con respecto a los Sólidos Totales ingresados al sistema DHS	139
Gráfico 6.26: Sólidos Volátiles en las estaciones de muestreo vs. Tiempo de funcionamiento del reactor DHS	140
Gráfico 6.27: Fracciones de Sólidos Volátiles a la salida del DHS 1 y DHS 2 luego del sedimentador con respecto a los Sólidos Volátiles ingresados al sistema DHS	141
Gráfico 6.28: Sólidos Suspendidos en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	143
Gráfico 6.29: Fracciones de Sólidos Suspendidos a la salida del DHS 1 y DHS 2 con respecto a los Sólidos Suspendidos ingresados al Sistema	144
Gráfico 6.30: Sólidos suspendidos volátiles en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	146
Gráfico 6.31: Valores Promedio de Sólidos Totales y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo	148
Gráfico 6.32: Valores Promedio de Sólidos Disueltos y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo	149
Gráfico 6.33: Valores Promedio de Sólidos Suspendidos y Porcentajes de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo	150
Gráfico 6.34: Valores Promedio de Sólidos Volátiles y Porcentajes de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo	151
Gráfico 6.35: Proyección del Volumen de Sólidos Sedimentables generados en el Sistema DHS	153

Gráfico 6.36: Peso de lodos generados y desprendidos por el sistema DHS	155
Gráfico 6.37: Concentraciones Promedio de Coliformes Termotolerantes o Coliformes Fecales o en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo y Eficiencias de Remoción	159
Gráfico 6.38: Remoción de Coliformes Termotolerantes o Coliformes Fecales en el sistema DHS en el Tiempo de Operación del Sistema DHS	160
Gráfico 6.39: Tasa de Coliformes Termotolerantes o Coliformes fecales a la salida del DHS1 y DHS2 con respecto al ingreso al sistema DHS	161

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ADN:	Acido desoxirribonucleico
ARN:	Ácido ribonucleico
CITRAR-UNI:	Centro de Investigaciones en tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos
DBO ₅ :	Demanda bioquímica de oxígeno
DHS:	Downflow Hanging Sponges. Esponjas colgantes de flujo descendente.
DQO:	Demanda química de oxígeno
EC:	Conductividad
FDA:	Food and Drug Administration
FIA:	Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería
HRT:	Periodo de retención
N Orgánico:	Nitrógeno orgánico
N ₂ :	Nitrógeno gas
N ₂ O:	Óxido nitroso
NAT:	Nitrógeno amoniacal total
NH ₃ :	Amoníaco
NH ₄ :	Amonio
NIT:	Nitrógeno Inorgánico total
NKT:	Nitrógeno Kendal total
NO:	Óxido nítrico
NO ₂ -:	Nitritos
NO ₃ :	Nitratos
NT:	Nitrógeno Total
OD:	Oxígeno Disuelto
PTAR:	Planta de tratamiento de aguas residuales
SDF:	Sólidos disueltos fijos
SDT:	Sólidos Disueltos Totales
SDT:	Sólidos disueltos totales
SDVT:	Sólidos disueltos volátiles totales
SS:	Sólidos sedimentables
SSF:	Sólidos suspendidos fijos
SST:	Sólidos suspendidos totales
SSV:	Sólidos suspendidos volátiles
ST:	Sólidos totales
STF:	Sólidos totales fijos
STV:	Sólidos totales volátiles
UFC:	Unidades formadoras de colonias
UNI:	Universidad Nacional de Ingeniería

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

I.1 Justificación del Estudio

La urbanización descontrolada, sin una infraestructura sanitaria adecuada y la falta de sensibilización de la población hacia los problemas ambientales, ha llevado a la contaminación severa de los cuerpos de agua en el Perú con los consecuentes problemas ambientales y de salud en la población.

En vista de la urgencia de desarrollar tecnologías de tratamiento de aguas residuales a costos accesibles para países en desarrollo, se investigaron en la década de los setenta los tratamientos anaerobios que presentan la ventaja de ser compactos, con costos de operación muy bajos y fáciles de operar.

El reactor anaerobio de manto de lodos y Flujo Ascendente UASB es una de las tecnologías de tratamiento anaerobio más difundidas para tratar aguas residuales. Muchos de estos reactores vienen siendo usados en países como India, Brasil, Colombia, Egipto y también en el Perú. Pero el tratamiento a través del UASB por sí sólo no puede alcanzar los estándares de calidad para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales que la legislación vigente exige.

En la Tabla 1.1 se puede observar una comparación entre los límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que están contemplados en el Decreto Supremo No. 003-2010-MINAM del Ministerio del Ambiente (Ver Anexo 01) y los valores promedio obtenidos del efluente del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (reactor UASB) que funciona en el Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR – UNI), donde se ha desarrollado el presente estudio.

Tabla 1.1: Comparación entre los LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y los valores máximos obtenidos del efluente del reactor UASB - CITRAR

PARAMETRO	LMP* de efluentes para vertidos a cuerpos de agua	Valores máximos del efluente UASB CITRAR
DBO	100 mg/l	169
DQO	200 mg/l	286
Coliformes Termotolerantes	10^3 NMP/100ml	$1.86 \cdot 10^7$ UFC/100ml
Sólidos Totales en suspensión	150 ml/l	384 mg/l
pH	6.5 – 8.5	7.07
Temperatura	<36	23.2

*Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que están contemplados en el Decreto Supremo No. 003-2010-MINAM del Ministerio del Ambiente.

En vista de esta situación, los investigadores han propuesto diversas tecnologías para el post tratamiento de los efluentes del RAFA, tales como lagunas para el caso de remoción de patógenos (Maynard et al., 1992) y filtros percoladores. Pero ninguno de ellos asegura una calidad satisfactoria del efluente ni simplicidad en su operación y construcción a costos factibles para países en desarrollo.

El sistema de tratamiento de esponjas colgantes de flujo descendente DHS se presenta como una alternativa de tratamiento secundario de los efluentes del reactor UASB que podría permitir alcanzar los niveles exigidos por las normas Peruanas para plantas de tratamiento de aguas residuales con las ventajas técnicas y económicas que la realidad Peruana exige.

El estudio que se plantea en este documento incorpora un sistema de recirculación del efluente que tiene como principio diluir la carga contaminante que ingresa al sistema y mantener una mayor humectación en las esponjas para lograr una mayor eficiencia en el tratamiento. Asimismo, se plantea una disminución en el periodo de retención del 25% sobre el tiempo promedio de 2 horas para este tipo de diseños. Esta disminución en el periodo de retención a 90 minutos repercutirá en el dimensionamiento del reactor DHS y en los costos implicados en su construcción.

A partir de los resultados obtenidos de esta investigación, se logrará validar la eficiencia en la remoción de diversos indicadores de contaminación mediante la tecnología DHS y concluir sobre criterios de diseño basados en la experimentación real aplicada a las aguas residuales en el Perú.

I.2 Antecedentes

La tecnología de tratamiento anaerobio de aguas residuales a través del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (reactor UASB) fue desarrollado en la Universidad de Wageningen en Holanda y fue difundida desde 1980 en el mundo.

Como se menciona en la sección anterior, existía la necesidad de complementar esta tecnología con un tratamiento secundario. Las alternativas de tratamiento secundario planteadas tradicionalmente eran las lagunas de estabilización, los procesos de lodos activados y los filtros percoladores; pero estos sistemas tienen el inconveniente de presentar complejidad y altos costos en su construcción y operación.

En esta coyuntura, se investigó en el año 1997 en la Nagaoka University of Technology en Japón el sistema de esponjas colgantes de flujo descendente – (Downflow Hanging Sponges – DHS) por el Profesor Harada et al. como una nueva tecnología para el tratamiento secundario de los efluentes del reactor UASB. Por su ahorro en el consumo de energía y costos de mantenimiento, este sistema se planteó como una alternativa para aplicar en países en desarrollo. Consiste en el uso de esponjas de poliuretano como un medio de soporte y de crecimiento para la biomasa que se desarrolla a partir de la circulación continua de las aguas residuales. Esta biomasa o película biológica es la responsable de la depuración del agua residual por mecanismos biológicos, físicos y químicos. El principio del uso de esponjas como lecho de crecimiento de la biomasa se basa en la porosidad del material que le proporciona una mayor superficie de contacto y de oxigenación al proceso de tratamiento. De esta manera se consiguen mayores periodos de retención y se evita el uso de fuentes externas de energía para la aireación.

Hasta el momento se han propuesto diversos tipos de reactores DHS con variantes en la forma y disposición de las esponjas. El reactor de primera generación (DHS G1) fue desarrollado por Agrawal et al. y por Machdar et al. en 1997. (Ver Figura 1.1) Fue construido a partir de cubos de esponjas de 1.5 cm.

de lado y conectadas en forma diagonal a través de un hilo nylon. El desempeño de este modelo fue sobresaliente, aunque se consideró poco práctico para llevarlo a escala. La segunda generación de DHS (DHS G2) tipo cortina fue construido con tiras triangulares de esponja de 75 cm. de largo y 3 cm. de lado adheridos a una lámina plástica con 0.9 cm de separación entre tiras de esponjas (Machdar et al., 1997 y 2000. Uemura et al., 2002). Presentó dificultades para llevarlo a escala por el alto costo de las láminas plásticas y los colgadores. Se desarrolló entonces la tercera generación (DHS G3) que tenía el principio de diseño de los filtros percoladores, reemplazando el material de empaque por esponjas contenidas en un material de soporte (Tawfik et al., 2006). La cuarta generación fue construida al año siguiente (DHS G4). El reactor fue construido a partir de tiras largas de esponjas de 2.5 x 2.5 x 50 cm. que eran colocadas dentro de unos cilindros de malla plástica para darles rigidez (Tandukar et al., 2005). La quinta generación DHS G5 se desarrolló a partir del DHS G2 con la modificación de la construcción de módulos con superficies cubiertas enteramente por láminas de esponjas por ambos lados de una superficie ondulada. Estos módulos eran luego empacados uno encima de otro para construir el reactor a escala piloto. Con este diseño se podía incrementar el volumen de esponjas en un 55 – 77%, reduciendo el tamaño del reactor. La sexta generación de DHS (DHS G6) basado en el DHS G3 sólo se diferenció en el tipo de esponja. En lugar de trabajar con esponjas suaves, endurecieron la esponja con resina epóxica. La presencia de la resina redujo el volumen vacío a un 70% en lugar de un 95% como era en la esponja de poliuretano original. Esta innovación permitió prescindir del material de soporte ya que la esponja era rígida por sí misma.

Para la presente investigación se ha adoptado el diseño del DHS G1 por haber presentado la mayor eficiencia en el tratamiento de los efluentes del UASB. (Ver Tabla 1.2)

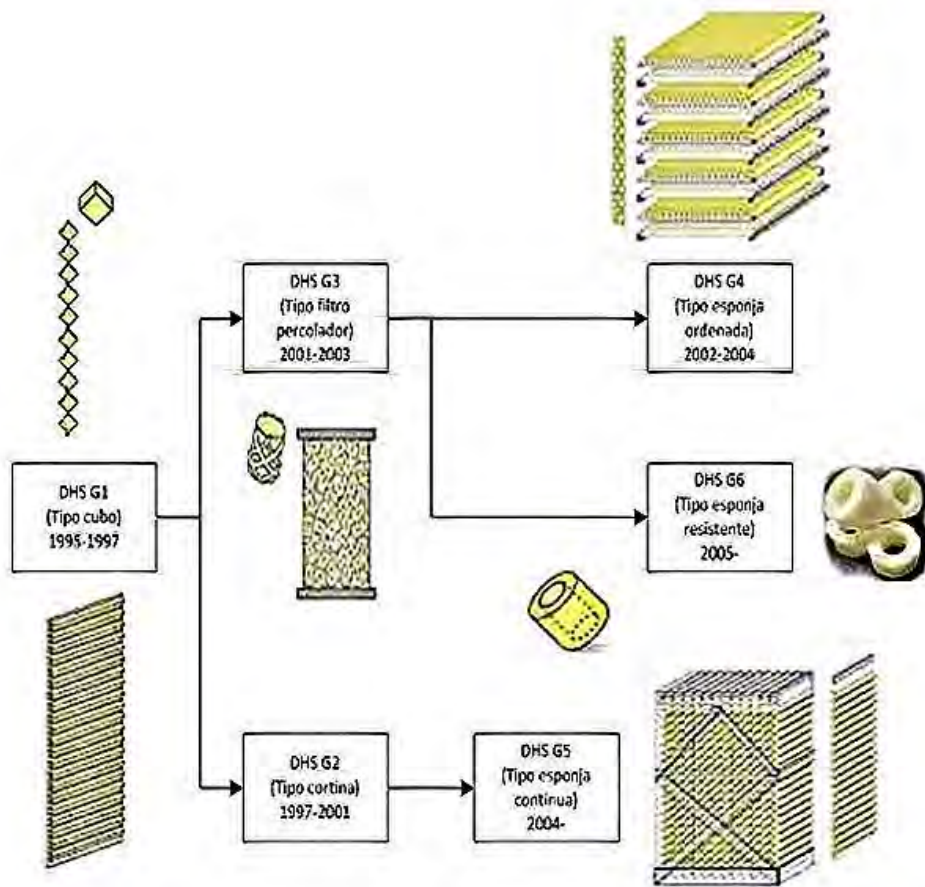


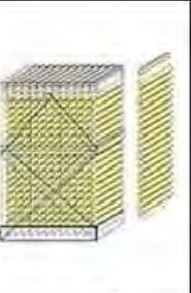





Figura 1.1: Evolución de los modelos de DHS en el tiempo

Tabla 1.2: Comparación de las eficiencias en el tratamiento de los efluentes UASB de los diferentes modelos de DHS

						
	DHS G1	DHS G2	DHS G5	DHS G3	DHS G4	DHS G6
Tiempo de retención en horas	2.3	2	2.5	2.7	2	2
Remoción de DBO en %	97	96	95	98	96	96
Remoción de DQO en %	94	84	90	93	91	93
Remoción de SS en %	98	68	95	92	93	95
Remoción de NH ₄ -N en ordenes de magnitud logarítmica	75	64	60	86	28	75
Remoción de Coli Fecal en ordenes de magnitud logarítmica	SR	2.7	4.0	2.6	3.5	2.8
Tiempo retención de lodos en días	SR	90~100	90~125	SR	100~125	~100
Volumen de esponjas ocupado en %	SR	25	55-57	38	38	34

Harada, 2008. SR=Sin registros

Fuente: H. Harada. Asian Science and Technology Seminar, 2008.

La primera planta piloto a escala real con tecnología DHS, fue construida en la ciudad de Karnal, India en el año 2002 para tratar las aguas residuales de esta ciudad antes de ingresar al río Yamuna, afluente del Ganges. Esta planta de tratamiento venía operando con cuatro reactores UASB y una laguna de estabilización en la que instalaron deflectores para aumentar el periodo de retención a 1 día con una capacidad efectiva de tratamiento de 0.46 m³/seg y un periodo de retención efectivo de 1.5 días. El caudal promedio de aguas residuales tratadas en la planta era de 0.3 m³/seg. (Ver Figura 1.2).



Fuente: H. Harada. Asian Science and Technology Seminar, 2008.

Figura 1.2: El Sistema de Tratamiento DHS de Aguas Residuales en la ciudad de Karnal, India.

Para este estudio, se proyectó un sistema DHS que tratara el efluente del reactor UASB. Este sistema tenía las siguientes especificaciones técnicas:

Volumen de la unidad	126 m ³
Diámetro de la unidad	5.5 m.
Alto de la unidad	5.3 m.
Volumen de esponjas	31 m ³
HRT	1.5 horas
Volumen de desague tratado	5.8 l/s (500m ³ /dia)

El reactor DHS fue diseñado del tipo DHS G2, o de tipo cortina que se construyeron adhiriendo columnas de esponjas de poliuretano de 25 x 25 mm. de sección x 100 cm. de largo en ambos lados de unas láminas plásticas, configurando un arreglo tipo cortina. El volumen total ocupado por las esponjas en el reactor fue de 31.1 m³ que representaba casi el 25% del volumen total del reactor.

El agua residual ingresaba por la parte superior de la columna difundándose por un brazo distribuidor rotatorio accionado por la diferencia de nivel hidráulico entre la cámara de ingreso y el brazo distribuidor, desde donde fluía por gravedad a través de la cama de esponjas. El efluente del DHS se hacía recircular hacia la cámara de ingreso del DHS.

El periodo de prueba de este reactor fue de 900 días. En la Tabla 1.3 se puede observar los resultados comparativos de los diferentes parámetros evaluados.

Tabla 1.3: Resultados Comparativos de los Parámetros Evaluados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Karnal en India

	Desagüe crudo	UASB	UASB+DHS	UASB + laguna de oxidación
DBO Total (mg/l)	152	53	6 (<96%)	41
DQO Total (mg/l)	436	172	31 (92%)	137
Coli F.(NMP/100ml)	8.9×10^{-4}	5.6×10^6	1.6×10^5 (2log 10)	1.8×10^6
NH4-N	24	25	5 (79%)	24

Fuente: H. Harada. Asian Science and Technology Seminar, 2008.

En el Perú, los primeros ensayos a nivel piloto con esta tecnología se realizaron en la Universidad Nacional de Ingeniería, en el año 2010 con la Ingeniera Audrey Marc que instaló un reactor DHS a nivel piloto alimentándolo con los efluentes del reactor UASB del Centro de Investigaciones de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR-UNI). Ella centró su investigación en el análisis de ciertos parámetros tales como Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura, Turbiedad, DQO, Coliformes Fecales, Sólidos Totales, Fijos y Volátiles. Lamentablemente por dificultades en el manejo del flujo continuo en el

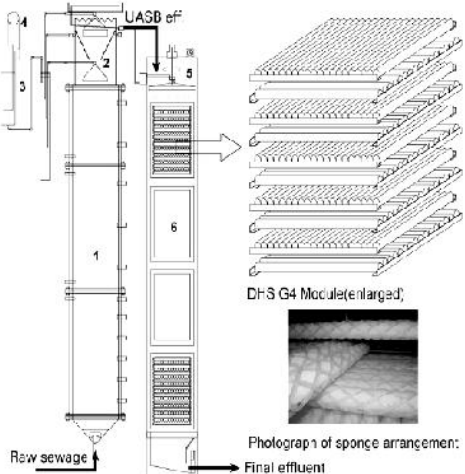
equipo sólo pudo realizar muestreos durante dos meses en los cuales logró obtener algunos resultados de inicio de operación del reactor.

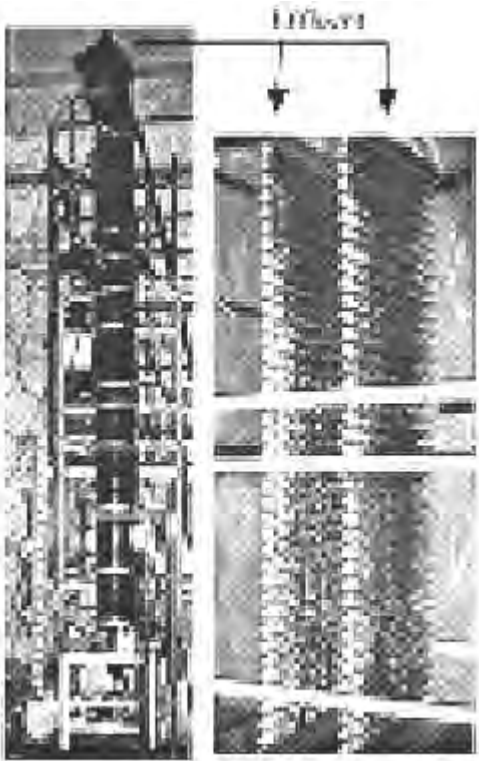
A continuación se presentan unos cuadros de resumen de las principales investigaciones realizadas en tecnología DHS.

Investigación Literaria: Eficiencia del Tratamiento de Efluentes del UASB mediante el Sistema DHS

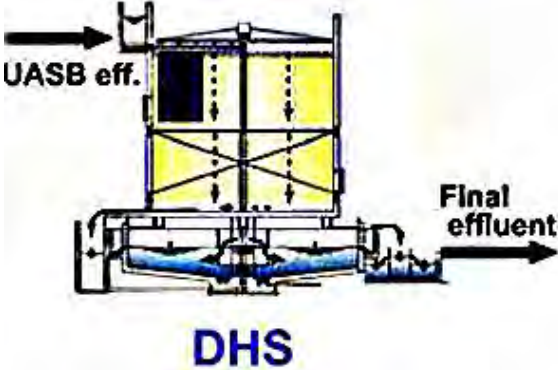
Remoción de Material Orgánico

En el siguiente cuadro se presentan los estudios que hacen referencia a la remoción de material orgánico mediante tecnología DHS. Detallamos su diseño, resultados obtenidos y observaciones.

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
 <p>M. Tandukar, S. Uemura I.</p> <p>A low-cost municipal sewage treatment system with a combination of UASB and the "fourth-generation" downflow hanging sponge reactors</p> <p>2005</p>	<p>El estudio de la eficiencia de un reactor UASB con un sistema secundario DHS de cuarta generación construido a escala piloto en una planta de tratamiento de aguas residuales en Nagaoka, Japón. El sistema consistió de empaques horizontales de tiras largas de esponjas colocadas dentro de una malla rígida.</p> <p>Diseño: Altura total: 4 metros HRT UASB: 6 horas HRT DHS: 2 horas TEMP: 20 – 25 °C Inóculo: NO Periodo de arranque: 2 semanas Periodo de operación: 600 días</p>	<p>Resultados:</p> <p>Remoción de 67% 94% DBO: UASB + DHS = 96% (9mg/l)</p> <p>Remoción de 63% 76% DQO: UASB + DHS = 91% (46 mg/l)</p> <p>Remoción de 75% 91% SS: UASB + DHS = 93% (17 mg/l)</p> <p>Observaciones:</p> <p>El rendimiento del sistema se mantenía constante independientemente de la calidad del afluente.</p>

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p data-bbox="296 298 575 326">I.Machdar, Y.Sekiguchi</p> <p data-bbox="296 362 831 477">Combination of a UASB reactor and a curtain type DHS reactor as a cost effective sewage treatment system for developing countries 2000</p> <p data-bbox="327 483 405 508">UASB</p> <p data-bbox="495 483 737 508">DHS Modelo cortina</p> 	<p data-bbox="877 298 1392 721">El estudio de la eficiencia de un reactor UASB con un sistema secundario DHS de tipo cortina de segunda generación construido a escala piloto en una planta de tratamiento de aguas residuales en Nagaoka, Japón. El sistema consistió de módulos verticales compuestos de cientos de prismas de esponjas de 3 cm. De lado x 75 cm. de largo adheridos en forma horizontal a una lámina plástica por ambos lados formando una cortina. Estas láminas de 75 cm. de ancho x 200 cm. de largo. El experimento fue llevado en dos fases:</p> <p data-bbox="877 756 1056 781">Diseño Fase I:</p> <p data-bbox="877 816 1335 1149">Caudal afluente: Q Altura total: 2 metros (dos módulos de cortinas colocadas en paralelo) HRT UASB: 6 horas HRT DHS: 2 horas TEMP: 20 – 25 °C Inóculo: Sl. Mezcla de líquido de lodos activados aplicado por un día previo al arranque Periodo de arranque: 2 semanas Periodo de operación: 262 días</p>	<p data-bbox="1411 298 1503 323">FASE I</p> <p data-bbox="1411 329 1751 444">Remoción de 66% 92% DBO: UASB + DHS = 97% (4mg/l)</p> <p data-bbox="1411 451 1776 566">Remoción de 58% 60% DQO: UASB + DHS = 84% (9 mg/l) Total</p> <p data-bbox="1411 573 1782 688">Remoción de 64% 56% DQO : UASB + DHS = 84% (7 mg/l) Soluble</p> <p data-bbox="1411 695 1759 812">Remoción de 61% 50% SS: UASB + DHS = 79% (16 mg/l)</p> <p data-bbox="1411 818 1782 933">Remoción de 61% 50% SSV: UASB + DHS = 80% (18 mg/l)</p> <p data-bbox="1411 940 1507 964">FASE II</p> <p data-bbox="1411 971 1759 1086">Remoción de 66% 80% DBO: UASB + DHS = 94% (10mg/l)</p> <p data-bbox="1411 1092 1787 1208">Remoción de 58% 58% DQO: UASB + DHS = 81% (11 mg/l) Total</p>

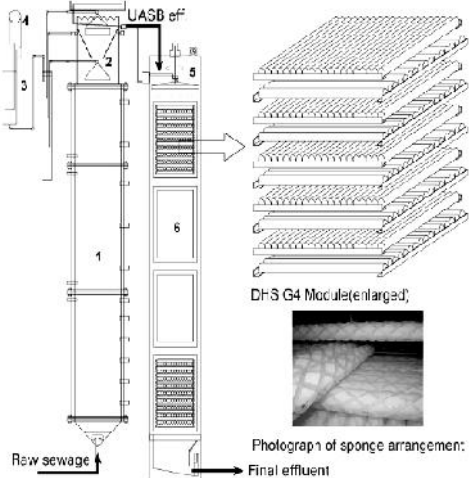
	<p>Diseño Fase II:</p> <p>Caudal afluente: 2Q Altura total: 4 metros (dos módulos de cortinas colocadas en serie) HRT UASB: 6 horas HRT DHS: 2 horas TEMP: 20 – 25 °C Inóculo: NO. Arranca del sistema anterior Periodo de arranque: 0 días Periodo de operación: 288 días</p>	<p>Remoción de 64% 59% DQO : UASB + DHS = 85% (6 mg/l) Soluble</p> <p>Remoción de 61% 18% SS: UASB + DHS = 63% (20 mg/l)</p> <p>Remoción de 61% 26% SSV: UASB + DHS = 71% (18 mg/l)</p> <p>Observaciones: El sistema produjo calidad superior de efluente en DBO. No se encontraron mayores diferencias entre la eficiencia de las dos fases en cuanto a remoción de DBO y DQO. La Fase II mostró menor eficiencia de remoción de SS, debido a una mayor velocidad de flujo. Con respecto al modelo de cubos, el modelo cortina presentó menor eficiencia en la remoción de orgánicos particulados por la desuniformidad en la distribución del caudal.</p>
--	---	--

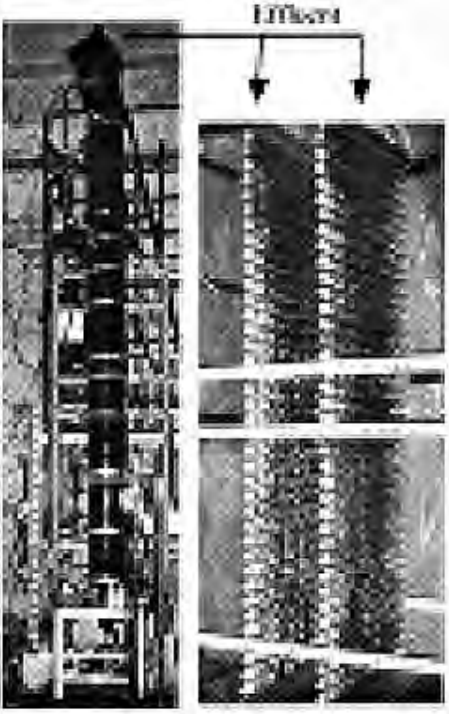
Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p data-bbox="296 293 470 318">Hideki Harada</p> <p data-bbox="296 354 846 440">India Japan international collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-Effective and Minimum Energy</p> <p data-bbox="296 475 359 500">2008</p> 	<p data-bbox="882 261 1392 683">Sistema combinado de UASB con DHS de 2G o “tipo cortina” a escala real para el tratamiento de los efluentes al río Yamuna en la India. El sistema consistió de tiras horizontales en forma prismática de esponjas de 2.5 cm. de lado pegadas por ambos lados en hojas de plástico. El volumen total de la esponjas ocupaban casi el 25% del volumen de la torre. El agua residual ingresaba por la parte superior y por diferencia de presiones activaba un brazo rotatorio que distribuía el caudal. El efluente se hacía recircular en el sistema en un 50%.</p> <p data-bbox="882 719 1381 1052">Diseño: Caudal de Diseño: 1000 m³/día Caudal de tratamiento: 500 m³/día Altura total del contenedor de esponjas: 5.3 metros Diámetro del contenedor de esponjas: 5.5 m. HRT UASB: 8.6 horas HRT DHS: 1.5 horas TEMP: 25 °C Periodo de operación: 900 días</p>	<p data-bbox="1413 293 1560 318">Resultados:</p> <p data-bbox="1413 354 1759 440">Remoción de DBO: UASB + DHS = 96% (6mg/l) 64%</p> <p data-bbox="1413 448 1759 534">Remoción de DQO: UASB + DHS = 92% (33 mg/l) 60%</p> <p data-bbox="1413 565 1791 651">Remoción de SS: UASB + DHS = 95% (8 mg/l) 61% 86%</p> <p data-bbox="1413 781 1602 805">Observaciones:</p> <p data-bbox="1413 841 1791 927">El periodo de retención efectivo de lodos en las esponjas se midió en 69 días.</p>

SS: Sólidos suspendidos. HRT: Periodo de retención. DBO: Demanda bioquímica de Oxígeno. DQO: Demanda química de oxígeno

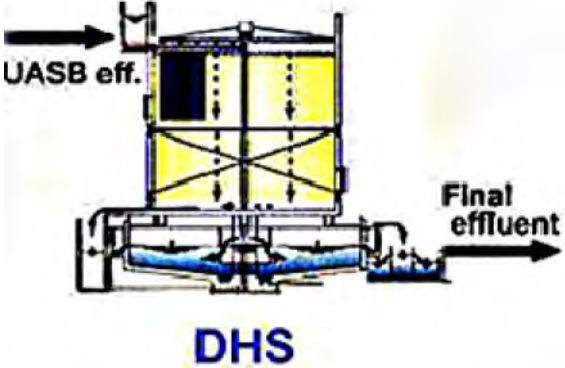
Remoción de Nitrógeno

En el siguiente cuadro se presentan los estudios que hacen referencia a la remoción de nitrógeno mediante tecnología DHS. Detallamos su diseño, resultados obtenidos y observaciones.

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p>M. Tandukar, S. Uemura I.</p> <p>A low-cost municipal sewage treatment system with a combination of UASB and the “fourth-generation” downflow hanging sponge reactors</p> <p>2005</p> 	<p>El estudio de la eficiencia de un reactor UASB con un sistema secundario DHS de cuarta generación construido a escala piloto en una planta de tratamiento de aguas residuales en Nagaoka, Japón. El sistema consistió de empaques horizontales de tiras largas de esponjas colocadas dentro de una malla rígida.</p> <p>Altura total: 4 metros HRT UASB: 6 horas HRT DHS: 2 horas TEMP: 20 – 25 °C Inóculo: NO Periodo de arranque: 2 semanas Periodo de operación: 600 días</p>	<p>Resultados:</p> <p>Remoción de NH₄-N: DHS= 28% (18mgN/l)</p> <p>Concentración de NO₂-N: DHS = 1 mgN/l</p> <p>Concentración de NO₃-N: DHS = 4 mgN/l</p> <p>Observaciones:</p> <p>El proceso de nitrificación en el DHS se desarrolla en la parte inferior del reactor.</p> <p>Los procesos de nitrificación y denitrificación se llevan a cabo simultáneamente en el reactor.</p> <p>Se observó una elevada nitrificación durante el periodo de arranque del reactor</p>

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p data-bbox="296 298 600 331">I.Machdar, Y.Sekiguchi</p> <p data-bbox="296 367 793 529">Combination of a UASB reactor and a curtain type DHS reactor as a cost effective sewage treatment system for developing countries 2000</p>  <p data-bbox="296 1271 380 1299">UASB</p> <p data-bbox="485 1271 747 1299">DHS Modelo cortina</p>	<p data-bbox="871 298 1373 829">El estudio de la eficiencia de un reactor UASB con un sistema secundario DHS de tipo cortina de segunda generación construido a escala piloto en una planta de tratamiento de aguas residuales en Nagaoka, Japón. El sistema consistió de módulos verticales compuestos de cientos de prismas de esponjas de 3 cm. De lado x 75 cm. de largo adheridos en forma horizontal a una lámina plástica por ambos lados formando una cortina. Estas láminas de 75 cm. de ancho x 200 cm. de largo. El experimento fue llevado en dos fases:</p> <p data-bbox="871 870 1373 1268">Diseño Fase I: Caudal afluente: Q Altura total: 2 metros (dos módulos de cortinas colocadas en paralelo) HRT UASB: 6 horas HRT DHS: 2 horas TEMP: 20 – 25 °C Inóculo: SI. Mezcla de líquido de lodos activados aplicado por un día previo al arranque Periodo de arranque: 2 semanas Periodo de operación: 262 días</p>	<p data-bbox="1402 298 1562 331">Resultados:</p> <p data-bbox="1402 367 1499 399">Fase I:</p> <p data-bbox="1402 435 1766 500">Remoción de NH₄-N: DHS= 49% (20mgN/l)</p> <p data-bbox="1402 535 1738 600">Concentración de NO₂-N efluente DHS = 0.8 mgN/l</p> <p data-bbox="1402 636 1738 701">Concentración de NO₃-N efluente DHS = 18 mgN/l</p> <p data-bbox="1402 737 1499 769">Fase II:</p> <p data-bbox="1402 805 1766 870">Remoción de NH₄-N: DHS= 62% (15mgN/l)</p> <p data-bbox="1402 906 1738 971">Concentración de NO₂-N efluente DHS = 1 mgN/l</p> <p data-bbox="1402 1006 1738 1071">Concentración de NO₃-N efluente DHS = 14 mgN/l</p> <p data-bbox="1402 1140 1612 1172">Observaciones:</p> <p data-bbox="1402 1208 1738 1299">El estudio demostró gran remoción de nitrógeno Kjeldahl y menores</p>

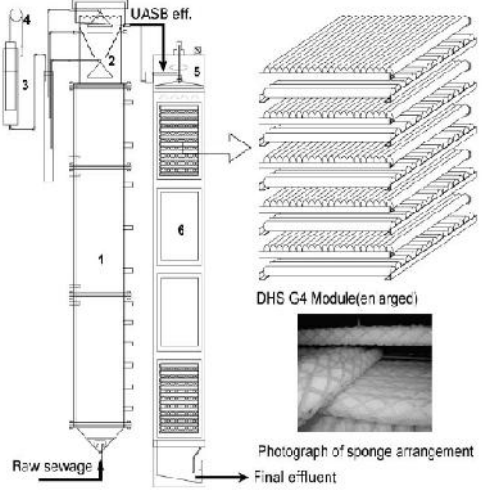
	<p>Diseño Fase II: Caudal afluyente: 2Q Altura total: 4 metros (dos módulos de cortinas colocadas en serie) HRT UASB: 6 horas HRT DHS: 2 horas TEMP: 20 – 25 °C Inóculo: NO. Arranca del sistema anterior Periodo de arranque: 0 días Periodo de operación: 288 días</p>	<p>remociones de las formas oxidadas de nitrógeno. Esto demuestra la ocurrencia simultánea de los procesos de nitrificación y desnitrificación en el DHS.</p>
--	--	---

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p>Hideki Harada</p> <p>India Japan international collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-Effective and Minimum Energy</p> <p>2008</p> 	<p>El reporte del funcionamiento de un sistema combinado de UASB con DHS de segunda generación o “tipo cortina” a escala real para el tratamiento de los efluentes que desembocan en el río Yamuna en la India. El sistema consistió de tiras horizontales en forma prismática de esponjas de 2.5 cm. de lado pegadas por ambos lados en hojas de plástico. El volumen total de la esponjas ocupaban casi el 25% del volumen de la torre. El agua residual ingresaba por la parte superior y por diferencia de presiones activaba un brazo rotatorio que distribuía el caudal. El efluente se hacía recircular en el sistema en un 50%.</p> <p>Diseño:</p> <p>Caudal de Diseño: 1000 m³/día Caudal de tratamiento: 500 m³/día Altura total del contenedor de esponjas: 5.3 metros Diámetro del contenedor de esponjas: 5.5 m. HRT UASB: 8.6 horas HRT DHS: 1.5 horas TEMP: 25 °C Periodo de operación: 900 días</p>	<p>Resultados:</p> <p>Remoción de NH₄-N: DHS= 82% (15mgN/l)</p> <p>Concentración de NO₃-N: DHS = 5 mgN/l</p>

NH₄-N : Nitrógeno Amoniacal. NO₂-N: Nitritos. NO₃-N: Nitratos. HRT: Periodo de retención.

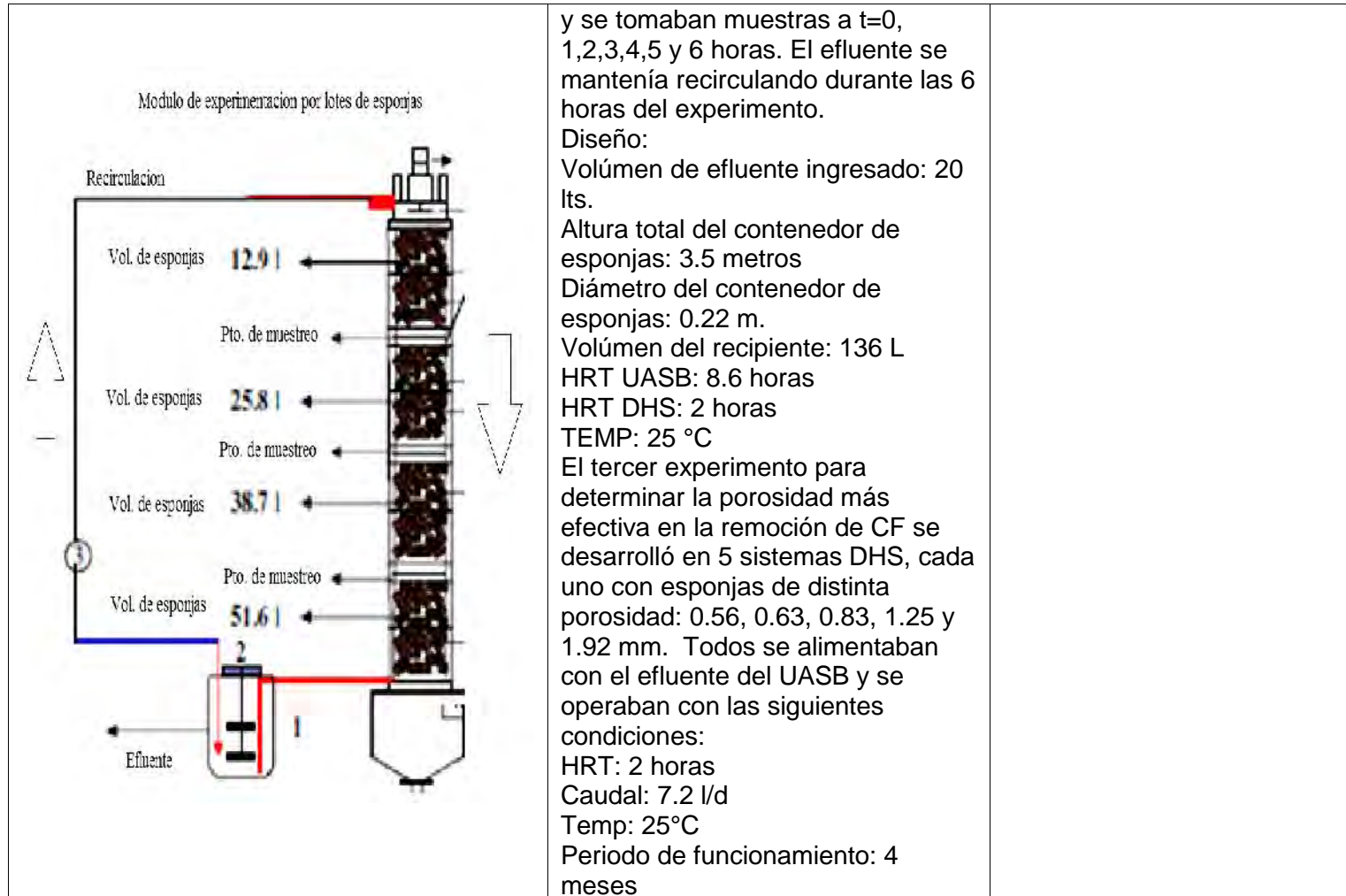
Remoción de Patógenos

En el siguiente cuadro se presentan los estudios que hacen referencia a la remoción de bacterias patógenas, principalmente Coliformes fecales o termotolerantes mediante tecnología DHS. Detallamos su diseño, resultados obtenidos y observaciones.

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p>M. Tandukar, S. Uemura I.</p> <p>A low-cost municipal sewage treatment system with a combination of UASB and the “fourth-generation” downflow hanging sponge reactors 2005</p> 	<p>El estudio de la eficiencia de un reactor UASB con un sistema secundario DHS de cuarta generación construido a escala piloto en una planta de tratamiento de aguas residuales en Nagaoka, Japón. El sistema consistió de empaques horizontales de tiras largas de esponjas colocadas dentro de una malla rígida.</p> <p>Altura total: 4 metros HRT UASB: 6 horas HRT DHS: 2 horas TEMP: 20 – 25 °C Inóculo: NO Periodo de arranque: 2 semanas Periodo de operación: 600 días</p>	<p>Resultados:</p> <p>Ley de Chick: 44 – 70/día</p> <p>Remoción de CF (NMP/100ml): 1.20 log 2.25 log UASB + DHS = 3.45 log (1.9 x 10⁴)</p> <p>Remoción de CT (NMP/100ml): 1.18 log 2.29 log UASB + DHS = 3.47 log (3.4 x 10⁴)</p> <p>Observaciones:</p> <p>El sistema DHS ha sido capaz de reducir la concentración de coliformes en 3 o 4 órdenes en un corto periodo de retención.</p>

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p data-bbox="296 298 485 326">Hideki Harada</p> <p data-bbox="296 367 877 464">India Japan international collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-Effective and Minimum Energy</p> <p data-bbox="296 500 365 527">2008</p> 	<p data-bbox="903 298 1377 930">El reporte del funcionamiento de un sistema combinado de UASB con DHS de segunda generación o “tipo cortina” a escala real para el tratamiento de los efluentes que desembocan en el río Yamuna en la India. El sistema consistió de tiras horizontales en forma prismática de esponjas de 2.5 cm. de lado pegadas por ambos lados en hojas de plástico. El volumen total de la esponjas ocupaban casi el 25% del volumen de la torre. El agua residual ingresaba por la parte superior y por diferencia de presiones activaba un brazo rotatorio que distribuía el caudal. El efluente se hacía recircular en el sistema en un 50%.</p> <p data-bbox="903 938 1003 966">Diseño:</p> <p data-bbox="903 974 1318 1002">Caudal de Diseño: 1000 m³/día</p> <p data-bbox="903 1010 1356 1037">Caudal de tratamiento: 500 m³/día</p> <p data-bbox="903 1045 1289 1073">Altura total del contenedor de esponjas: 5.3 metros</p> <p data-bbox="903 1081 1268 1109">Diámetro del contenedor de esponjas: 5.5 m.</p> <p data-bbox="903 1117 1192 1144">HRT UASB: 8.6 horas</p> <p data-bbox="903 1153 1176 1180">HRT DHS: 1.5 horas</p> <p data-bbox="903 1188 1079 1216">TEMP: 25 °C</p> <p data-bbox="903 1224 1304 1252">Periodo de operación: 900 días</p>	<p data-bbox="1398 298 1560 326">Resultados:</p> <p data-bbox="1398 367 1625 431">Remoción de CF (NMP/100ml):</p> <p data-bbox="1398 440 1654 467">0.24 log 1.69 log</p> <p data-bbox="1398 475 1675 503">UASB + DHS =</p> <p data-bbox="1398 511 1667 539">1.93 log (6.24 x 10⁴)</p>

Autor / Estudio/ Año	Contenido/Diseño	Resultados y Observaciones
<p data-bbox="296 298 785 358">A.Tawfik, F. El-Gohary, A. Ohashi, H. Harada</p> <p data-bbox="296 399 867 561">The influence of physical-chemical and biological factors on the removal of faecal coliform through down-flow hanging sponge (DHS) system treating UASB reactor effluent.</p> <p data-bbox="296 602 365 630">2006</p> <div data-bbox="317 691 840 1252"> <p data-bbox="411 691 800 724">Experimentos batch cónicos</p> </div>	<p data-bbox="900 266 1373 630">El objetivo del estudio fue observar los mecanismos de remoción de CF y los factores que intervienen en la remoción de patógenos en un sistema de tratamiento con esponjas. Se estudiaron los siguientes mecanismos: adsorción, predación y muerte natural. Y las siguientes variables: tiempo de contacto, volumen de esponjas, tamaño del poro y pH.</p> <p data-bbox="900 634 1373 1097">Se realizaron tres experimentos. El primero para determinar los mecanismos de remoción de CF consistió en colocar esponjas dentro de frascos cónicos con efluentes de UASB. Los primeros dos frascos fueron inoculados con esponjas con biomasa. En el tercer frasco no se pusieron esponjas. En uno de los frascos con esponjas se colocó un inhibidor de desarrollo de predadores (protozoarios y rotíferos). Los tres frascos fueron aireados durante 47 horas.</p> <p data-bbox="900 1102 1373 1299">El segundo ensayo se desarrolló en un sistema DHS G3 de 4 segmentos para determinar los factores que afectaban la remoción de CF. El sistema se alimentaba con efluentes del UASB</p>	<p data-bbox="1396 298 1556 326">Resultados:</p> <p data-bbox="1396 367 1789 724">El mecanismo preponderante en la remoción de coliformes fue la adsorción, seguido por la predación. La muerte de los microorganismos es un mecanismo de remoción menor en el sistema DHS. El aumento del tiempo de contacto y el volumen de esponjas dieron resultados positivos.</p> <p data-bbox="1396 732 1772 829">El cambio del pH entre 6.5 y 9 no mostró un impacto significativo.</p> <p data-bbox="1396 837 1789 1000">La reducción del tamaño del poro de las esponjas de 1.92 a 0.56 mm. Incrementó la remoción de coliformes en $1.3 \log_{10}$.</p>



CF: Coliformes Fecales. CT: Coliformes Totales. HRT: Periodo de retención.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

II.1 Criterios de selección de los parámetros del estudio

Para evaluar la eficiencia del sistema DHS en la depuración de los efluentes del reactor UASB, se ha seleccionado para este estudio ciertos parámetros asociados básicamente con la remoción de contaminantes orgánicos y microbiológicos de los efluentes del reactor UASB. La selección de los parámetros que están asociados con estos procesos de depuración y aquellos que permiten interpretar sus variantes se sustentan a continuación.

II.1.1 Temperatura

La temperatura tiene un efecto directo sobre las reacciones químicas y biológicas en el proceso de tratamiento del agua residual. No solo influye en las actividades metabólicas de la población microbiana sino también tiene un efecto importante sobre los factores de transferencia de gases, concentración de oxígeno disuelto y las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

Las temperaturas óptimas para la actividad bacteriana se encuentran en el rango de 25 a 35 °C.

II.1.2. pH

Es la medida de la acidez o alcalinidad del agua residual referida a la concentración del ion hidrógeno. El agua residual con una concentración extrema de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos, y si la

concentración no es alterada antes de la descarga, afectará la calidad del curso de agua receptor, alterando el rango de pH que permite la vida acuática (entre 6 y 9).

Asimismo, en el proceso de nitrificación, la producción de amoníaco y amonio está determinada por el pH. En rangos de pH de 9 a 12, el amoníaco tiene una prevalencia, mientras que en rangos de pH de 7 a 9, el amonio prevalece.

II.1.3 La conductividad

La conductividad representa la capacidad de una muestra de agua para conducir la corriente eléctrica. Este valor depende de la concentración total de las sustancias ionizadas disueltas en el agua y la temperatura a la que se hizo la medida. La conductividad tiene una gran relación con la concentración de sólidos disueltos en el agua. En el presente estudio, este parámetro servirá de referencia para comparar con los valores de concentración de sólidos disueltos en las muestras analizadas en laboratorio. Según los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, la conductividad puede ser usada como una medida de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) en una muestra a través de la siguiente relación:

$$\frac{SDT \left(\frac{mg}{l} \right)}{EC \left(\frac{dS}{m} \text{ o } \frac{\mu mho}{cm} \right)} = 0.55 - 0.70 \quad (1)$$

Si el valor excede o está fuera de estos límites, entonces se debe reanalizar la conductividad o los SDT. También cabe la posibilidad de la interferencia en los resultados del amoníaco o nitritos cuando se encuentran en elevadas concentraciones.

II.1.4 El Oxígeno Disuelto

Dentro de las reacciones biológicas y químicas que ocurren en el agua residual, el oxígeno es el elemento que juega el papel más importante. La solubilidad del oxígeno en aguas residuales es aproximadamente el 95% de la solubilidad del oxígeno en agua limpia.

La determinación del oxígeno disuelto en aguas residuales es importante porque en combinación con la DBO₅, indica la evolución del proceso de

estabilización del agua residual. La tasa de consumo de oxígeno está relacionada estequiométricamente al uso orgánico y al crecimiento celular.

II.1.5 La Turbiedad

Es un parámetro usado para evaluar la calidad de los efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales con respecto a su contenido de material suspendido coloidal y residual. En este estudio, este parámetro sirve para llevar un control rápido del proceso de tratamiento. Sin embargo, no existe una correlación entre la turbiedad y los sólidos totales suspendidos en una muestra. (Tchobanoglous, et al, 2003)

II.1.6 Los Sólidos

La caracterización física más importante en el agua residual es la determinación de su contenido de sólidos totales ST, que está compuesto de materia suspendida, materia sedimentable, materia coloidal y materia en solución. En la Tabla 2.1 se describen definiciones de los sólidos en el agua residual, en la Figura 2.1 se puede observar la interrelación entre ellos y en la Figura 2.2 la clasificación de los sólidos presentes en el agua residual según su tamaño.

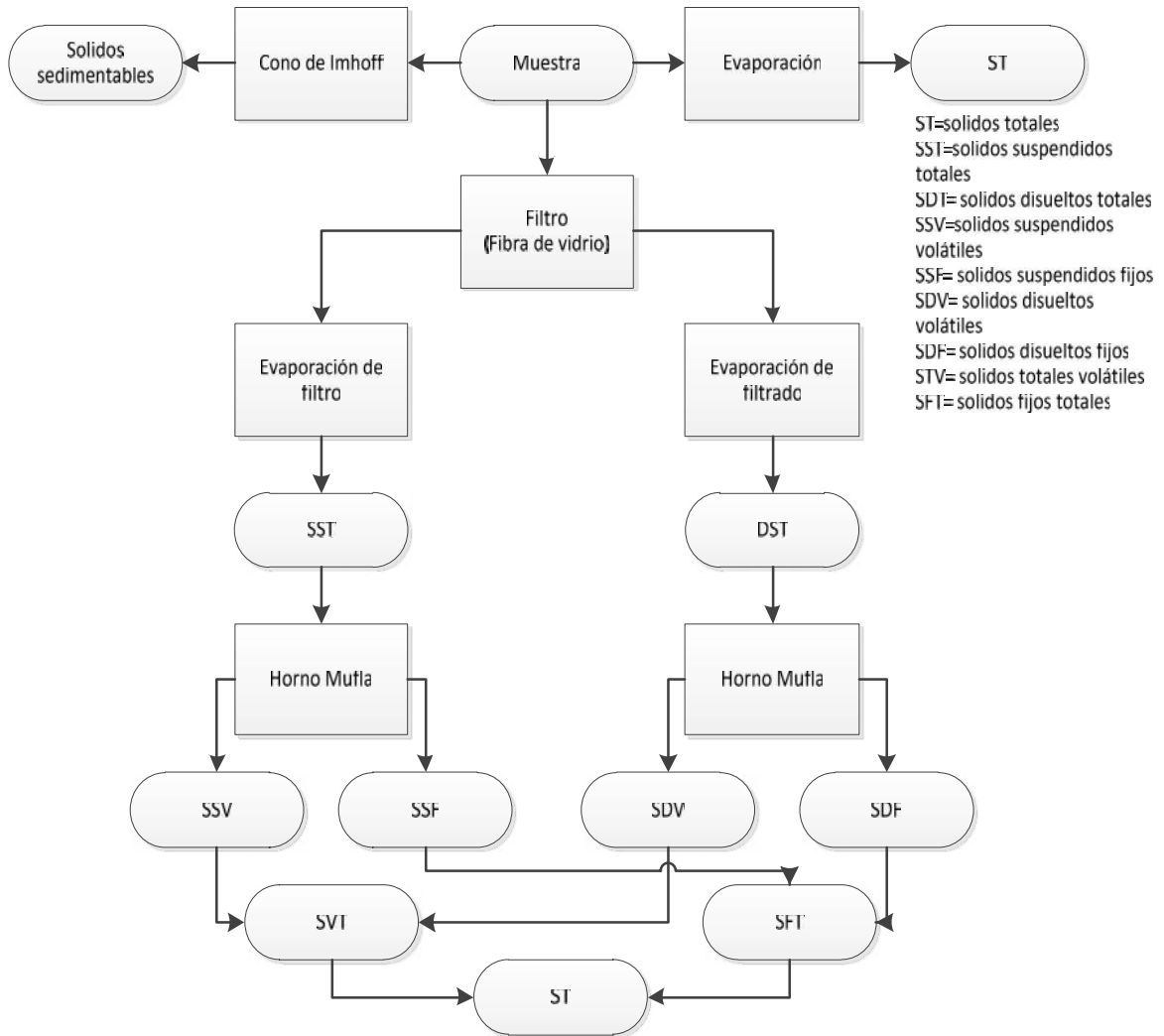
Tabla2.1: Definiciones de los sólidos en el agua residual

Prueba*	Descripción
Sólidos totales (ST)	El residuo que queda después de que una muestra de las aguas residuales se ha evaporado y secado a una temperatura especificada (103 a 105°C)
Sólidos totales volátiles (STV)	Los sólidos que son volatilizados y quemados cuando los ST están calentados a (500 ± 50°C)
Sólidos totales fijos (STF)	El residuo que queda después de que los ST se calientan a (500-50°C)
Sólidos suspendidos totales (SST)	Parte de los ST retenidos en un filtro con un específico tamaño de poro, medido después de secado a temperatura especificada de 105°C. El más fino usado comúnmente para la determinación de SST es el filtro de fibra de vidrio Whatman, que tiene tamaño de poro nominal o de unos 1.58µm.
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	Los sólidos que pueden ser volatilizados y quemados, cuando el TSS está calentándose a (500 ± 50°C)
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	El residuo que queda de los SST al calentarse a (500 ± 50°C)
Sólidos disueltos totales (SDT) (ST-SST)	Los sólidos que pasan por el filtro y se evaporaron y secan a la temperatura especificada. Cabe señalar que lo que se mide como SDT se componen de sólidos coloidales y disueltos. Los coloides son típicamente en rango de tamaño de 0.001 a 1µm.
Sólidos disueltos volátiles totales (SDVT)	Los sólidos que pueden ser volatilizados y quemados cuando el STD son calentados a (500 ± 50°C)
Sólidos disueltos fijos (SDF)	El residuo que queda después de STD son calentados a (500 ± 50°C)
Sólidos sedimentables** (SS)	Sólidos suspendidos, expresados en mililitros por litro, que se asientan de la suspensión en un plazo de una hora.

*Adaptado de "Métodos Estándar" (1998).

**Con la excepción de sólidos sedimentables, todos los valores de sólidos se expresan en mg/L.

Fuente: G. Tchobanoglobus, et al, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, (Tchobanoglous et al, 2003)



Fuente: Tchobanoglous, et al, 2007. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse.

Figura 2.1: Interrelación entre los sólidos presentes en el agua residual

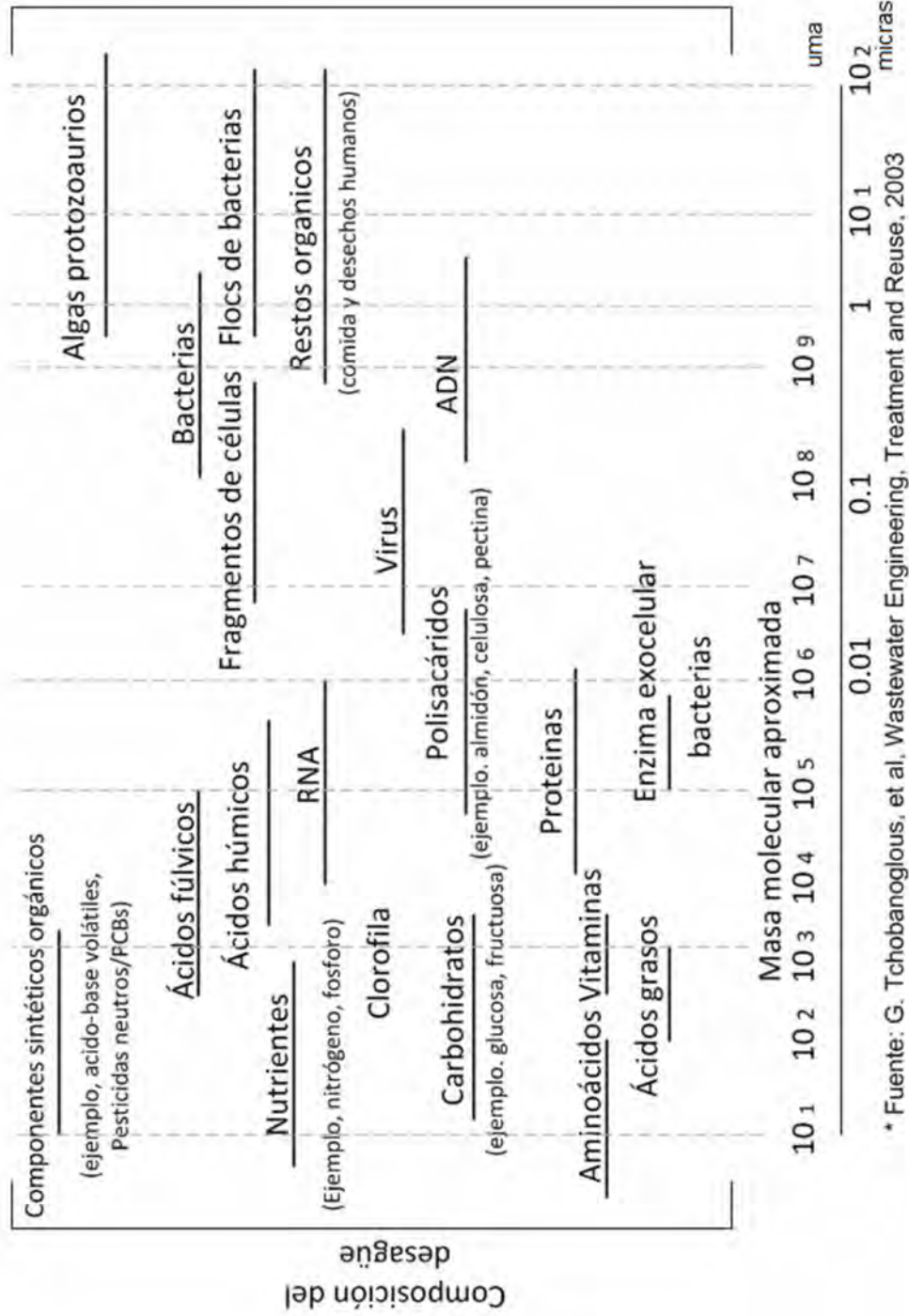


Figura 2.2
 Tipo de materiales que componen los sólidos según rangos de tamaño*

La evaluación de sólidos en aguas residuales se hace para evaluar su potencial de reuso y para determinar las operaciones unitarias y procesos en su tratamiento.

Dentro de esta clasificación, los sólidos sedimentables son un parámetro importante a evaluar porque permite conocer la cantidad de sólidos que sedimentarán por gravedad en un tiempo específico y con ello deducir el volumen de lodos que se generarán en el proceso de tratamiento y el dimensionamiento de las unidades de sedimentación.

La medición de sólidos suspendidos totales (SST) es un parámetro importante a considerar en este estudio porque es una forma estandarizada de medir la eficiencia de los procesos de tratamiento y determinar la necesidad de filtración en caso que el agua va a ser reusada. Por otro lado, este parámetro es el segundo en importancia en la legislación Peruana para determinar si el agua residual tratada cumple con los estándares de calidad ambiental (Anexo 01) para ser vertida a un curso de agua receptor, ya que está asociado a la formación de depósitos de lodo y a condiciones anaerobias en el mismo. La cinética de crecimiento microbiano es determinante en la concentración de sólidos suspendidos totales en el reactor, ya que realiza la oxidación del sustrato y la producción de biomasa.

Por definición, los sólidos disueltos (SD) son aquellos sólidos en el filtrado de una muestra que atraviesan un filtro de 2 μm . o menos de porosidad (Standard Methods 1998). Sin embargo, se conoce que el agua residual tiene un alto contenido de sólidos coloidales. El rango de partículas coloidales en el agua residual se encuentra en el rango de 0.01 a 1 μm . Otros investigadores inician el rango en 0.001 μm y otros en 0.003 μm . En el presente estudio se ha utilizado un filtro Whatman 40 de 40 μm porosidad. Las partículas retenidas en este filtro vienen a formar parte de los sólidos suspendidos que en la práctica se remueven mediante filtración y procesos biológicos.

La diferenciación entre estas dos fracciones de sólidos, los suspendidos y los disueltos, es importante en la determinación de los procesos de tratamiento que requieren las aguas residuales tales como sedimentación secundaria, filtración y desinfección. La eficiencia de la desinfección mediante el cloro y

los rayos UV está determinada por el tamaño de las partículas presentes en el agua residual.

Por otro lado, los sólidos suspendidos volátiles (SSV), que constituyen la fracción del contenido orgánico de los sólidos suspendidos, viene a ser en realidad la biomasa activa en la muestra. La biomasa activa se define como “la cantidad de cultivo vivo que está en crecimiento” (Tchobanoglous, et al, 2003). Los otros componentes que constituyen los SSV son restos de material celular (10 – 15% de la masa celular) que no son biodegradables y otros SSV no biodegradables o de muy lenta biodegradación contenidos en el efluente del reactor UASB. Es por esto que el monitoreo de este parámetro indicará el aumento en la biomasa, y está también relacionado con la DQO particulada (DQO Total menos DQO Soluble).

La fracción de sólidos volátiles totales (SVT) determina el contenido de materia orgánica en el agua residual, mientras que los sólidos fijos totales (SFT) indica la fracción de elementos inorgánicos contenidos en el agua residual. La fracción de sólidos volátiles disueltos (SVD) son aquellas partículas de la muestra que han atravesado el filtro Whatman 40 y que son más rápidamente digeribles por los microorganismos. Al monitorear este parámetro se puede conocer la variación del contenido de las partículas orgánicas biodegradables en las muestras tomadas en las diferentes estaciones de muestreo del reactor y evaluar la eficiencia con la que se están realizando los procesos biológicos de degradación de materia orgánica en el mismo.

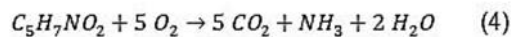
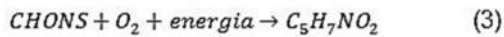
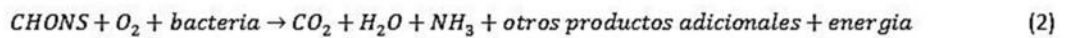
II.1.7 La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente en el agua residual. Se analiza mediante la medición del consumo de oxígeno disuelto por los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. (Tchobanoglous, et al, 2003).

Sus resultados fueron empleados para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente en cada uno de los puntos de monitoreo del reactor DHS, pudiendo conocer la evolución del proceso de tratamiento.

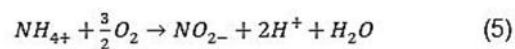
Si existiera la suficiente disponibilidad de oxígeno, la descomposición biológica aerobia continuaría hasta que todos los residuos fueran consumidos. Pero hay que considerar que adicionalmente se presentan otros procesos en la descomposición: primeramente, una porción de los residuos son oxidados a compuestos primarios para obtener energía para el mantenimiento celular y la síntesis de nuevo tejido celular. Simultáneamente otra porción de los residuos son convertidos a nuevo tejido celular usando parte de la energía liberada durante su oxidación. Finalmente, cuando la materia orgánica se ha consumido en su totalidad, las nuevas células comienzan a consumir su propio tejido celular para obtener energía para su mantenimiento. Este tercer proceso es conocido como respiración endógena. Si no existieran interferencias, estos tres procesos se pueden resumir en las siguientes ecuaciones:

Oxidación:



Síntesis:

Nuevo tejido celular. Respiración Endógena:



El proceso de nitrificación también genera un consumo de oxígeno que interfiere en la medición de la demanda biológica. Para evitar esta interferencia se utilizan inhibidores de los procesos de nitrificación en el análisis de laboratorio. En este estudio se ha desarrollado el análisis convencional de DBO₅ sin utilizar estos inhibidores.

II.1.8 La Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas residuales. En el ensayo de laboratorio se emplea un agente químico fuertemente oxidante (Dicromato de Potasio) para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. Se emplea también un catalizador (iones de Plata) para facilitar la oxidación de determinado tipo de compuestos orgánicos y iones de Mercurio para evitar la interferencia de los Cloruros. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su respectiva DBO_5 debido a diversas razones: la existencia de sustancias orgánicas que no son oxidables biológicamente como la lignina, pueden ser oxidadas químicamente; la presencia de sustancias inorgánicas que pueden ser oxidadas por el Dicromato incrementan el aparente contenido orgánico de la muestra; ciertas sustancias orgánicas presentes en la muestra pueden resultar tóxicas para los microorganismos usados en la prueba de la DBO_5 e inhibir sus funciones de oxidación del material orgánico.

Conforme se han venido desarrollando nuevos métodos de tratamiento biológico, especialmente concernientes a la remoción biológica de nutrientes, se ha presentado la necesidad de fraccionar la DQO. Las principales fracciones son la DQO particulada o no soluble y la DQO soluble que se separan mediante filtración de la muestra. En este estudio se ha utilizado una membrana de 0.45 micras para separar ambas fracciones.

La DQO particulada (la fracción de DQO total menos la soluble) es un indicador de las variaciones en la biomasa en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Se utiliza para definir la cinética de la biodegradación de los compuestos orgánicos porque se relaciona con la estequiometría del sustrato oxidado o usado en el crecimiento celular.

En comparación con la DBO_5 , usualmente se elige monitorear la DQO en procesos anaerobios ya que las concentraciones de oxígeno son limitadas en estos medios y porque presenta la ventaja de la rapidez de su análisis frente al de DBO_5 además de poder contar con mediciones complementarias de otros parámetros que nos permitirán desarrollar una interpretación más precisa de los resultados.

II.1.9 El Nitrógeno

Se usa para determinar la presencia de nutrientes y el grado de descomposición del agua residual. Las formas oxidadas (NO_3^- , NO_2^-) pueden interpretarse como una medida del grado de oxidación.

El monitoreo de este parámetro permite conocer cómo se está desarrollando el proceso de nitrificación en el sistema DHS. El proceso de nitrificación comprende la oxidación del Amoníaco (NH_3) en Nitrito (NO_2^-) y luego en Nitrato (NO_3^-). El estudio de este proceso es de gran importancia por las siguientes razones:

El efecto del amonio sobre aguas receptoras con respecto a la concentración de OD y a la intoxicación de los peces.

La necesidad de la remoción del nitrógeno para controlar la eutrofización.

La determinación si el agua residual tratada es apta para el reuso, incluyendo la recarga de acuíferos.

La fuente de nitrógeno presente en el agua residual que ingresa al reactor UASB es principalmente de origen animal y vegetal. El análisis del Nitrógeno en este estudio es de especial importancia por ser un elemento esencial en el desarrollo de los microorganismos, plantas y animales. Se le conoce como un nutriente o bioestimulante. Por ser el nitrógeno esencial en la síntesis de las proteínas, se necesitará evaluar la presencia del nitrógeno para determinar si el agua residual es apropiada para ser tratada biológicamente. Si la concentración de nitrógeno resulta insuficiente, se deberá añadir este componente para el tratamiento biológico, y si por el contrario está estimulando el crecimiento de algas en el medio receptor, entonces este deberá ser removido.

Las formas iónicas de nitrógeno comúnmente encontradas en el agua residual según su estado de oxidación son las siguientes: Amoníaco o Amonio gas (NH_3), Amonio (NH_4^+), Nitrógeno gas (N_2), Ion Nitrito, (NO_2^-) y Ion Nitrato (NO_3^-). El nitrógeno total está comprendido por Nitrógeno Orgánico, Amoníaco, Nitrito y Nitrato. La fracción orgánica consiste de una serie de compuestos complejos como aminoácidos, amino azúcares y proteínas. El nitrógeno en esta fracción se convierte rápidamente a Amonio por la acción

de los microorganismos en el ambiente acuático, por esta razón no se encuentra Urea en aguas residuales.

Tabla 2.2: Formas químicas y orgánicas del Nitrógeno en el agua residual doméstica

Formas de nitrógeno	Abreviatura	Definición
Amoniaco	NH ₃	NH ₃
Amonio	NH ₄	NH ₄
Nitrógeno amoniacal total	NAT	NH ₃ + NH ₄
Nitrito	NO ₂	NO ₂ ⁻
Nitrato	NO ₃	NO ₃ ⁻
Nitrógeno inorgánico total	NIT	NH ₃ + NH ₄ + NO ₂ + NO ₃
Nitrógeno Kjeldahl total	NKT	N Orgánico + NH ₃ + NH ₄
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	NKT- (NH ₃ + NH ₄)
Nitrógeno Total	NT	N orgánico + NH ₃ + NH ₄ + NO ₂ + NO ₃

Fuente: G. Tchobanoglobus, et al, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, (Metcalf & Eddy 2003)

En la Tabla 2.2 se puede observar las distintas especies de nitrógeno que se presentan en el agua residual. En este estudio, se han analizado los contenidos de Nitrógeno Amoniacal, Nitritos y Nitratos. El Nitrógeno Amoniacal se presenta como el ion Amonio (NH₄⁺) o el Amonio gas (NH₃) o amoníaco, dependiendo del pH de la solución. Conforme el pH se torna alcalino, incrementa la presencia de amoníaco, y conforme se acerque al rango neutro, incrementa la presencia de Amonio. Observe estas transformaciones en el Ciclo del Nitrógeno. Figura 2.3.

El Nitrito es bastante inestable y se oxida rápidamente a Nitrato. Es un indicador de contaminación pasada en el proceso de estabilización y normalmente se presenta con valores de 1mg/l en aguas residuales crudas. Aunque presente en concentraciones bajas, es un parámetro importante para monitorear porque es bastante tóxico para la vida acuática. Asimismo, el

Nitrito es oxidado por el Cloro, por lo que incrementa los costos de desinfección en una planta de tratamiento.

El Nitrato es la forma oxidada más comúnmente encontrada en el agua residual. Es un parámetro importante de monitorear cuando el efluente de un tratamiento secundario va a ser reutilizado para recarga de acuífero, pues es sumamente tóxico para infantes. En la legislación Peruana, el límite es de 10 mg/l como $\text{NO}_3\text{-N}$ para la conservación del ambiente acuático. En aguas residuales tratadas, asumiendo una nitrificación completa, se alcanzan rangos de 0 a 20 mg/l como $\text{NO}_3\text{-N}$.

II.1.10 Los Coliformes Termotolerantes

Se ha seleccionado este parámetro en el monitoreo de la remoción de organismos patógenos del agua residual mediante el sistema DHS por estar asociado a la contaminación fecal humana. El tracto intestinal humano contiene una gran población de enterobacterias de las cuales las bacterias coliformes son un indicador indirecto de la presencia de organismos patógenos que pueden estar presentes en las heces contaminantes de los cuerpos acuáticos. Sin embargo, es importante resaltar que la presencia de coliformes no siempre está asociada a la contaminación por heces humanas, ya que también se encuentran estos organismos en otros medios naturales como el suelo por ejemplo. Por esto, se han desarrollado indicadores más específicos como los Coliformes termotolerantes o fecales, *Klebsiella*, *E. coli*, *Streptococos fecales*, *Enterococos*, *Clostridium perfringens*, entre otros.

En el presente estudio se eligió analizar la especie Coliformes termotolerantes por ser el parámetro que figura en el reglamento de límites máximos permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas que están contemplados en el Decreto Supremo No. 003-2010-MINAM del Ministerio del Ambiente OS090, además de ser recomendado por la literatura como un indicador confiable para aguas residuales. (Tchobanoglous et al., 2003)

Los mecanismos de remoción de coliformes en el DHS son por adsorción, depredación, muerte natural y toxicidad del oxígeno; ya que estos microorganismos se desarrollan en medio anaerobio. (Tawfik et al., 2004). En la siguiente sección se profundizará en los mecanismos de remoción de patógenos en el DHS.

II.2 Fundamentos de Biología

El sistema de tratamiento secundario de los efluentes del reactor UASB mediante esponjas colgantes es considerado un proceso biológico de tratamiento de cultivo fijo, donde los microorganismos responsables de la transformación de la materia orgánica y otros constituyentes de las aguas residuales a gases y tejido celular están adheridos a algún medio inerte. También se les conoce como procesos de biopelícula (biofilm), cama biológica, film biológico y película biológica.

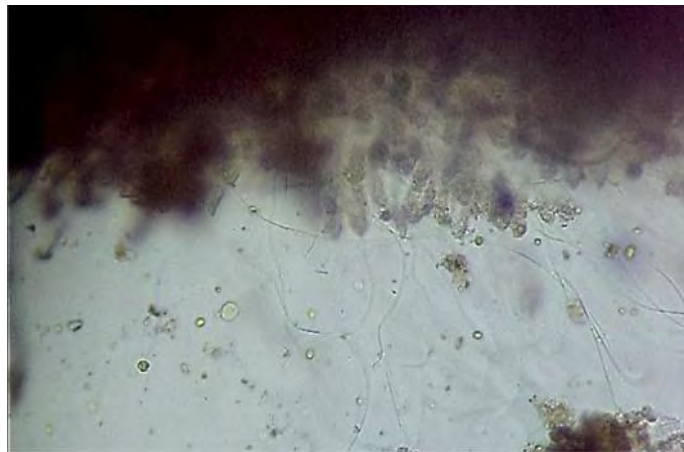
El desarrollo de los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales depende de la dinámica de la utilización del sustrato y del crecimiento microbiano en esta película biológica. El diseño y la operación efectiva del sistema DHS para el tratamiento de aguas residuales requieren de una comprensión de las interrelaciones biológicas que ocurren y de los principios básicos del desarrollo de microorganismos que se expone a continuación.

Para un desarrollo adecuado, los microorganismos deben tener disponibles fuentes de energía y carbón para la síntesis del nuevo material celular y elementos inorgánicos tales como el nitrógeno y el fósforo considerados como macronutrientes por requerirse en cantidades abundantes y micronutrientes como azufre, potasio, calcio, zinc, magnesio, cobre, molibdeno, hierro y cobalto. Nutrientes orgánicos también pueden ser requeridos para la síntesis de las células. A continuación se detallan las fuentes de carbono y energía, conocidos como sustratos y nutrientes que requieren los diversos tipos de microorganismos en la comunidad biológica del DHS.

II.2.1 Fuentes de Carbono.

Los microorganismos obtienen el carbón para el crecimiento celular a partir de la materia orgánica o del dióxido de carbono. Los microorganismos que usan el carbono orgánico para la formación de nueva biomasa son llamados heterótrofos mientras que los microorganismos que usan el dióxido de carbono son llamados autótrofos. La conversión del dióxido de carbono a compuestos celulares es un proceso de reducción que requiere energía. Por esta razón, los organismos autótrofos emplean mayor cantidad de energía en

sus procesos de síntesis que los heterótrofos presentando tasas de crecimiento menores. En el presente estudio se ha encontrado que en el DHS las bacterias nitrificantes se encuentran en mayor presencia en la fase final del tratamiento, donde disminuyen los organismos heterótrofos al bajar la carga orgánica.



Fuente: Fotograma de video de lodo en microscopio 40X. Laboratorio CITRAR, Enero 2012

Figura 2.3: Película biológica en el DHS

II.2.2 Fuentes de Energía.

La energía requerida para la síntesis celular puede ser tomada de la luz o por reacciones de oxidación química. Aquellos organismos capaces de utilizar la luz como fuente de energía son llamados fotótrofos y los organismos que derivan su energía a partir de reacciones químicas son los quimiótrofos. Estas bacterias pueden oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos para obtener energía. En el caso del sistema DHS, este funciona en ausencia de luz para evitar el crecimiento de algas que obstruyan el sistema, por lo tanto, en condiciones óptimas sólo existe presencia de organismos quimiótrofos. Estos organismos pueden ser heterótrofos como los protozoarios y la mayoría de bacterias o autótrofos como las bacterias nitrificantes. Los organismos quimio autótrofos obtienen energía a partir de las reacciones de oxidación de compuestos inorgánicos reducidos tales como el amoníaco, nitrito, hierro ferroso y sulfuros. Los quimioheterotrofos generalmente obtienen energía de la oxidación de compuestos orgánicos. En el siguiente esquema se sintetizan

las fuentes de carbono y de energía de los organismos que intervienen en los procesos biológicos en el sistema DHS.

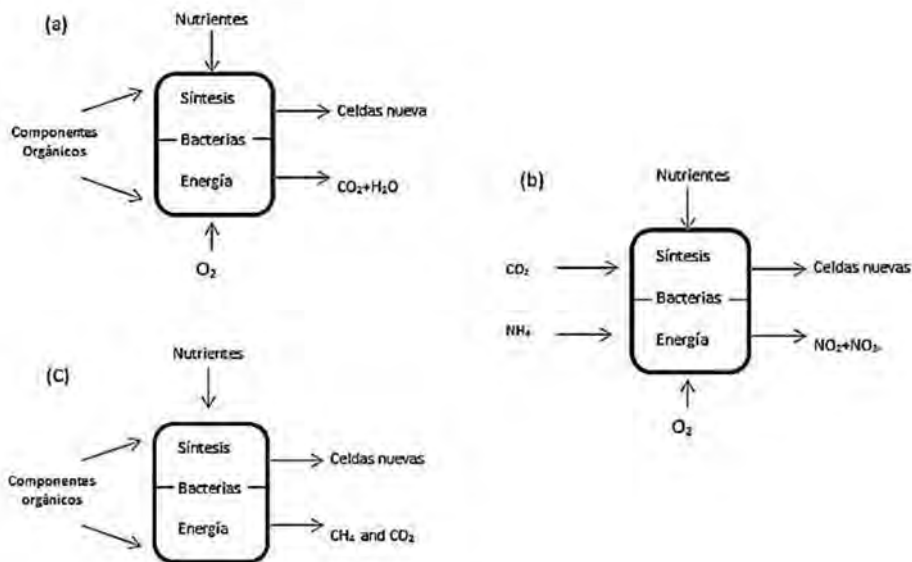


Figura 2.4

Esquema de las fuentes de carbono y de energía que utilizan para su metabolismo los Organismos presentes en el sistema DHS.

Fuente: Metcalf y Eddy et al (2003)

Ejemplos de metabolismo bacteriano: (a) Organismos aerobios heterótrofos
(b) aerobios autótrofos (c) anaerobios heterótrofos. (Tchobanoglous et al, 2003)

Figura 2.4: Fuentes de Carbono y de energía que utilizan para su metabolismo los organismos presentes en el sistema DHS

Otros factores de gran importancia en el desarrollo de los microorganismos del medio son la temperatura y el pH cuya importancia ya se explicó en la sección anterior.

La película biológica que se desarrolla en las esponjas contiene los microorganismos que remueven por biodegradación los sustratos del medio líquido. La comunidad biológica que conforma el sistema DHS se describe a continuación.

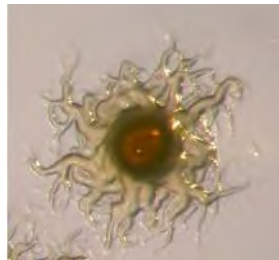
II.2.3 Organismos que intervienen en los procesos biológicos en el sistema DHS

- a. Bacterias: organismos unicelulares procariotas pertenecientes al reino protista. Haciendo una comparación con el sistema de filtros percoladores que es el sistema que más se asemeja a las condiciones de operación con el sistema DHS, los microorganismos que predominan son las bacterias facultativas. En general las bacterias son las encargadas de degradar la materia orgánica del agua residual. Las especies más comunes en los filtros percoladores son: *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* y *Alcaligenes* (en filtro percolador), *Acinetobacter* conjuntamente con *Clostridium* y *Bacillus*.



Achromobacter

<http://www.morebooks.de>



Flavobacterium

<http://users.jyu.fi/~lottari/research.html>



Pseudomonas bacterium

<http://www.comunicacion.amc.edu.mx>



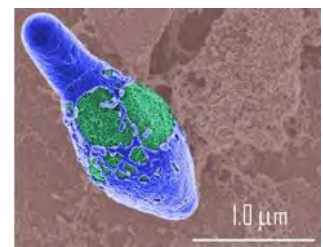
Alcaligenes

<http://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Alcaligenes>



Acinetobacter

<http://www.geekapolis.fooyoh.com>



Clostridium

<http://www.tumblr.com>

Figura 2.5: Especies comunes de bacterias en películas biológicas de tratamiento de aguas residuales

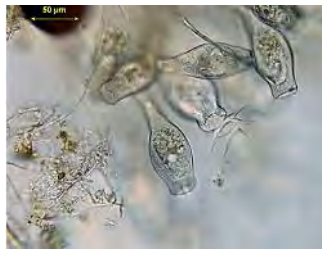
- b. Protozoarios: son organismos eucariotas microscópicos por lo general unicelulares y motrices. Los protozoarios pueden ser aerobios

heterótrofos, anaerobios facultativos o anaerobios estrictos. Los protozoarios son más grandes que las bacterias y se alimentan de ellas y de materia orgánica particulada. Los protozoarios predominantes son del grupo ciliados, incluyendo Vorticella, Opercularia y Epystilis (Hawkes, 1963. Higgins & Burns, 1975).



Vorticella

<http://microbewiki.kenyon.edu>



Opercularia

<http://www.micromagus.net>



Epystilis

<http://starcentral.mbl.edu>

Figura 2.6: Protozoarios ciliados característicos en películas biológicas de tratamiento de aguas residuales.

- c. Rotíferos: que son organismos eucariotas aerobios heterótrofos. Su nombre se debe al par de cilios rotatorios en su cabeza que lo usan para movilizarse y capturar comida. Los rotíferos son muy efectivos en el consumo de bacterias dispersas y floculadas y pequeñas partículas de materia orgánica. Su presencia en el efluente indica el final de un proceso eficiente de depuración biológica (G. Tchobanoglobus, et al, 2003).
- d. Virus: Son agentes compuestos de ácido nucleico (ADN o ARN) rodeado de una caparazón de proteínas. Los virus son parásitos intracelulares que se multiplican sólo dentro de una célula huésped. Los bacteriófagos son virus que infectan bacterias que intervienen en procesos depuración biológica de aguas residuales, pero no han sido implicados en infecciones humanas.
- e. Artrópodos: También se han observado artrópodos como larvas de moscas que se alimentan de la película biológica, hormigas que se alimentan de las larvas de moscas y arañas que se alimentan de las hormigas.



Larvas de moscas forman parte del ecosistema del DHS



Hormigas que se alimentan de larvas forman parte del ecosistema del DHS



Arañas que se alimentan de moscas y hormigas forman parte del ecosistema del DHS



Moscas *Psychoda* spp forman parte del ecosistema del DHS

Fuente: Fotos del DHS CITRAR, 2012.

Figura 2.7: Artrópodos que forman parte de la biocenosis del DHS

II.2.4 Mecanismos de depuración de patógenos y carga orgánica en el sistema DHS

En la siguiente sección se profundiza en los mecanismos físicos, químicos y biológicos, que intervienen en el tratamiento del agua residual en el sistema DHS.

La formación de la película biológica se lleva a cabo en tres etapas: adhesión inicial, proliferación y desprendimiento. Los mecanismos físicos son de mayor importancia en la primera fase de formación de la película biológica.



2 semanas



4 semanas



6 semanas



10 semanas

Fuente: Fotos del DHS CITRAR, 2012.

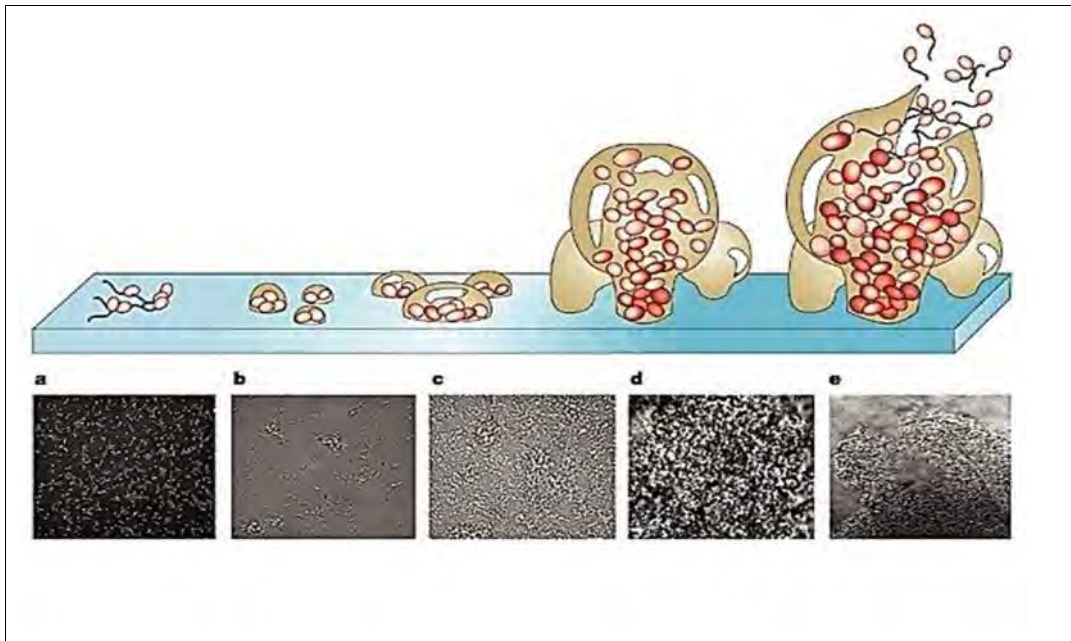
Figura 2.8: Etapas de la formación de la película biológica en las esponjas del reactor DHS

Existen dos mecanismos físicos responsables de la inmovilización de las bacterias en un flujo de agua residual que atraviesa un medio poroso: el "straining" o atascamiento y la adsorción. El mecanismo de atascamiento implica el atascamiento físico de la bacteria al no poder atravesar un espacio vacío por ser esta de mayor tamaño que el mismo. Los factores que influyen en el atascamiento son el tamaño del poro de la esponja, el tamaño de las bacterias y su forma, el grado de saturación del agua y el grado de obturación

del medio físico. Hay evidencias que la remoción de bacterias es más eficiente en filtros colmatados que en filtros no colmatados (Baars et al, 1957; Butler et al., 1954; Krone et al, 1958; Kristiansen, 1981); sin embargo, la colmatación dificulta otros procesos de remoción de contaminantes (Stevik et al. 2004).

Los factores que influyen sobre el mecanismo de adsorción de las bacterias al medio poroso son físicos, químicos y biológicos. Stevik et al (1999) encontraron que los factores físicos como el tamaño del poro, la tasa de carga hidráulica y el área superficial específica de los poros son los factores más importantes que afectan la remoción de patógenos.. Los factores químicos tales como el pH, el potencial iónico del agua residual y el oxígeno disuelto tienen un efecto muy limitado. Los mecanismos de remoción biológica de bacterias patógenas son: antibiosis, exposición a biocidas, predación, muerte natural y competencia por nutrientes o elementos en trazas (Green et al., 1997). Asimismo, los protozoarios juegan un rol importante en la predación de bacterias patógenas, tal como el E. coli en los filtros biológicos de arena.

En los medios porosos donde los poros son de mayor tamaño que las bacterias, el mecanismo dominante de retención de bacterias es la adsorción. Muchas de las bacterias colonizadoras son flageladas y estos flagelos le ayudan a adherirse a las superficies, pero también existe una sustancia que recubre exteriormente la pared celular llamada glycocalyx que le permite a la célula adherirse a las superficies inertes y entre ellas. Asimismo, esta sustancia puede conservar y concentrar enzimas extracelulares necesarias para ingerir el sustrato, especialmente de altos pesos moleculares o particulados contenidos en las aguas residuales. Por otro lado, la superficie de la película biológica tiene una alta adsorción debido en parte a su naturaleza polielectrolítica pudiendo colectar cantidades significativas de limos, arcillas y otras sustancias en aguas residuales (Charaklis, 1981). En la figura 2-9 se puede observar el proceso de desarrollo de la película biológica a través del tiempo.



Fuente: Electron Microscopic examination of Wastewater Biofilm Formation. TT Eighmy, D Maratea and P L Bishop. Applied Environmental Microbiology. 1983.

Fotografías del desarrollo periódico de la película biológica con muestras tomadas periódicamente cada 24 horas hasta las 144 horas.

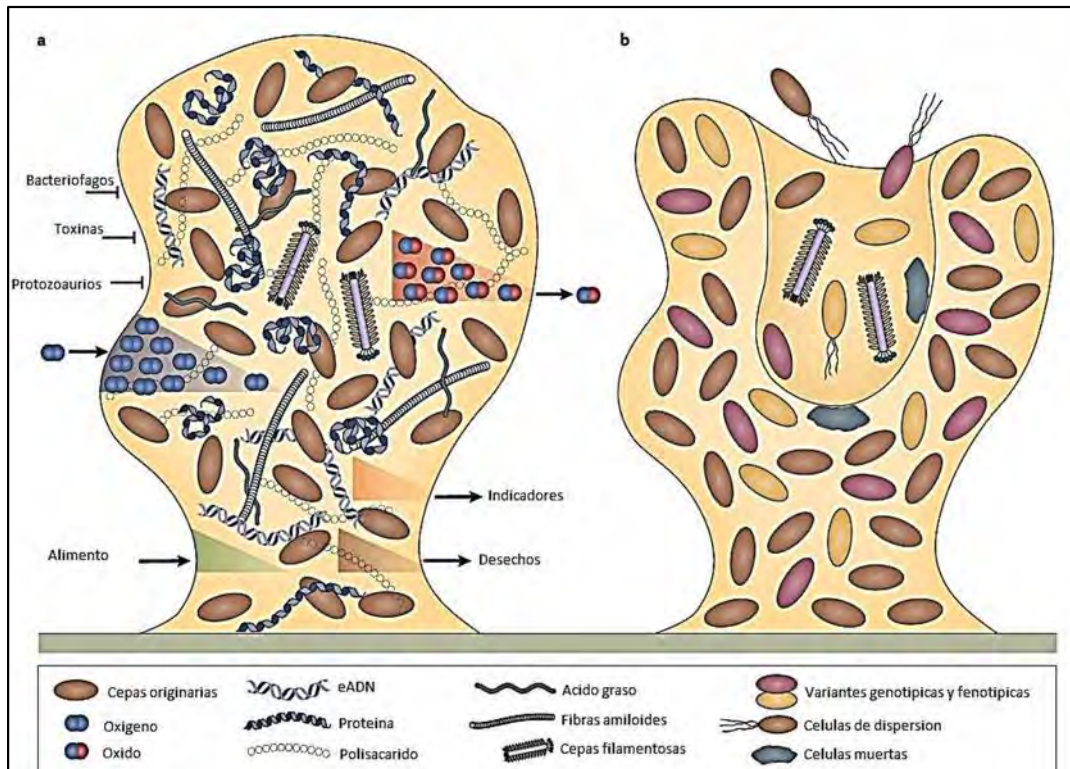
- (a) 24 horas. Nótese la división celular. El fondo negro es la matriz.
- (b) 48 horas. Crecimiento de población microbiana
- (c) 72 horas
- (d) 96 horas. El tamaño de las células es variable
- (e) 120 horas. Nótese el filamento entrelazado

Figura 2-9: Fotografías del desarrollo periódico de la película biológica

En el caso del presente estudio, los mecanismos de adhesión están presentes antes que los de atascamiento, ya que el diámetro promedio del poro de la esponja es muy superior que el tamaño promedio de una bacteria. Por lo tanto los mecanismos de adhesión prevalecen en la primera etapa de arranque del sistema DHS y luego intervienen los mecanismos de atascamiento conforme la biomasa se va desarrollando.

El material orgánico del afluente es adsorbido en la zona superficial del film biológico (0.1 a 0.2 mm.) donde es degradado por organismos aerobios. La capa biológica sobre la esponja puede alcanzar grosores de hasta 10 mm. Al ir desarrollando los microorganismos, la capa biológica se va engrosando y el

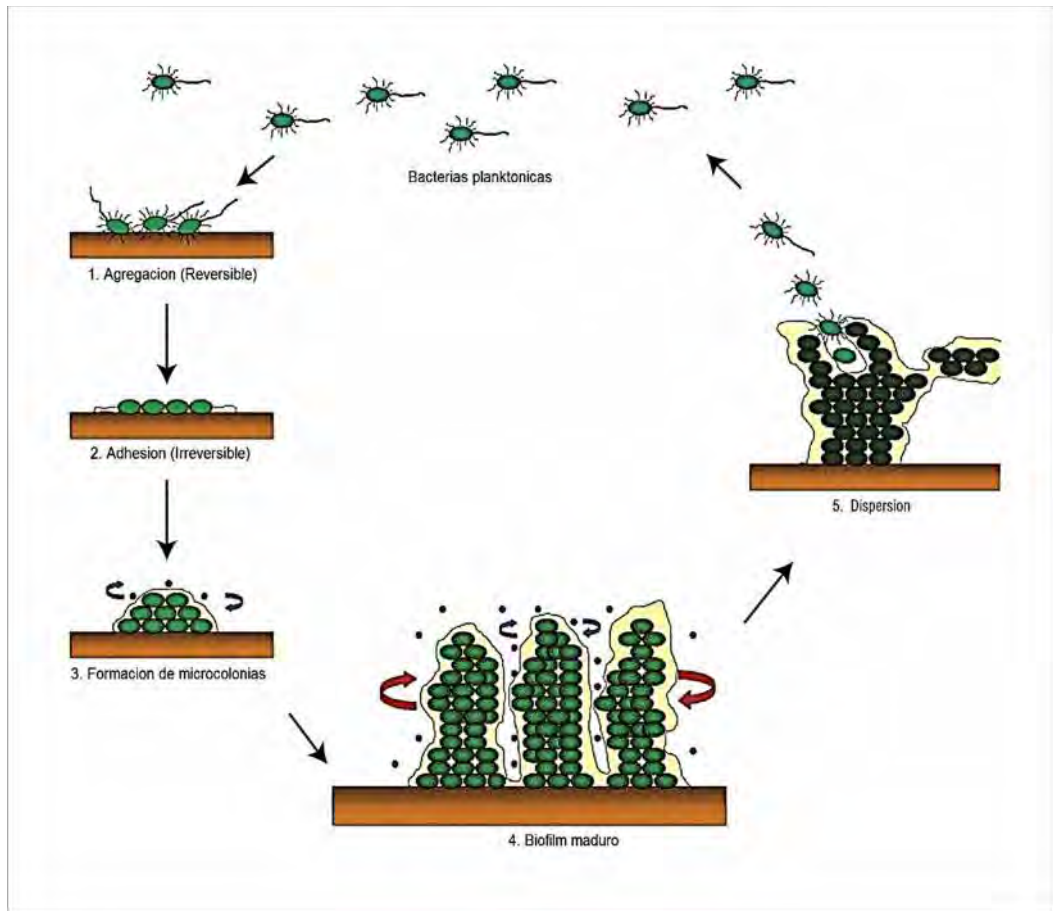
oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar en toda su profundidad, estableciéndose un ambiente anaerobio en las zonas inferiores más cubiertas. Para poder entender la dinámica biológica de la película biológica, se debe tener presente que una película biológica es un ensamblaje de microorganismos encapsulados en una matriz que funcionan como un consorcio. En la figura 2.10 se puede observar la estructura y dinámica de una película biológica. En la figura de la izquierda (a), se puede observar las microcolonias en la película biológica maduro caracterizadas por tener una matriz de sustancias poliméricas extracelulares compuestas por DNA, polisacáridos, proteínas, fibras de amiloides y bacteriófagos (EPS). Esta matriz protege a la comunidad bacteriana de la película biológica de los posibles predadores como protozoarios y litófagos así como de toxinas químicas. La matriz EPS puede ayudar a atrapar nutrientes y junto con las bacterias es responsable de los intercambios de oxígeno y nutrientes que ingresan y se expelen de la comunidad biológica. La arquitectura de la matriz de la película biológica no es sólida y presenta canales que permiten el flujo de agua, nutrientes y oxígeno incluso hasta las zonas más profundas de la película biológica. La existencia de estos canales no evita sin embargo, que dentro de la película biológica se encuentren ambientes diversos en los que la concentración de nutrientes, pH u oxígeno es diferente. Esta circunstancia aumenta la heterogeneidad sobre el estado fisiológico en el que se encuentra la bacteria dentro de la película biológica. En la imagen de la derecha (b) se observa el momento de la dispersión cuando las microcolonias entran en un estado de muerte celular y lisis y las bacterias móviles se dispersan abandonando la vieja colonia. Esta etapa también se caracteriza por la aparición de bacteriófagos y variaciones genéticas en el efluente de la película biológica. (McDougald, Rice et al, 2012).



Fuente: D. McDougald, S.Rice et al, 2012

Figura 2.10: Estructura y dinámica de una película biológica

Conforme la capa biológica se incrementa en grosor, el sustrato del agua residual es consumido antes de que pueda penetrar en las capas inferiores de la película biológica. En consecuencia, las bacterias en la película biológica adheridas a la superficie de la esponja entran en una fase de respiración endógena y pierden su fuerza de adhesión a la esponja, siendo arrastradas por el flujo del líquido. La esponja así queda lavada y una nueva capa biológica se comienza a desarrollar. A este fenómeno de desprendimiento de la capa biológica se le conoce como descamación o muda y está en función de la carga orgánica e hidráulica del sistema (Tchobanoglous et al, 2003). En la Figura 2-11 se puede observar la evolución y desprendimiento de la película biológica de una superficie, que es el proceso que ocurre en el sistema DHS.



Fuente: S. Gilmore, PhD. <http://archophyt.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=422017>

Las etapas 1 a 5 del ciclo de desarrollo de la película biológica. Los distintos tonos de verde representan diferentes niveles de expresión de la transcripción y traducción entre los estados planctónicos y las diferentes etapas de desarrollo de una película biológica bacteriana.

Figura 2.11: Etapas del ciclo de desarrollo de la película biológica

El desprendimiento de la película biológica del lecho filtrante se puede dar con distintas frecuencias dependiendo de las condiciones de operación y temperatura en donde opera el sistema de tratamiento.

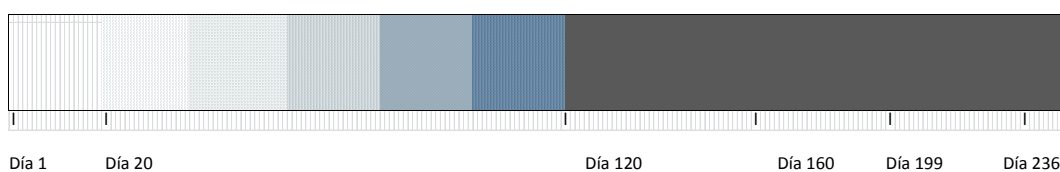
Por ejemplo, en los filtros percoladores de alta carga ocurren pequeños desprendimientos continuos debido al arrastre hidráulico, mientras que en filtros que operan en zonas templadas se presentan desprendimientos en la etapa primaveral en mayor escala. Esto es debido a que el incremento de temperaturas en esta etapa activa el metabolismo de las larvas que se alimentan de la película biológica y producen el desprendimiento mecánico de

los flóculos que se acumularon durante el invierno (Tchobanoglous et al, 2003).

En el caso del sistema DHS en estudio, se ha observado que el crecimiento de la película biológica en las esponjas comenzó aproximadamente a los 20 días de operación del reactor, cuando la biomasa comenzó a desarrollarse en las esponjas superiores de la primera columna del sistema DHS. Las esponjas de ambas columnas se cubrieron con biomasa en un periodo aproximado de 120 días de operación del reactor. (Ver Figuras 2-12 y 2-13)



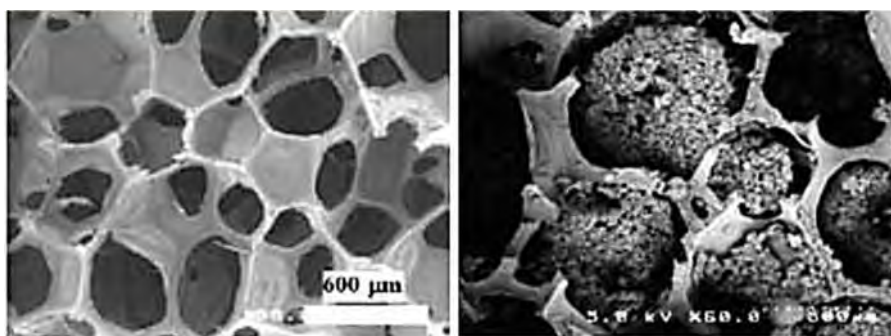
Figura 2.12: Evolución de la película biológica en el sistema DHS



Día 1: Inicio del funcionamiento del sistema DHS. Día 20: Aparición de biomasa en primera columna. Día 120: Las dos columnas de esponjas están cubiertas de biomasa. Día 160: Primer desprendimiento de biomasa. Día 199: Segundo desprendimiento de biomasa. Día 236: Fin del periodo de pruebas.

FIGURA 2.13: Diagrama de Evolución de biomasa en el Sistema DHS a través del tiempo

El desarrollo de la biomasa fue más rápido en la parte superior del reactor, ya que es la zona donde se reciben los sólidos del efluente del reactor UASB y están más concentrados. En la Figura 2-14 se puede observar una comparación microscópica entre una esponja vacía y una esponja colmatada.

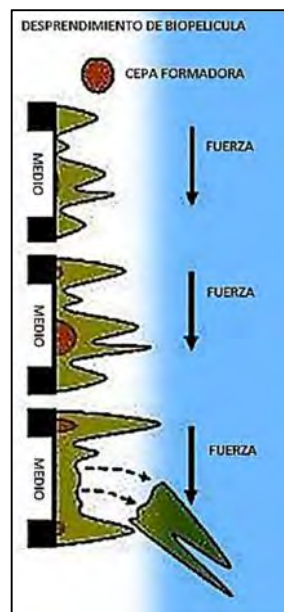


Fuente: Asian Science and Technology Seminar, 2008

Figura 2-14: Esponjas vacías y colmatadas en un reactor DHS

En cuanto a los mecanismos químicos de depuración del agua residual, la concentración de oxígeno disuelto en el DHS contribuye grandemente a la estabilización de la materia orgánica que ingresa al sistema. El DHS recibe los efluentes del reactor UASB sin oxígeno. Al fluir el agua residual por el reactor, humedece las primeras esponjas que encuentra a su paso, luego sale de ellas, entra en contacto con el aire y entra nuevamente a la siguiente esponja. Durante este patrón de flujo repetido, el aire se difumina en el agua residual creando un incremento de la concentración de OD. El OD final estuvo en el rango de 5 – 6 mg/l. En virtud de este fenómeno, no hay necesidad de aireación artificial en el reactor DHS.

Existen también mecanismos hidráulicos que influyen en el desprendimiento de la película biológica. La Figura 2.15 muestra el corte transversal del filtro donde se observa el efecto de arrastre de la película biológica por la velocidad del flujo. Es importante el control de la carga hidráulica en el sistema para que no se produzca un desprendimiento excesivo.



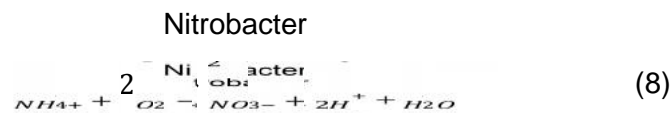
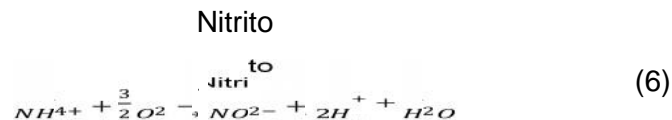
Fuente: clearwatertreatment.com.au

Figura 2.15: Mecanismo de desprendimiento por arrastre hidráulico de la película biológica.

II.3 Desarrollo de los procesos de nitrificación y desnitrificación en el sistema DHS

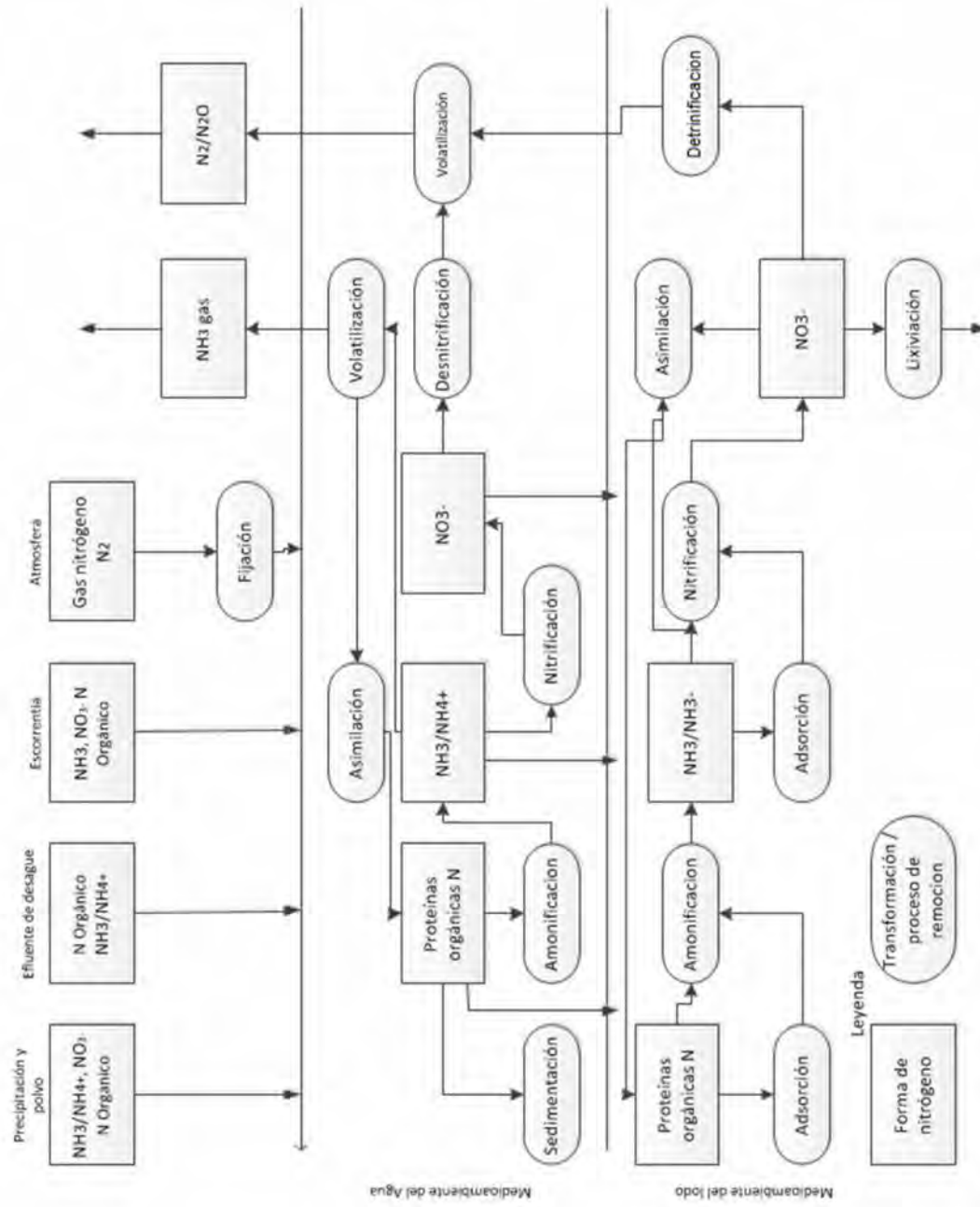
En la Figura 2.16 se puede observar las diferentes formas en que se presenta el Nitrógeno en la naturaleza y su dinámica. Se observa que el nitrógeno orgánico presente como Urea y material proteico es descompuesto en Amoníaco por las bacterias. En un ambiente aerobio las bacterias pueden descomponer el Nitrógeno Amoniaco en Nitritos y Nitratos. El predominio del Nitrato en el agua residual es indicador de que los desechos han sido estabilizados con respecto a su demanda de oxígeno. Los nitratos son usados por plantas y animales para producir proteína y la muerte y descomposición de esta proteína vegetal y animal nuevamente produce Amoníaco, cerrando el ciclo.

Los procesos de nitrificación y desnitrificación son procesos biológicos de gran importancia que intervienen en la depuración de aguas residuales en el DHS removiendo el nitrógeno del agua residual. La nitrificación del nitrógeno amoniacal es un proceso que se realiza en dos etapas, en el que toman parte principalmente dos familias de microorganismos autótrofos, los Nitrosomas y los Nitrobacter que actúan en etapas separadas de la siguiente manera:



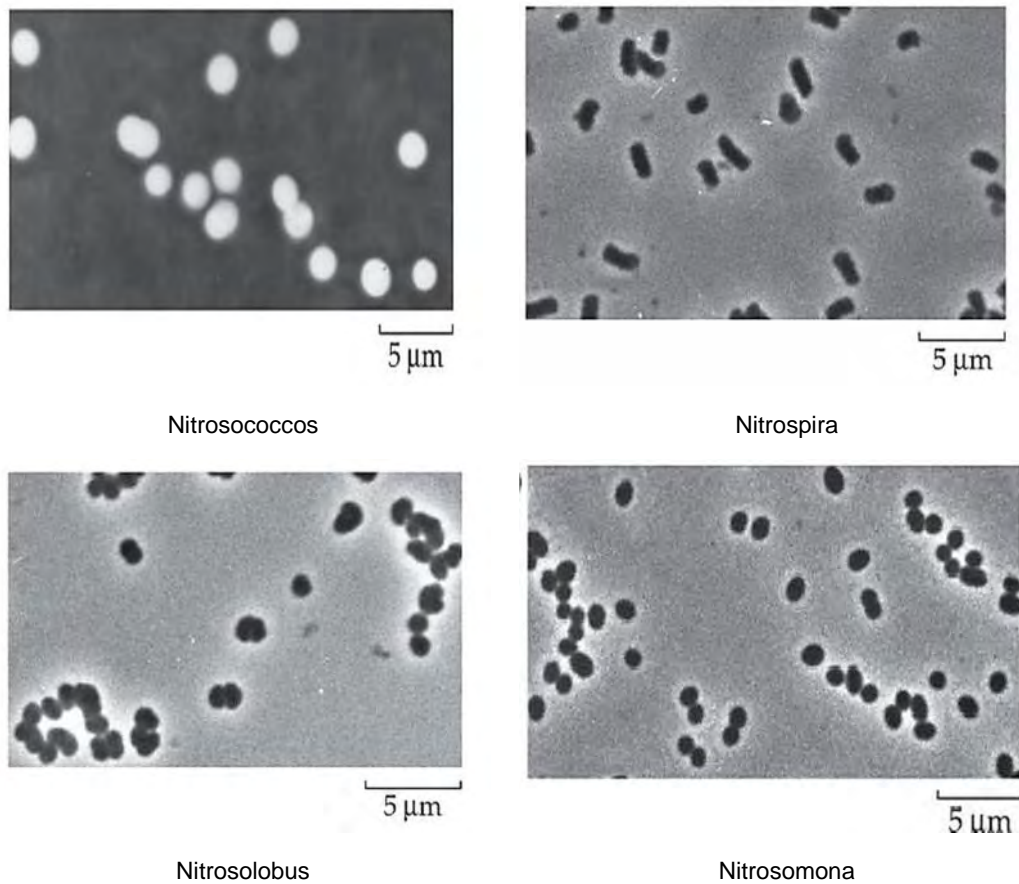
Las Nitrosomas y Nitrobacter utilizan la energía liberada en estos procesos para su crecimiento y mantenimiento celular. Además de estas bacterias, existen otras responsables de la nitrificación cuya prevalencia es relativa a las condiciones del medio.

Para la primera etapa de conversión a Nitrito: Nitrosococcus, Nitrospira, Nitrosolobus, Nitrosomona.



Fuente: Tchobanoglous et al, 3Ed. Vol 1

Figura 2.16: Diferentes formas en que se presenta el Nitrógeno en la naturaleza y su dinámica.



Fuente: <http://wastewaterbacteria.blogspot.com/2011/07/bacteria-to-treat-ammonical-nitrogen.html>

Figura 2.17: Bacterias que intervienen en los procesos de nitrificación en el reactor de DHS

Para la segunda fase: Nitrococcus, Nitrospira, Nitrospina, Nitroeystis.

Luego del proceso de nitrificación biológica, sigue el proceso de desnitrificación en el cual ocurre la reducción biológica del nitrato a óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno gas (N_2). En esta etapa los nitratos son reducidos a nitritos y luego ocurre la reducción de los nitritos a nitrógeno gas. En un menor porcentaje los nitritos pueden reducirse a amonio por algunas especies de bacterias, pero la mayoría de ellas producen el nitrógeno gas que escapa a la atmósfera. Este proceso se lleva a cabo bajo condiciones anóxica o anaerobias. Varios grupos de bacterias anaerobias y facultativas pueden desnitrificar; las Pseudomonas y los bacilos por ejemplo son desnitificadores aerobios.

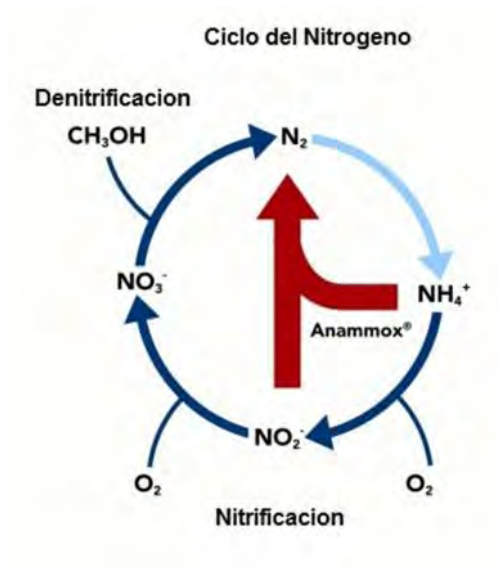
Según Araki et al. (1999) el proceso de nitrificación en el DHS se desarrolla en la parte inferior del reactor donde la carga orgánica es más baja y existe mayor disponibilidad de oxígeno por la disminución de los organismos heterótrofos y la prevalencia de los organismos autótrofos en este estrato. Los procesos de nitrificación y desnitrificación se llevan a cabo simultáneamente en el reactor DHS. La nitrificación se desarrolla en la parte aerobia superficial de la esponja, hasta una profundidad de 0,75 cm de la superficie. La denitrificación se desarrolla en la zona interior anóxica de la esponja. Este es un fenómeno único que se lleva a cabo en el reactor DHS, a diferencia de otros sistemas conocidos de tratamiento de aguas residuales.

Entre los factores que interfieren en el proceso de nitrificación están la concentración de amoníaco no ionizado y de nitrito, el cociente DBO/NKT (NKT=Nitrógeno Kjeldhal Total), la concentración de oxígeno disuelto, temperatura y pH, toxicidad del medio, presencia de metales y contenido de carbono orgánico. En general, el proceso de nitrificación aumenta con la temperatura y con el descenso en los valores de DBO. El rango de pH ideal para este proceso es de 7.2 a 9. Es imprescindible en el desarrollo de este proceso la presencia de materia orgánica suficiente para proporcionar la energía necesaria para que las bacterias lleven a cabo la conversión del nitrato en nitrógeno gas.

II.4 Proceso Anammox

Existe también en la naturaleza un proceso de oxidación anóxica del Amonio llamado Anammox que se lleva a cabo por una bacteria Planctomicetos (Planctomycete, bacterias acuáticas). Este proceso acelera la remoción del nitrógeno en condiciones anóxicas. Se presume que el sistema DHS puede ser un medio favorable para el desarrollo de este tipo de bacterias de lento crecimiento por su habilidad de retener grandes cantidades de biomasa y su alto tiempo de retención de lodos (Hui-Ping Chuang et al, 2008). Sin embargo, este es un proceso altamente sensible a la presencia de oxígeno y de nitritos. Investigaciones han determinado que concentraciones mínimas de oxígeno y nitrito inhiben este proceso (Jetten et al, 1999). Por lo tanto no se puede asegurar que este proceso se esté desarrollando en el sistema DHS en estudio, ya que se tendría que hacer un análisis más específico de las concentraciones

de nitritos y oxígeno a diferentes profundidades en la esponja para saber si el sistema alcanza estos requerimientos para el desarrollo del proceso Anammox.



Fuente: <http://www.paques.com.cn/technology-watercont.asp?id=61>

Figura 2-18: Proceso I Anammox

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

El sistema DHS con recirculación de caudal mejora la capacidad de degradación de materia orgánica en un 50% en el tratamiento secundario del agua residual doméstica de una población urbana tratada por un reactor UASB en la ciudad de Lima.

CAPÍTULO IV: OBJETIVOS DEL ESTUDIO

IV.1 Evaluar la eficiencia del sistema DHS con recirculación de caudal en el tratamiento secundario de la DQO, DBO₅, Nitrógeno, Coliformes termotolerantes y Sólidos del agua residual doméstica de una planta de tratamiento diseñada para tratar un caudal de 10 L/s con tecnología UASB.

IV.2 Estudiar la evolución de la maduración de un sistema DHS con recirculación de caudal en el tratamiento secundario del agua residual doméstica de una planta de tratamiento diseñada para tratar un caudal de 10 l/s con tecnología UASB.

IV.3 Establecer los criterios de diseño para un sistema DHS basados en la experimentación real aplicada a las aguas residuales domésticas de una planta de tratamiento diseñada para tratar un caudal de 10 l/s con tecnología UASB en la región costera del Perú.

CAPÍTULO IX: LITERATURA CITADA

1. A. Díaz. Diseño de sedimentadores de placas paralelas. Universidad de Carabobo, Venezuela 2002.
2. A. Tawfik, A. Ohashi, H. Harada. Effect of sponge volume on the performance of down – flow hanging sponge system treating UASB reactor effluent. Bioprocess Biosys. Sprynger Verlag, 2009.
3. A.Tawfik, F. El-Gohary, A. Ohashi, H. Harada. The influence of physical-chemical and biological factors on the removal of faecal coliform through down-flow hanging sponge (DHS) system treating UASB reactor effluent, 2006.
4. C.A.L. Chernicharo. Post Treatment Options for the Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater. Reviews in Environmental Sciences and Biotechnology, 5:73-92. Springer, 2006.
5. Carvajal Carranza, G., Curso Redacción de Tesis para estudiantes de Post Grado. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima 2010.
6. D. McDougald, S.Rice. “Should we Stay or Should we Go”. Nature Reviews Microbiology, Volume 10.. Macmillan Publishers, Jan 2012
7. G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. IV Edition, 2003. Metcalf & Eddy Inc. Mc Graw Hill Inc. Volúmenes I y II.
8. G. Wright. Sample Wastewater Treatment Plant Operations Questions. Chapter 1. 1994. <http://www.wrights-trainingsite.com>
9. H. Garza, R. Salgado, C. Villegas. Compendio de Métodos para Análisis de Agua. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 1992.

10. Hideki Harada. India Japan international collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-Effective and Minimum Energy . 2008
11. Higgins I.J., R.G. Burns. The Chemistry and Microbiology of Pollution. Academic Press, London 1975.
12. <http://brunodesosa.blogspot.es/>. Ultimo acceso: Noviembre 2012.
13. <http://es.wikipedia.org/wiki/Poliuretano>. Ultimo acceso: Febrero 2011
14. Jan Vymazal, Lenka Kropfelová. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Springer, University of Life Sciences Prague, Czech Republic, 2008. 566 páginas.
15. L. Maturin, J.T. Peeler. Bacteriological Analytical Manual. US Food and Drug Administration (FDA). Chapter 3. Jan 2001.
<http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/ucm063346.htm#.UCP9hyX-JD4.email>
16. L.S. Clesceri, A.E. Greenberg, A.D. Eaton. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, American Public Health Association. Parts 2540, 5210. 20th edition, 1998.
17. M. Mahmoud. Use of Downflow Hanging Sponge (DHS) Reactor as a Promising post treatment system for domestic wastewater. Chemical Engineering Journal 168. 535-543. Elsevier, 2011.
18. M. Tandukar, I. Machdan. Potential of a combination of UASB and DHS Reactor as a novel sewage treatment system for developing countries: Long term evaluation. Journal of Environmental Engineering. ASCE. February 2006.
19. M. Tandukar, S.Uemura, I. Machdar, A. Ohashi and H. Harada. "A low-cost municipal sewage treatment system with a combination of UASB and the "fourth-generation" downflow hanging sponge reactors." *Water Science and Technology*. 52(1-2) 323-329, 2005.
20. MANUAL DE ANALISIS DE AGUA Segunda edición en español HACH / HACH COMPANY Loveland, Colorado, EE.UU. 2000
21. Manual de Instrucciones HI 8033 - HI 8633HI 8733 - HI 8734HI 933000 Medidores Portátiles Multi-Rango Conductividad/TDS
22. R. Ramalho. Filtros Percoladores. Cap. 7. Editorial Reverté, 2003

23. R. Rojas, L.A. Visurraga. Tratamiento de Aguas Residuales con Tecnología DHS a Escala Piloto. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental . Lima- Peru 2012.
24. S. Huemura, M. Kimura, T. Yamaguchi, A. Ohashi, and H. Harada. Long term Evaluation of the Effect of Salinity on Organic Removal and Ammonium Oxidation in a down-flow Hanging Sponge Reactor. 2012.
25. Sh. Huemura, H. Harada. "Application of UASB technology for sewage treatment with a novel post treatment process." Environmental Anaerobic Technology, Applications and new Developments. ed. Herbert H.P. Fang. Imperial College Press, London, UK, 2010.
26. Sh. Huemura, S. Suzuki, Y. Maruyama, and H. Harada. Direct Treatment of Settled Sewage by DHS Reactors with Different Sizes of Sponge Support Media. 2009.
27. TT Eighmy, D Maratea and P L Bishop. Electron Microscopic examination of Wastewater Biofilm Formation. Applied Environmental Microbiology. 45(6) 1921. 1983.
28. US-Environmental Protection Agency. Wastewater Laboratory Procedures and Chemistry. US-EPA, page 14-117. Missouri, 1975
29. W.K. Charaklis. Fouling biofilm development: A process Analysis. College of Engineering, Montana State University, Montana USA. Bioengineering Report. Biotechnology and Bioengineering, Vol 23, Issue 9, pages 1923–1960. 1981
30. Z. Garcia. Informe de Práctica Preprofesional. Universidad Nacional de Ingeniería. PTAR-CITRAR 2011.

CAPÍTULO V: DISEÑO METODOLÓGICO

En esta sección se detalla el periodo y lugar donde se realizó la investigación, los criterios de diseño del Sistema DHS, la puesta en marcha y operación del sistema, el plan de muestreo, los procedimientos de muestreo y análisis en laboratorio, y los métodos de procesamiento de la información.

V.1 Periodo y lugar donde se desarrolla la investigación

La investigación se realizó en la ciudad de Lima-Perú en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales - CITRAR de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). El montaje del Sistema DHS se realizó en la pared exterior de un módulo de almacenamiento del CITRAR, a 2 metros del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB) como se puede observar en la Figura 5.1. La presente investigación se desarrolló en 4 etapas:

- ❖ Etapa de diseño y configuración del módulo de pruebas
- ❖ Etapa de construcción y ajustes al módulo de pruebas
- ❖ Etapa de arranque y monitoreo de la unidad de tratamiento DHS
- ❖ Etapa de procesamiento de información

La etapa de monitoreo de esta investigación se ha realizado a lo largo de 236 días en las estaciones de invierno, primavera y verano con temperaturas fluctuantes entre 18°C y 28 °C a una elevación geográfica de 103 msnm. El monitoreo fue realizado en secuencias diarias, semanales y quincenales de acuerdo a los parámetros que se evaluaron.

V.2 Universo y Muestra

Se tomó el efluente del reactor UASB del CITRAR que trata el agua residual doméstica de las poblaciones de El Milagro y El Ángel que circundan la Planta de Tratamiento. Esta Planta tiene fue diseñada para tratar un caudal de hasta 10 l/s, beneficiando a una población que comprende entre 8,000 y 10,000 habitantes (Zarela García et al, 2011).

Al ingresar a la PTAR-CITRAR, el agua residual pasa por un tratamiento preliminar que consta de:

- Rejas gruesas de acero con 30° de inclinación y separación entre barras de 25mm para retener sólidos gruesos.
- Dos cámaras de rejas finas de acero dispuestas en serie, con inclinación de 56° y separación entre barras de 15 mm.
- Dos desarenadores de flujo horizontal, sección rectangular y con tolva de sección trapezoidal para la acumulación de arenas, los cuales trabajan alternadamente. Esta unidad tiene por finalidad separar el material inorgánico por sedimentación a través de una velocidad controlada de 0.20 m/s por un vertedero Sutro, ubicado al final del desarenador.



Fuente. Google maps <http://maps.google.com.pe/maps?hl=en&tab=wl>

Figura 5.1: Ubicación del Sistema DHS en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del CITRAR-UNI

Luego el agua residual es derivada a la unidad de tratamiento primario o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente, más conocido por sus siglas en inglés (UASB). En este reactor se remueve la materia orgánica anaeróticamente es decir en ausencia de oxígeno. El funcionamiento de esta unidad es de la siguiente manera: El desagüe ingresa hasta el fondo del reactor uniformemente distribuido y luego asciende a través de un manto de lodos. Este manto de gran actividad biológica degrada la materia orgánica en un medio anaerobio, generando como subproducto biogás, compuesto principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). El desagüe tratado es recogido en la parte superior por dos canaletas laterales de sección triangular, ubicadas en la parte interna del reactor UASB y dos canaletas laterales de sección rectangular ubicadas en la parte lateral del reactor UASB. Cada canaleta cuenta con vertederos colocados en toda su longitud.



Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR – UNI

Figura 5.2: Vistas de reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB)

A partir de estas canaletas se bombeaba el agua residual tratada desde el reactor UASB hacia la unidad de almacenamiento del DHS consistente en un cilindro de 200 litros de capacidad (Ver Figura 5.3). Esta unidad se llenaba cada cuatro días por bombeo, desde la zona de recolección del efluente del reactor UASB. Para conservar las condiciones de origen y prevenir el crecimiento de algas, se cubrió la unidad con plástico negro para prevenir el ingreso de luz y se mantuvo cubierta permanentemente.



1. Zona de bombeo del efluente del reactor UASB



2. Interior de la unidad de almacenamiento



3. Unidad de almacenamiento cubierta para aislarlo de la luz



4. Zona de mezcla del efluente del reactor UASB con el caudal recirculado del DHS y zona de ingreso al sistema DHS

(1) El desagüe tratado era bombeado desde las canaletas de recepción del efluente del reactor UASB al cilindro de almacenamiento de 200 litros de capacidad cubierto por un plástico negro para prevenir el crecimiento de algas (2 y 3). El efluente ingresa al Sistema DHS a través de una botella plástica con perforaciones y mangueras (4).

Fuente. Tesis DHS, UNI CITRAR

Figura 5.3: Unidad de Almacenamiento de Efluentes del reactor UASB e Ingreso al Sistema DHS

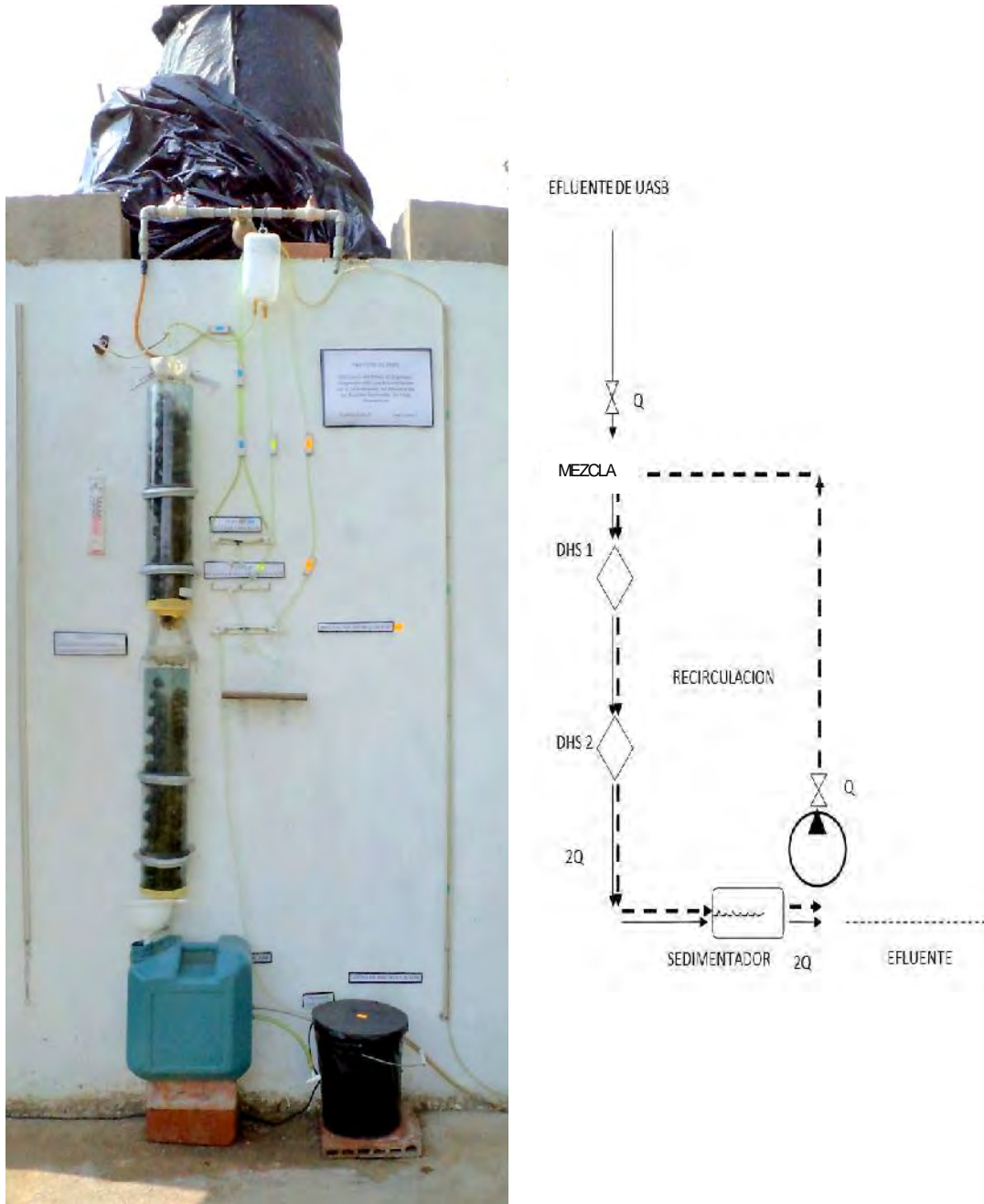


Figura 5.4: Reactor DHS y esquema de flujo de circulación de fluidos

V.3 Criterios de Diseño del Sistema DHS

El sistema DHS ha sido diseñado para tratar un caudal de 61 litros por día. Para fines del presente estudio, el Sistema DHS consistió físicamente de dos columnas de vidrio huecas de 55 cm. colocadas en serie encerrando a un medio de espuma de poliuretano en suspensión (Ver Figura 5.4). Dicha espuma fue colocada en 12 series de cubos de 2.5 cm. de arista ensartados diagonalmente en un hilo nylon, por donde atraviesa el flujo hasta llegar a una unidad de sedimentación colocada previa a la salida del efluente (Ver Figura 5.4).

Se ha considerado en el diseño un proceso de recirculación del agua tratada que se mezcla con el efluente del reactor UASB antes de reingresar a los reactores, con el fin de favorecer la humectación de las esponjas y diluir la carga orgánica que ingresa al sistema. (A. Rivera et al, 1999). Dicha recirculación se realiza con una bomba SOBO WP-3550 de 60W (0.080HP), 220 - 240V 60Hz, 2800 L/H, 2.8M de altura máxima. Instalada al interior de un recipiente de 5 litros que eleva el efluente del sistema DHS una altura dinámica de 2 m. hacia el punto de mezcla (Recipiente plástico de suero en la figura 5.4). El flujo del sistema es transmitido con mangueras plásticas blandas y transparentes de PVC de 4mm de diámetro interior y regulado con válvulas del mismo material. El diseño cuenta además con un sistema de distribución uniforme de flujo al ingreso de cada columna consistente de un recipiente plástico con perforaciones y de un embudo de recepción del caudal tratado a la salida de la segunda columna para dirigir el flujo hacia el recipiente de sedimentación (galonera de 20 l) y de allí se derivaba hacia la laguna. y hacia el tanque de recirculación.

V.3.1 Características del agua a tratar

A continuación se presenta una tabla con los valores medios, máximos y mínimos del efluente del reactor UASB para los parámetros monitoreados durante el periodo de estudio.

Tabla 5.1: Concentraciones Promedio, Máximas y Mínimas de los parámetros monitoreados en el efluente del reactor UASB durante el estudio

PARAMETRO	Valor máximo	Valor mínimo	Valor medio
Temperatura (°C)	30.9	15.8	23.2
pH	6.52	8.33	7.57

Conductividad ($\mu\text{mho/cm}$)	1480	580	1052
Turbiedad (UNT)	530	35	130
OD (mg/l)	3.3	0.15	1.15
DBO ₅ (mg/l)	169.5	63.2	107.4
DQO (mg/l)	400	20	171.1
NH ₃ -N (mg/l)	55	33	45
NO ₂ -N (mg/l)	6	3	4.8
NO ₃ -N (mg/l)	15	0	6
SS (mg/l)	390	30	80
ST (mg/l)	1090	500	581
SD (mg/l)	501	402	451.5
SV (mg/l)	183	133	158
CF (UFC)	9.8×10^8	9.5×10^6	2.51×10^8

OD (Oxígeno Disuelto), DBO₅ (Demanda bioquímica de Oxígeno al quinto día), DQO (Demanda química de Oxígeno), NH₃-N (Nitrógeno Amoniacal), NO₂-N (Nitritos), NO₃-N (Nitratos), SS (Sólidos Suspendidos), ST (Sólidos Totales), SD (Sólidos Disueltos), SV (Sólidos Volátiles), CF (Coliformes termotolerantes), UFC (Unidades Formadoras de Colonias)

El valor de Oxígeno Disuelto que debería ser cero por ser el efluente de un proceso anaerobio, se ve alterado en los registros por la acción del bombeo del efluente de la salida del reactor UASB hacia el tanque de almacenamiento del sistema DHS lo cual le añade turbulencia y aire.

V.3.2 Caudal de diseño y caudal de recirculación

El sistema DHS ha sido diseñado para tratar un caudal de 61.9 litros por día o 0.000358 litros por segundo. Estos cálculos se muestran en el Anexo 02 y han sido realizados tomando como criterio de diseño un período de retención de 1.5 horas (Harada, 2008) así como los datos de porosidad de la esponja, volumen de las columnas de vidrio que las iban a contener y volumen de esponjas en el reactor DHS de 38% recomendado por estudios de Tawfik (A. Tawfik, A. Ohashi, H. Harada, 2009) para lograr la máxima eficiencia de tratamiento.

El caudal de recirculación se ha diseñado tomando el 100% del caudal de diseño, a modo análogo de los sistemas de filtros percoladores (Ramalho, 2003). La producción de agua tratada es de 61.9 l/día.

V.3.3 Periodo de retención (HRT)

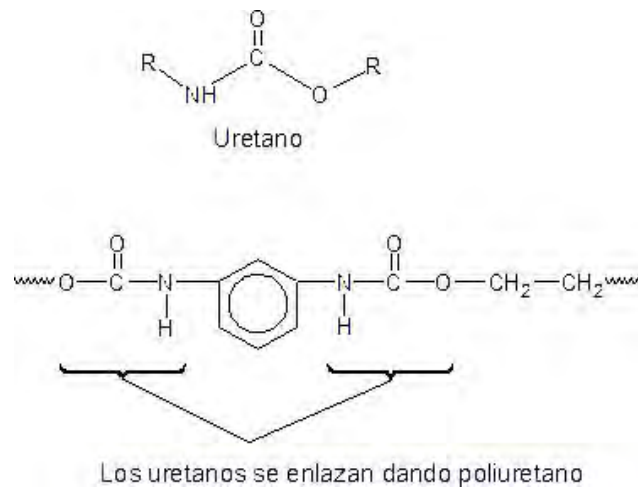
El HRT es el parámetro base del diseño del DHS en estudio porque define el tiempo que tiene la película biológica adherida a las esponjas para digerir los nutrientes del agua residual y desarrollar su tratamiento.

Se han considerado las condiciones más adversas: para flujos de 500 m³/día en la India, donde aplicaron HRT de 1.5-2.0 h con buenos resultados (Harada et al., 2008) y los estudios de tratamiento de desagüe crudo con DHS, donde probaron eficiencias de tratamiento con distintos tamaños de esponjas y HRT: 79.1 min, 82.9 min, y 120 min, no encontrando en su eficiencia grandes diferencias. (Harada et al., 2012)

V.3.4 Densidad y Porosidad de la Esponja de Poliuretano

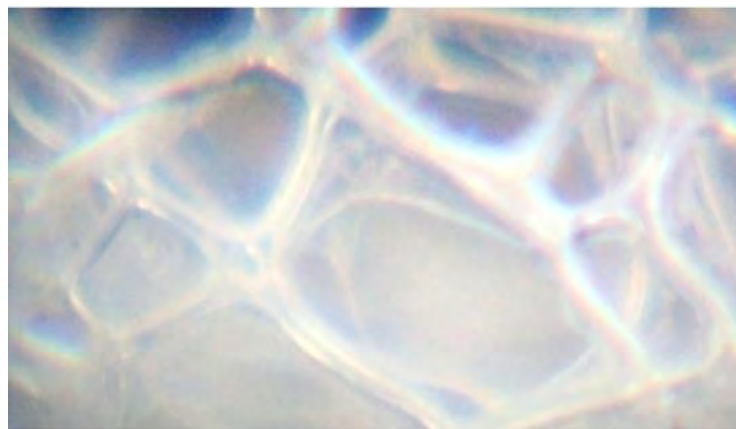
La espuma de poliuretano es un material plástico poroso formado por un agregado de burbujas. Se forma básicamente por la reacción química de un polioliol y un isocianato, aunque su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos. Dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas. Puede ser cualquier polímero que contenga un enlace uretano en su cadena principal.

Para el sistema de DHS se usaron espumas de fabricación en caliente que son las espumas que liberan calor durante su reacción, fabricadas en piezas de gran tamaño, destinadas a ser cortadas posteriormente. Se fabrican en un proceso continuo, mediante un dispositivo llamado espumadora, que básicamente es la unión de varias máquinas, de las cuales la primera es un mezclador, que aporta y mezcla los diferentes compuestos de la mezcla; la segunda es un sistema de cintas sin fin, que arrastra la espuma durante su crecimiento, limitando su crecimiento para darle al bloque la forma deseada; y la parte final de la espumadora es un dispositivo de corte, para cortar el bloque a la longitud deseada. Generalmente son las más baratas, las más utilizadas y conocidas. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Poliuretano>)



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/quimica/tdi>

Figura 5.5: Estructura Química del Poliuretano



Fuente: Fotografía microscopio portátil 35X (Micronta)

Figura 5.6: Vista en aumento de las fibras entrelazadas de espuma de Poliuretano

La densidad de la esponja de poliuretano que se ha utilizado para el estudio se calculó con la relación peso/volumen. Se utilizó un cubo de 2.54 cm de lado y se determinó su peso: 0.4 g. Los cálculos determinaron una densidad de 0.02g/cm^3 (Anexo 02).

La porosidad en la esponja de poliuretano se define como el porcentaje de espacio vacío en la esponja. Esta se determinó mediante un ensayo en el cual se sumergió un cubo de esponja de poliuretano de 2.5 cm de arista de volumen conocido, en una probeta graduada con agua esperando a que absorba la máxima capacidad del líquido. Luego se retiró rápidamente la esponja de la probeta y se midió la diferencia de volumen de líquido en la probeta. Esta diferencia de volumen representó el volumen de espacios vacíos en el cubo de esponja. Luego se dividió el volumen del líquido absorbido por la esponja entre el volumen del cubo de esponja y se obtuvo la relación de porosidad de la esponja que expresada en porcentaje es 88.89%. Estos ensayos se repitieron tres veces cada uno y se obtuvieron los promedios indicados. (Ver Anexo 02).

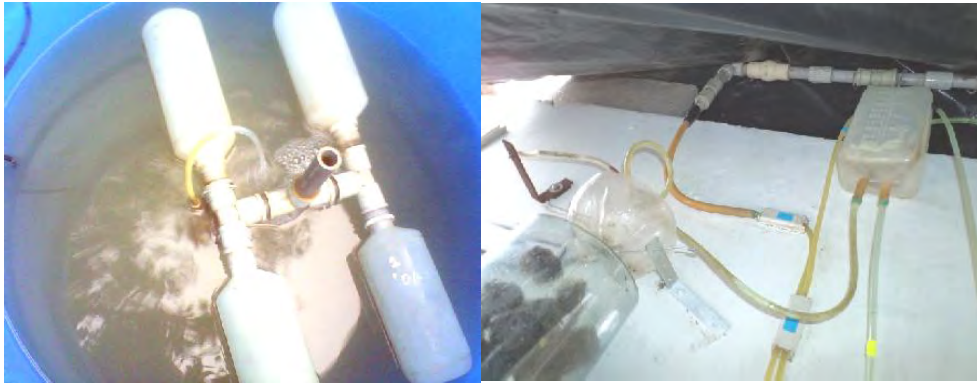
V.4 Diseño de las Unidades de Tratamiento del Sistema DHS

En esta sección se detallan los diseños de las distintas unidades de tratamiento del sistema DHS en estudio como la unidad de ingreso y mezcla, las columnas de esponjas y las unidades de almacenamiento, recirculación y sedimentación.

V.4.1 Unidad de Ingreso al Sistema DHS y de Mezcla

Consiste de un tubo de PVC de ½" de diámetro suspendido en forma vertical dentro del cilindro de almacenamiento del efluente del reactor UASB mediante cuatro flotadores de botellas plásticas (Figura 5.7-Foto 1) . El tubo tiene una perforación en la parte inferior por donde ingresa el efluente del reactor UASB al sistema DHS, garantizando que se está tomando la muestra de la zona media del cilindro y no de la superficie ni de la base del mismo.

El efluente del reactor UASB es luego derivado a la Unidad de Mezcla del sistema DHS (Figura 5.7-Foto 2) que consiste de una botella de suero descartable de 1 litro de capacidad a la que se le han hecho perforaciones en la parte superior para dejar ingresar las mangueras plásticas que conducen el efluente del reactor UASB del tanque de almacenamiento y el efluente DHS de la unidad de recirculación hacia su interior. En esta botella se mezclan ambos efluentes antes de ingresar al sistema DHS. De esta botella a su vez salen por la parte inferior dos mangueras. Una de ellas conduce la mezcla hacia el sistema DHS y la otra el efluente del reactor UASB sin mezclar.



(1) Interior de la unidad de almacenamiento

Fuente: Tesis DHS, Citrar-UNI

(2) Zona de mezcla del effluente del reactor UASB con el caudal recirculado del DHS y zona de ingreso al sistema DHS

Figura 5.7: Unidades de Ingreso y de Mezcla al Sistema DHS

V.4.2 Columnas de Tratamiento con Esponjas

Considerando que el volumen óptimo de las esponjas dentro de un reactor DHS debe ser de 38% del volumen del mismo (A. Tawfik, A. Ohashi, H. Harada, 2009); que la porosidad de las esponjas es del 88%; que el tamaño óptimo del cubo de esponjas debe ser de 2.5 cm. de arista (Uemura, Suzuki, Maruyama, and Harada, 2012); y que el volumen predeterminado por las dimensiones de las columnas de vidrio es de 11.5 cm de diámetro y 55 cm de longitud efectiva, se llegó a la conclusión de que se necesitan 139 cubos de 2.5 cm. de arista en cada columna para el tratamiento de 61.9 l/día de effluente del reactor UASB. Para la distribución de estos cubos dentro de las columnas de tratamiento se consideraron 12 series de 12 cubos de 2.5 cm. de arista para cada columna, con un espaciamiento entre ellos de 5 mm. para dar aireación entre los mismos, según recomendaciones del volumen óptimo. (Ver cálculos en el Anexo 02).



Figura 5.8: Columnas de esponjas

V.4.3 Unidad de Almacenamiento

La unidad de almacenamiento del sistema DHS consistió de un cilindro de 200 litros de capacidad (Ver Figura 5.3). Esta unidad se llenaba cada tres días por bombeo, desde la zona de recolección del efluente del reactor UASB. Para conservar las condiciones de origen y prevenir el crecimiento de algas, se cubrió la unidad con plástico negro y se mantuvo cubierta permanentemente. Para un caudal de tratamiento diario de 61 litros por día una unidad de 200 litros rinde 3.18 días. Ver cálculos en el Anexo 02.

V.4.4 Unidad de Recirculación

Consiste en un recipiente de 10 litros alimentado por el efluente del sedimentador del sistema DHS donde se encuentra una bomba SOBO WP-3550 de 60W (0.080HP), 220 - 240V 60Hz, 2800 L/H, 2.8M de altura máxima hacia la zona de mezcla ubicada en la parte superior del sistema DHS.



Figura 5.9: Unidad de Recirculación

V.4.5 Unidad de Sedimentación

Inicialmente fue una caja plástica rectangular de 1 litro de volumen con tapa que se diseñó con una capacidad de 0.5 litros, pero el tiempo de retención resultó insuficiente para cumplir el objetivo de sedimentación. Se corrigió el diseño y se adaptó una galonera de 15 litros de capacidad como nuevo sedimentador para 10 litros y 2 horas de tiempo de retención para un caudal de tratamiento de 122 l/d, incluyendo el caudal de recirculación. (Ver cálculos en el Anexo 02). Se adaptó la entrada al fondo de la unidad y la salida por rebose al nivel del volumen de diseño de 10 litros. Ver Figura 5.4.

V.5 Arranque, Operación y Mantenimiento del Sistema DHS

En esta sección se describe el arranque del sistema DHS y los procedimientos de operación y mantenimiento del sistema experimental.

El arranque del sistema DHS se inició abriendo la válvula de salida de la unidad de almacenamiento del efluente del reactor UASB permitiendo el flujo hacia las esponjas con un caudal regulado por la válvula de control del Punto A (Ver Figura 5-10 y Figura 5-11). Luego de recorrer las esponjas, el flujo tratado es

recepionado por la unidad de sedimentación. El flujo ingresa a esta unidad por la parte inferior y luego por rebose pasa a la unidad de recirculación, la cual a su vez, por rebose, es efluente del sistema. Una vez alcanzado el nivel de rebose en la unidad de recirculación, se puso en funcionamiento la bomba. Esta va a alimentar la unidad de mezcla con un caudal regulado igual al caudal tratado, iniciando la recirculación. A partir de entonces, el sistema DHS recibe en su ingreso el doble del caudal de tratamiento ($2Q$) y emite en la salida el caudal de tratamiento diseñado para 61.9 l/día (Q).

Para la operación continua del sistema DHS se prestó especial atención a la regulación de caudal, procedimiento que se realizaba dos veces al día ya que el sistema funcionaba con válvulas mecánicas que tenían la necesidad de ser reguladas continuamente. El sistema ha sido diseñado para tratar un caudal de 61.9 litros por día ($0.7 \text{ cm}^3/\text{seg}$) o para fines prácticos de regulación de caudal, su equivalente, 21 ml en 30 segundos.

Al ingreso al sistema DHS se juntan el efluente del reactor UASB con el caudal de recirculación del sistema, debiendo aportar cada uno los $0.7 \text{ cm}^3/\text{seg}$. Para realizar la regulación de caudales del sistema, el procedimiento general es regular primero el caudal de ingreso del efluente del reactor UASB y luego el caudal de recirculación. A continuación se indica paso a paso el procedimiento para regular estos flujos.

❖ Regulación del Caudal de Ingreso del reactor UASB (Punto A en la Figura 5-11)

1. Verificar que la botella de venocllisis se encuentre vacía y que no haya ingreso de flujos a la botella. Para ello, cerrar las válvulas del lado derecho del Punto A y del punto de regulación de la recirculación y esperar a que se vacíe la botella.
2. Abrir totalmente la válvula derecha del Punto A
3. Ir regulando lentamente la válvula izquierda hasta lograr obtener un flujo de 21 ml en 30 segundos. El flujo se deberá medir colocando una probeta durante 30 segundos en la parte superior del DHS, al ingreso al primer difusor.
4. Una vez logrado el caudal deseado, cerrar totalmente la válvula derecha del Punto A.

5. Proceder a regular el caudal de la recirculación

❖ Regulación del Caudal de Ingreso de la Recirculación

1. Verificar que la botella de venocclisis se encuentre vacía o esperar a que se termine de vaciar.

2. Ubicar las válvulas de regulación de la recirculación.

3. Abrir totalmente la válvula derecha de regulación de la recirculación.

4. Ir regulando lentamente la válvula izquierda hasta lograr obtener un flujo de 21 ml. en 30 segundos. El flujo se deberá medir colocando una probeta durante 30 segundos en la parte superior del DHS, al ingreso al primer difusor.

5. Una vez logrado el caudal deseado en el punto de regulación de la recirculación, se podrá abrir totalmente la válvula derecha del Punto A para que fluyan ambos caudales, el del reactor UASB y el de la Recirculación dentro del sistema.

El mantenimiento del sistema DHS se realizaba en forma semanal. Era muy importante tomar la precaución de usar guantes, mascarilla y mandil para protegerse de salpicaduras. El mantenimiento consistió básicamente de:

- Purga y cambio del dispositivo de distribución de caudales (botella de venocclisis)
- Purga y cambio de todas las mangueras y válvulas del sistema
- Limpieza de los difusores
- Limpieza de la bomba y el balde de la recirculación
- Limpieza y medición de sólidos sedimentables en el sedimentador

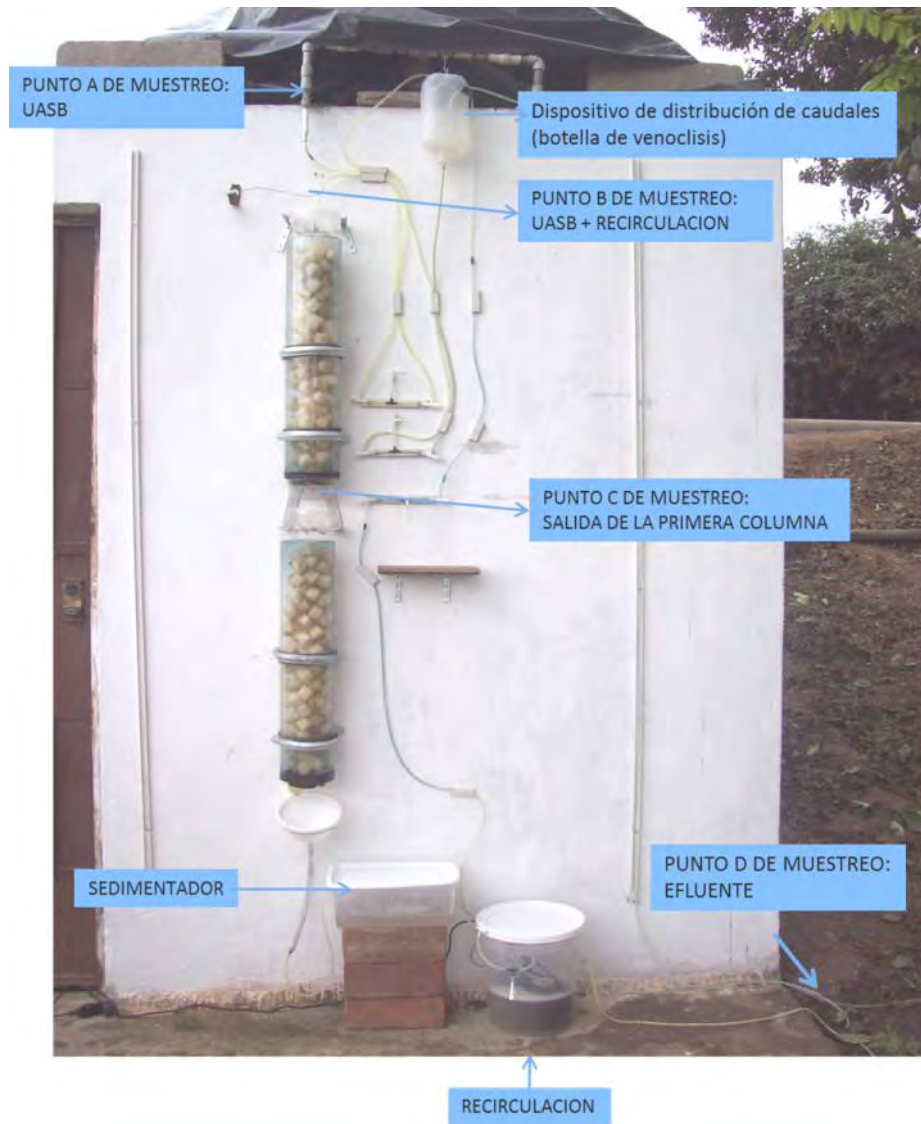


Figura 5-10: Imagen de los puntos de monitoreo y componentes del sistema DHS

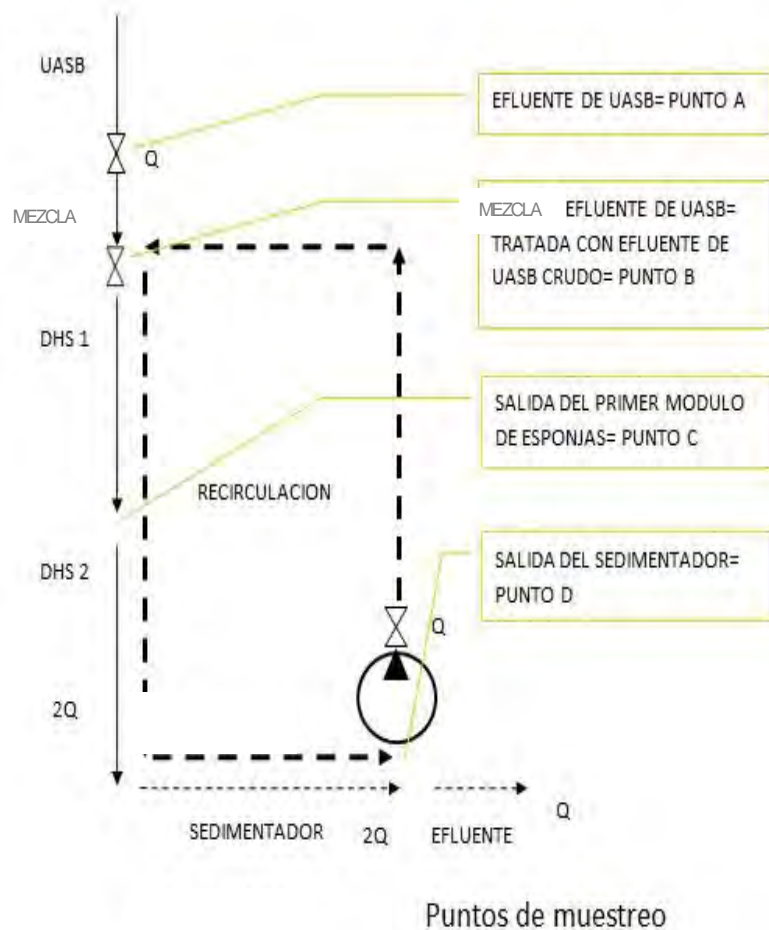


Figura 5-11: Esquema de los Puntos de Monitoreo en el Sistema DHS

Al desmontar el sistema era necesario primero realizar la purga del dispositivo de distribución de caudales (botella de venoclis) y las mangueras con mucho cuidado para evitar las salpicaduras del desagüe. Para ello se cerraba primero la llave de salida del cilindro del reactor UASB hacia el sistema y se desconectaba la bomba de la recirculación.

Las mangueras y válvulas que se retiraban se dejaban remojando hasta el día siguiente en una solución de agua con lejía para proceder a limpiarlas y enjuagarlas con mayor facilidad, y en algunos casos se descartaban. Para limpiar las mangueras se usaba un alambre para ayudar a remover los sólidos.

En el caso de las válvulas, estas se desarmaban totalmente y se utilizaba un alambre para desatorar todos sus conductos.

En la limpieza de difusores se debía usar una pequeña esponja para retirar la suciedad de todos los huequitos del difusor, así como un alambre para liberar los huecos de los sedimentos que se hubieran fijado en ellos.

V.6 Plan de Monitoreo

En esta sección se detalla el programa de monitoreo, las estaciones de monitoreo y los equipos y procedimientos para la toma de muestras.

V.6.1 Definición del programa de monitoreo

Las pruebas físico-químicas de pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y turbiedad se realizaron con una frecuencia de dos veces por día ya que estos parámetros se asocian directamente con la eficiencia de los procesos biológicos del sistema DHS y en el caso de la turbiedad, nos alerta directamente de la eficiencia con que se está desarrollando el proceso. Las pruebas físico-químicas y biológicas de sólidos, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, Nitratos, Nitritos, Amoníaco y Coliformes termotolerantes se realizaron con frecuencia semanal por la disponibilidad de equipos, reactivos y laboratorio. Estos análisis se iniciaron una vez que el sistema alcanzó su madurez a los 116 días del arranque.

V.6.2 Definición de las estaciones de monitoreo

Las estaciones de monitoreo estuvieron limitadas por el presupuesto para el desarrollo de la investigación, por lo tanto se tuvieron que priorizar los siguientes puntos de monitoreo (Ver Figura 5-11):

V.6.2.1 Efluente del reactor UASB o Punto A

Describe el estado del agua residual antes de iniciar el tratamiento en el sistema DHS. Al provenir de un tanque de almacenamiento del efluente del reactor UASB, tiene variaciones en algunos parámetros debido a la actividad biológica interna, así como a cambios debidos a las mismas variaciones del agua residual doméstica que trata. La muestra se ha tomado a la salida de la válvula puesta para este fin.

V.6.2.2 Mezcla del efluente del reactor UASB con la recirculación del efluente DHS o Punto B

Señala las modificaciones que sufre el efluente inicial del reactor UASB debido al contacto con el agua residual tratada por el sistema DHS. La muestra se ha tomado a la salida de una válvula puesta para este fin. El monitoreo de este punto se estableció con el fin de conocer la calidad real de afluente que está ingresando al sistema DHS y poder tener una línea de base para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes por las esponjas.

V.6.2.3 Agua tratada a la salida del primer módulo del DHS o Punto C

Indica las características del agua tratada por el primer módulo de esponjas. Las muestras se tomaron con la ayuda de un embudo plástico con manguera en el extremo del primer tubo de vidrio, antes del difusor.

V.6.2.4 Agua tratada a la salida del sistema DHS y sedimentador o Punto D

Este punto de monitoreo informó de la eficiencia final del tratamiento con el sistema DHS. La muestra se ha tomado en el punto de rebose del sedimentador a la salida de una válvula puesta para este fin.

V.6.3 Equipo de Monitoreo y procedimientos de toma de muestras

Las técnicas de muestreo usadas en este estudio aseguran la obtención de muestras representativas para un efectivo análisis.

Las muestras se han tomado en botellas de vidrio de 500ml con tapa. En los puntos A, B, D se han tomado directamente a la salida de una válvula instalada en cada punto para este fin. En el punto C se utilizó un embudo y una manguera conectada a su salida que conectaba a la botella de muestras.

Se tapaban bien las botellas una vez tomadas las muestras y se llevaban de inmediato al laboratorio para las pruebas. En el caso de tener que esperar disponibilidad de laboratorio, equipos, o reactivos, se conservaban en un refrigerador en el laboratorio de CITRAR acondicionado para este fin.



Figura 5-12: Frascos de toma de muestras

V.7 Métodos de Análisis de Laboratorio

Los métodos de análisis de laboratorio se realizaron usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Se basaron principalmente en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998 y los manuales de operación de los equipos usados, tales como Colorímetro HACH modelo DR850.

V.7.1 pH y Temperatura

Plan de muestreo	Diario, 9:00 am y 3:00 pm
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Instrumento	Termómetro del sensor de PH/ Temperatura eléctrica de electrodo, Corning PH/Ion meter 450
Materiales	Vasos de pruebas, papel tisú

Procedimiento de análisis: Se tomaron las muestras en los frascos en cada punto establecido de análisis y se transportaron al laboratorio. Se pusieron en

un vaso de pruebas 30ml de muestra y se sumergió el sensor que indica el valor de pH y Temperatura. Se registró fecha y valor.

V.7.2 Turbiedad

Plan de muestreo	Diario, 9:00 am y 3:00 pm
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Instrumento	Colorímetro HACH modelo DR850
Materiales	Vasos de pruebas, papel tisú

Procedimiento de análisis: Se tomaron las muestras en los frascos en cada punto establecido de análisis. Se transportaron al laboratorio. Con el sensor encendido, se elegía el Programa 90. Aparecía en la pantalla unidades FAU. Se determinaba el cero (Zero) con muestra de 10 ml de agua destilada en la celda de vidrio tapada.

Se vertía la muestra en la celda de vidrio, se limpiaba bien con papel tisú y se introducía en el compartimento. Se tapaba y se medía la turbiedad en la pantalla del sensor. Se señalaba que 1 FAU = 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) =1 FTU (Formazin Turbidity Unit). (Manual de análisis de Agua Hach 2000)



Figura 5-13
Colorímetro Hach DR850

Principio de la metodología: Se basa en sensores que miden el grado de transparencia de la muestra, relacionándolo con la presencia de sólidos o material disuelto expresado en FTU.

V.7.3 Conductividad

Plan de muestreo	Diario, 9:00 am y 3:00 pm
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Instrumento	Sensor Hanna Instruments HI 8633 Reliable and Waterproof. Multi-Range Conductivity Meter
Materiales	Vasos de pruebas, papel tisú

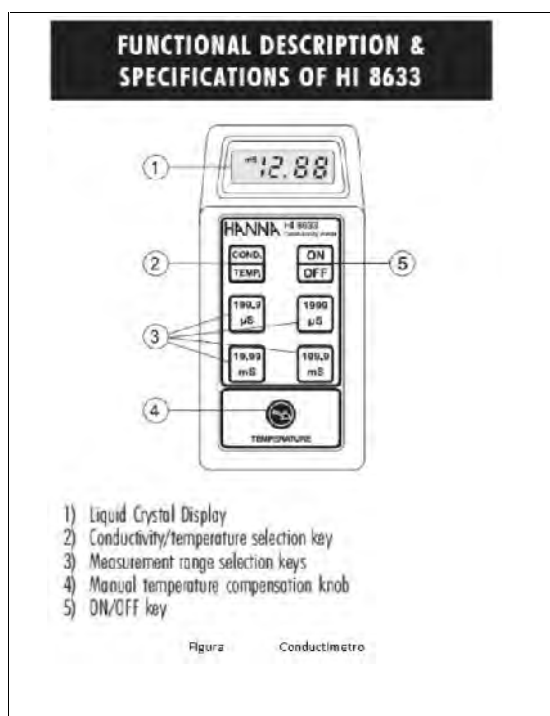


Figura 5.14: Sensor Hanna Instruments HI 8633

Procedimiento de análisis: Se ponía en un vaso de pruebas unos 50 ml de muestra. Se sumergía el sensor limpio en el líquido. Cada medidor se suministra con una batería de 9V. Se retiraba la tapa del compartimento de batería en la parte posterior del medidor. Se instalaba la batería prestando atención a su polaridad. Se conectaba la sonda al medidor firmemente alineando los pines con el socket y empujando el enchufe. Se aseguraba de

que el medidor ha sido calibrado antes de tomar cualquier medida. Se sumergía la sonda de conductividad en la muestra, con los orificios en el eje completamente sumergido. Se golpeaba la sonda suavemente en el fondo del vaso para eliminar burbujas de aire que pudieran quedar atrapadas dentro de la funda de PVC.

Se encendía el instrumento pulsando la tecla ON/OFF. El sensor iba indicando variación de valores en forma de valor más alto y más bajo. Conforme se estabilizaba, iba restringiendo los valores extremos y finalmente quedaba en un rango pequeño o un único valor. Se tomaba este valor como resultado. La rapidez del sensor es directamente proporcional a la carga completa de la batería.

Principio de la metodología: Se basa en un sensor que mide el nivel de conductividad de la muestra y la relaciona directamente con los sólidos suspendidos en él. (Medidores Portátiles, Multi-Rango, Conductividad/TDS, Hanna 1997)

V.7.4 Oxígeno disuelto

Plan de muestreo	Diario, 9:00 am y 3:00 pm
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Instrumento	Hach Session Ion 6
Materiales	Vasos de pruebas, papel tisú

Procedimiento de análisis: Se encendía el sensor, se verificaba el nivel de carga de baterías, se soltaba el capuchón del sensor y se probaba en el aire sacudiéndolo suavemente. Luego de unos segundos el sensor emitía un pitido y en la pantalla indicaba el oxígeno disuelto en mg/l de O₂ del medio. En el aire el O₂ es normalmente 8mg/l.

Una vez verificado se preparaba un vaso de pruebas con unos 50ml de muestra. Se sumergía el sensor y luego de unos segundos la alarma nos alertaba de la medida que aparece en la pantalla. Se anotaba resultado y fecha.

Se retiraba el sensor del vaso y se secaba con cuidado con el papel tisú, y se guardaba con el capuchón de protección.

Principio de la metodología: Se basa en sensores que miden la presencia del ion de oxígeno disuelta en la muestra.

V.7.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Plan de Muestreo	Semanal
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Método de Análisis	Diferencia de oxígeno disuelto. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
Instrumento	Medidor de oxígeno disuelto, destiladora de agua, incubadora
Materiales	frascos de vidrio para DBO ₅
Reactivos	agua destilada, solución tampón, sulfato de magnesio, cloruro férrico y cloruro de calcio



Figura 5-15: Medidor de oxígeno disuelto y frascos de ensayo de DBO₅

Procedimiento de Análisis: Se preparaban 3 litros de agua destilada y se dejaban aireando durante dos horas con la barra aireadora, hasta alcanzar niveles de saturación de oxígeno disuelto. Se verificaba esta medida con el

medidor de oxígeno disuelto. Se añadía al agua nutrientes: 3 ml de solución tampón, Sulfato de Magnesio, Cloruro Férrico y Cloruro de Calcio. Se medía con el medidor de oxígeno disuelto el oxígeno disuelto de cada muestra y se tomaba nota.

Se preparaban diluciones de las muestras según sean necesarias. Se tapaban con sello de agua cada frasco y se llevaban a incubar a 20°C durante 5 días. Se extraían los frascos y se medía el oxígeno disuelto de cada uno. Con los valores iniciales y operando para cada dilución se obtenían valores de oxígeno disuelto consumido para cada punto de la muestra.

Principio de la metodología : El agua peptonada es un agua rica en nutrientes que se prepara como medio para que los microorganismos presentes en la muestra alcancen su desarrollo óptimo y realicen su actividad metabólica consumiendo el oxígeno disuelto en la muestra inoculada. La diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto final indicará la demanda de oxígeno por parte de la población bacteriana en su acción metabólica. La razón de hacer esta medición al quinto día es porque en este periodo se desarrolla el 75% de la demanda de oxígeno de la muestra, siendo este valor bastante representativo para obtener un resultado rápido. El verdadero valor de DBO₅ se obtiene a los 20 días de haber inoculado la muestra.

V.7.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Plan de muestreo	Semanal
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Método de Análisis	Digestión por reactor
Instrumento	Colorímetro HACH modelo DR890, Reactor DRB 200
Materiales	Vasos de precipitado, pipetas de 10 ml, bulbo de seguridad para llenar pipetas, portapipetas, filtro de membrana, membrana de filtración de 0,45 µm., papel toalla, papel tissue.
Reactivos	Viales con reactivo de digestión para DQO rango alto y bajo (Dicromato de Potasio) Agua desionizada

Procedimiento de análisis: Se homogenizaba la muestra en un vaso de precipitado con una bagueta. Se encendía el Reactor DRB 200 y se precalentaba a 150 ° C. Se quitaba la tapa de un vial de reactivo de digestión elegido según la tabla siguiente:

Tabla 5-2: Viales usados para el análisis de DQO

Rango de concentrado de DQO en muestra	Tipo de vial reactivo de digestión para DQO
3 a 150 mg/l	Rango bajo
20 a 1500 mg/l	Rango alto

En el caso del presente estudio, se utilizaron viales de rango alto para los puntos de monitoreo A y B correspondientes al efluente del reactor UASB y al punto de mezcla; para los puntos C y D correspondientes a la salida de la primera columna de tratamiento del DHS y a la salida de todo el sistema, se utilizaron viales de rango bajo. Para el análisis de la DQO soluble, se utilizaron viales de rango alto sólo para el punto A y para los demás puntos se utilizaron viales de rango bajo. Se vertían 2ml de muestra homogenizada en el vial. Se volvía a colocar firmemente el tapón del vial. Se limpiaba el exterior del vial de DQO con agua desionizada y se secaba el frasco limpio con papel tisú.

Se invertía el frasco sosteniéndolo por la tapa varias veces para mezclar el contenido. Se colocaba el vial en el Reactor 200 DRB precalentado (Ver Figura 5-15). Se preparaba un blanco repitiendo los pasos anteriores, sustituyendo 2 ml de muestra por agua desionizada. Se calentaban los frascos durante 2 horas en el reactor 200 DRB. Se ejecutaba un blanco con cada conjunto de muestras cuidando que sean del mismo número de lote. Se apagaba el reactor después de las dos horas y se esperaban 20 minutos para que los frascos se enfríen. Luego se invertían los frascos 7 veces mientras todavía estaban calientes. Se colocaban los frascos en un rack y se esperaba hasta que los frascos se enfríen a temperatura ambiente.

Para la medición de la DQO se usaron las siguientes técnicas analíticas:

DQO RANGO BAJO (3 – 150 mg/l) :Programa #16 del Colorímetro HACH modelo DR890 : Para una solución estándar de hasta 100 mg/l de DQO

representativos del reactivo con el instrumento con desviación estándar de 2 mg/l.

DQO RANGO ALTO (20 – 1500 mg/l): Programa #17: Para solución estándar de hasta 1000 mg/L de DQO representativos del reactivo con el instrumento con desviación estándar de 16 mg/l.

Es importante disponer los viales usados de modo adecuado, pues contienen mercurio y son tóxicos.



Figura 5-16: Digestor para viales de DQO. Reactor DRB 200

Principio de la metodología: Los resultados en mg/l de DQO se definen como los miligramos de oxígeno consumido por litro de muestra bajo las condiciones de este procedimiento. En el mismo, la muestra se calienta dos horas con un agente oxidante potente, dicromato de potasio. Los compuestos orgánicos oxidables reaccionan, reduciendo el ion de dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) a un ion crómico verde (Cr^{3+}). Cuando se utiliza el método colorimétrico o titulométrico de 3 – 150 mg/l, se determina la cantidad de Cr^{6+} remanente. Cuando se usa el método colorimétrico de 20-1500 mg/l, se determina la cantidad de Cr^{3+} producido. El reactivo DQO también contiene iones de plata y de mercurio. La plata es un catalizador y el mercurio se utiliza para formar complejos de las interferencias de cloruro.

V.7.7 Nitrógeno

Nitritos

Plan de muestreo	Semanal
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Método de Análisis	Sulfato ferroso
Instrumento	Colorímetro HACH modelo DR890, Tiras indicadoras de nitratos Merckoquant
Materiales	Beaker, tijeras, celda de muestra con tapa, pipetas, portapipetas, bulbo de seguridad para llenar pipetas papel toalla, papel tissue.
Reactivos	Nitriver 2 para rango alto de 0 a 150 mg/l NO ₂ -N

Plan de muestreo y Muestra: Semanalmente, 10ml de muestra por punto.

Instrumentos y materiales usados: Vaso de pruebas Tiras indicadoras de nitratos Merckoquant, 100 tiras Nitratos / Nitritos 0-10-25-50-100-250-500 mg/l NO₃ - 0-100 mg/l NO₂.



Figura Prueba de Nitritos. Tiras colorimétricas.



Figura 5.17: Tiras indicadoras Merckoquant para la medición de Nitritos y Nitratos

Procedimiento de análisis: Se ponían en un vaso de pruebas 15ml de muestra. Se extraía del tubo contenedor una tira de papel colorimétrico. Se introducía en la muestra durante un segundo. Se retiraba y sacudía el excedente de muestra en el papel. Se esperaba durante unos segundos a que el papel se coloree- se colocaba cerca del tubo que tiene impreso un patrón de colores con su valor

correspondiente. Se comparaba y se registraba el valor. (Ver Figura 5-17) Este procedimiento lo utilizamos entre las semanas 22 y 26 de funcionamiento del sistema DHS. A partir de la semana 27, utilizamos el Colorímetro HACH modelo DR890 que se detalla a continuación.

Se programaba el Colorímetro HACH modelo DR890 para la medición de Nitrito correspondiente a rango alto (Programa 59). Se presionaba: PRGM la pantalla mostraba: PRGM.. Se presionaba: ENTER 59 la pantalla mostraba mg/L, NO₂-N y el icono de cero. Se llenaba una celda con 10 ml de muestra. Se colocaba en el colorímetro y calibraba presionando "ZERO". Luego se agregaba en la misma celda el contenido de un sobre de Nitriver 2. Es importante vacear todo el polvo del sobre de papel de aluminio. Se invertía la celda 7 veces para que el reactivo se mezcle. Se colocaba la celda en el colorímetro y se pulsaba temporizador a 10 minutos. Comenzaba el período de reacción. Después de que el reloj emitía un sonido, la pantalla mostraba: 10:00. Se sacaba la celda del colorímetro e invertía dos veces.

Se colocaba la muestra preparada en el soporte de la celda. Se cubría bien la célula de muestra con la tapa del instrumento. Se presionaba: Read, el cursor se movía a la derecha, luego aparecía el resultado en mg/l NO₂-N.

Se enjuagaba la celda muestra inmediatamente después de su uso para eliminar todas las partículas de cadmio. Se guardaba la muestra gastada para la eliminación adecuada de desechos peligrosos de Cadmio (Manual Hach, DR890).

Principio de la metodología: El método usa sulfato ferroso en medio ácido para reducir el nitrito a óxido nitroso. Los iones de hierro se combinan con el óxido nitroso para formar un complejo verde-marrón en proporción directa al contenido de nitrito.

Nitratos

Plan de muestreo	Semanal
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Método de Análisis	Reducción de Cadmio
Instrumento	Colorímetro HACH modelo DR890, Tiras indicadoras de nitratos Merckoquant
Materiales	Beaker, tijeras, celda de muestra con tapa, pipetas, portapipetas, bulbo de seguridad para llenar pipetas, papel toalla, papel tissue.
Reactivos	Nitraver 5 para rango de 0 a 30 mg/l NO ₃ -N

Procedimiento de análisis: Se ponía en un vaso de pruebas 15ml de muestra, Se introducía en la muestra durante un segundo. Se retiraba y sacudía el excedente de muestra en el papel. Se esperaba durante unos segundos a que el papel se coloree- se colocaba cerca del tubo que tiene impreso un patrón de colores con su valor correspondiente. Se comparaba y se registraba el valor. (Ver Figura 5-16). Este procedimiento lo utilizamos entre las semanas 22 y 26. A partir de la semana 27, utilizamos el Colorímetro HACH modelo DR890 que se detalla a continuación.

Se programaba el Colorímetro HACH modelo DR890 para la medición de Nitrato correspondiente a rango alto (PRGR 51). Se presionaba: PRGM la pantalla mostraba: PRGM. Para obtener resultados más precisos, se realizaba una corrección en blanco de reactivo con agua desionizada. Se presionaba: ENTER 51 la pantalla mostraba mg/L, NO₃-N y el icono de cero. Se llenaba una celda con 10 ml de muestra. Se agregaba el contenido de un sobre de Nitraver 5 a la celda de muestra (la muestra preparada). Se tapaba la celda de muestra. Es importante vacear todo el polvo del sobre de papel de aluminio.

Se pulsaba temporizador a un minuto. Comenzaba el período de reacción. Se agitaba vigorosamente la celda de muestra hasta que el reloj emitía un sonido. Es importante agitar vigorosamente la celda. La agitación, tiempo y técnica influyen en el desarrollo del color. Después de que el reloj emitía un sonido, la

pantalla mostraba: 5:00. Se presionaba TIMER 2: comenzaban cinco minutos de período de reacción. Un depósito permanecía después de que el reactivo se disolvía (no afectaba los resultados de la prueba). Se desarrollaba un color ámbar si había nitrógeno presente como ion Nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$).

Se llenaba otra celda con 10 ml de muestra (blanco). Se limpiaban las huellas dactilares o líquido. Se colocaba el blanco en el soporte de la celda. Se cubría bien la célula de muestra con la tapa del instrumento. Cuando sonaba el temporizador, se presionaba ZERO. El cursor se movía hacia la derecha y, a continuación, la pantalla mostraba: 0.0 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$. Corrección en blanco de reactivo, si está encendido la pantalla puede parpadear "límite".

Se colocaba la muestra preparada en el soporte de la celda. Se cubría bien la célula de muestra con la tapa del instrumento. Se presionaba: Read, el cursor se movía a la derecha, luego aparecía el resultado en mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$.

Se enjuagaba la celda muestra inmediatamente después de su uso para eliminar todas las partículas de cadmio. Se guardaba la muestra gastada para la eliminación adecuada de desechos peligrosos de Cadmio. (Manual Hach, DR890).

Principio de la metodología: El Cadmio reduce los nitratos presentes en la muestra a nitrito. El ion nitrito reacciona en medio ácido con el ácido sulfanílico para formar una sal intermedia que se asocia con el ácido para formar un producto de color ámbar.

Nitrógeno Amoniacal

Plan de muestreo	Semanal
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Método de Análisis	Salicilato
Instrumento	Colorímetro HACH modelo DR890
Materiales	Beaker, bagueta, tijeras, pipetas, portapipetas, bulbo de seguridad para llenar pipetas papel toalla, papel tissue.
Reactivos	Viales de reactivo AmVer™ para ensayo en tubos para Nitrógeno amoniacal de alto rango (0 – 50 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ Sobres de reactivo Salicilato de Amonio Sobres de reactivo Cianurato de Amonio

Procedimiento de análisis: Se introducía el número de programa almacenado para nitrógeno de amoníaco (NH₃-N) : PRGM 64. La pantalla mostraba mg/L, NH₃-N y el icono de cero. Se llenaba una celda de muestra con 10 ml de agua desionizada (blanco). Se llenaba una segunda celda de muestra con 10 ml de muestra. Se agregaba el contenido de un sobre de polvo reactivo amoníaco salicilato a cada celda de muestra. Se tapaban ambas células y se agitaba para disolver. Se pulsaba: Temporizador para entrar a tres minutos de periodo de reacción.

Después de las señales sonoras del temporizador, se agregaba el contenido de un sobre de polvo reactivo de amoníaco Cyanurate a cada celda de muestra. Las células se tapaban y se agitaban para disolver el reactivo. Se desarrollaba un color verde si hay nitrógeno de amoníaco (Ver figura 5.18). La pantalla mostraba: 15:00. Se presionaba TIMER 2: y comenzaban los 15 minutos de período de reacción. Después de que sonaba el temporizador, se colocaba el blanco en el soporte de la celda. Se cubría bien la célula de muestra con la tapa del instrumento. Se pulsaba: Cero. El cursor se movía hacia la derecha y, a continuación, la pantalla mostraba: 0.00 mg/L NH₃-N. Se colocaba la muestra preparada en el soporte de la celda. Se cubría bien la célula de muestra con la tapa del instrumento.

Se presionaba: Read. El cursor se movía hacia la derecha y, a continuación, se mostraba el resultado de nitrógeno amoniacal en mg/L.⁽⁴⁾

Principio de la Metodología: Los compuestos de Amonio se combinan con el cloro para formar monocloramina. La monocloramina reacciona con el salicilato para formar 5-aminosalicilato . El 5-aminosalicilato es oxidado en la presencia de un catalizador de sodio para formar un compuesto azulado. El color azul es atenuado por el color amarillo del reactivo en exceso dando una coloración verdosa a la solución.



Figura 5-18: Viales de Amonio en reacción química con los reactivos Salicilato de Amonio y Cianurato de Amonio

V.7.8 Sólidos

Plan de muestreo	Semanal
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Método de Análisis	Salicilato
Instrumentos	Muflas para calcinar horno 600°C, Horno eléctrico 103-105 °C, Horno eléctrico 180°C Balanza electrónica con precisión de 0.0001 g Crisol Gooch Desecador Embudo de filtración
Materiales	Pinzas, cápsulas de porcelana, papel filtro Whatman 40

Sólidos Totales

Procedimiento de Análisis: Se pesaba una cápsula. Se tomaba 50 ml de muestra y se vertían en la cápsula. Se colocaba la cápsula que contenía la muestra en el horno eléctrico mantenido a 103-105°C y se evaporaba la muestra a sequedad. Se dejaba enfriar la cápsula en el desecador aproximadamente 15' y haciendo uso de la balanza electrónica se pesaba el residuo.

Para el cálculo del peso de sólidos en la muestra:

$$\text{Sólidos totales (A)} = (\text{cápsula} + \text{residuo}) - \text{cápsula vacía.}$$

Para la conversión a la concentración de sólidos totales en la muestra:

$$ST \text{ (mg/l)} = \frac{1000}{50} \times \text{Sólidos totales (A)}$$

Principio de la metodología: El secado de la muestra mediante este procedimiento permite eliminar las moléculas de agua de la muestra líquida y dejar el residuo sólido para determinar su peso en la muestra y luego poderlo proyectar en unidades de concentración de mg/l.

Sólidos Disueltos

Procedimiento de Análisis: Se pesaba un crisol. Se filtraban 50 ml de muestra con papel Whatman 40. Se colocaba el líquido filtrado en el crisol y se llevaba a horno eléctrico a 180°C por una hora. Se enfriaba la muestra en el desecador por 15 minutos. Se pesaba nuevamente el crisol con el residuo de la muestra filtrada en la balanza electrónica. Para el cálculo del peso de sólidos disueltos en la muestra:

$$\text{Sólidos disueltos (A)} = (\text{cápsula} + \text{residuo}) - \text{cápsula vacía.}$$

Para la conversión a la concentración de sólidos totales disueltos en la muestra:

$$STD \text{ (mg/l)} = \frac{1000}{50} \times \text{Sólidos disueltos (A)}$$

Principio de la metodología: Al ser filtrada la muestra en el papel Whatman 40, quedan retenidas las partículas en suspensión (sólidos suspendidos) de diámetro mayor a 2 micras permitiendo el paso de los sólidos disueltos. Al calentar esta muestra a 180°C se evapora el contenido de humedad de la misma quedando la fracción sólida.

Sólidos suspendidos

El contenido de sólidos suspendidos totales se obtiene por la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos:

$$\text{Sólidos suspendidos totales (A)} = \text{Sólidos totales (A)} - \text{Sólidos disueltos (A)}$$

Luego se hace la conversión a concentración de sólidos suspendidos totales en la muestra en mg/l:

$$SST \text{ (mg/l)} = \frac{1000}{50} \times \text{Sólidos suspendidos totales (A)}$$



Figura 5.19: Desecador de crisoles de porcelana

Sólidos Fijos Totales

Procedimiento de Análisis: Se pesaba una cápsula. Se tomaban 50 ml de muestra y se vertían en la cápsula. Se colocaba la cápsula que contenía la muestra en el horno eléctrico mantenido a 103-105°C y se evaporaba la muestra a sequedad. Luego se llevaba la cápsula a la mufla a 550°C por una hora. Se sacaba la cápsula con los residuos y se llevaba al horno de 103°C por 10 minutos. Se pasaba la cápsula al desecador por 10 minutos más para que enfríe. Se pesaba la cápsula en la balanza electrónica.

Para el cálculo del peso de sólidos fijos totales en la muestra:

Sólidos totales fijos (A) = (cápsula + residuo) - cápsula vacía.

Para la conversión a la concentración de sólidos fijos totales en la muestra:

$$\text{SFT (mg/l)} = \frac{1000}{50} \times \text{Sólidos totales fijos (A)}$$

Principio de la metodología: Al llevar a calcinar la muestra a una temperatura de 550°C, la materia orgánica se volatiliza, dejando como residuo los elementos inorgánicos que constituyen los sólidos fijos totales.

Sólidos Volátiles Totales

El contenido de sólidos volátiles totales en una muestra se obtiene por la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales fijos:

$$\text{Sólidos volátiles totales (A)} = \text{Sólidos totales (A)} - \text{Sólidos totales fijos (A)}$$

Luego se hace la conversión a concentración de sólidos volátiles totales en la muestra en mg/l:

$$\text{SVT (mg/l)} = \frac{1000}{50} \times \text{Sólidos volátiles totales (A)}$$



Figura 5.20: Mufla de calcinación para la determinación de sólidos volátiles

Sólidos Fijos Disueltos

Procedimiento de Análisis: Se pesaba un crisol. Se filtraban 50 ml de muestra en papel Whatman 40. Se colocaba el líquido filtrado en el crisol y se llevaba al horno eléctrico mantenido a 180°C a sequedad. Luego se trasladaba a la mufla y se sometía a 550°C por una hora. Se colocaba el crisol con el residuo en el horno a 103 °C por 10 minutos y luego se trasladaba al desecador por 10 minutos más para que enfríe. Se pesaba nuevamente el crisol con el residuo de la muestra filtrada en la balanza electrónica.

Para el cálculo del peso de sólidos disueltos fijos en la muestra:

$$\text{Sólidos disueltos fijos (A)} = (\text{cápsula} + \text{residuo}) - \text{cápsula vacía.}$$

Para la conversión a la concentración de sólidos totales disueltos en la muestra:

$$\text{SDF (mg/l)} = \frac{1000}{50} \times \text{Sólidos disueltos fijos (A)}$$

Principio de la metodología: Al ser filtrada la muestra en el papel Whatman 40, quedaban retenidas las partículas en suspensión (sólidos suspendidos) de diámetro mayor a 2 micras permitiendo el paso de los sólidos disueltos. Al calentar esta muestra con sólidos disueltos a 180°C y luego calcinarla en la mufla a 550 °C, la materia orgánica se volatiliza, dejando como residuo los elementos inorgánicos que constituyen los sólidos fijos disueltos en la muestra.

Sólidos Volátiles Disueltos

El contenido de sólidos volátiles disueltos en una muestra se obtenía por la diferencia entre los sólidos disueltos y los sólidos disueltos fijos:

Sólidos volátiles disueltos (A) = Sólidos disueltos (A) - Sólidos disueltos fijos (A)

Luego se hacía la conversión a concentración de sólidos volátiles disueltos en la muestra en mg/l:

$$\text{SVD (mg/l)} = \frac{1000}{50} \times \text{Sólidos volátiles disueltos (A)}$$

Sólidos sedimentables

El análisis de sólidos sedimentables se realizó semanalmente colectando la muestra del sedimentador. Se agitaba el contenido del sedimentador y se vertía 1 litro de muestra al cono Imhoff dejando sedimentar por una hora. Luego se hacía la lectura en la parte final (graduada) del cono. Este resultado representaba el volumen de sólidos sedimentables en un tiempo de retención de una hora en el cono Imhoff de una muestra de 1 litro correspondiente a una semana de acumulación de lodos. Por lo tanto, para realizar el cálculo del volumen de sólidos sedimentables que genera el sistema DHS por litro de agua residual tratada, se ha calculado el volumen total de sólidos sedimentables en el periodo de muestreo acumulado (por lo general 1 semana) y se ha dividido entre el volumen total de agua residual que ha circulado por el sistema DHS en este periodo de muestreo acumulado.

Para calcular el volumen total de sólidos sedimentables en el periodo de muestreo acumulado, multiplicamos el volumen de sólidos sedimentados en el cono Imhoff (correspondiente a 1 litro de muestra del sedimentador) por la capacidad total del sedimentador (V_{TSS}). Este cálculo se ha hecho parcialmente por cada fecha de muestreo.

Luego se ha calculado el volumen total de agua residual que ha circulado por el sistema DHS en el periodo de muestreo acumulado multiplicando el número de días acumulados por el volumen diario de circulación del agua residual en el sistema DHS ($V_T = 61.9$ l/día) por cada fecha de muestreo:

$$SS = V_{TSS} / V_T$$

Donde:

SS = Concentración de sólidos sedimentables en ml/l

V_{TSS} = Volumen total de sólidos sedimentables acumulados en el sedimentador en el periodo de muestreo

V_T = Volumen de agua residual circulada por el sistema DHS en el periodo de muestreo.

Luego se obtuvo el promedio de estos cálculos. (Ver Anexo 03)

V.7.9 Coliformes Termotolerantes

Plan de muestreo	Semanal
Envase de muestreo	Frasco de vidrio de 250 ml
Método de Análisis	Conteo directo de cepas de E Coli incubadas.
Instrumento	Maletín de análisis de agua portátil, AQUALAB, con sus respectivas placas metálicas, bomba de vacío 1/2 HP, embudo cerámico
Materiales	pads o almohadillas de fibra vegetal, membranas filtantes de 0,45 μm , beakers, bagueta, tijeras, papel toalla, papel tissue, agua destilada, tubos plásticos de pruebas de 150 cm^3 con tapa, pinzas, mechero, matraz Erlenmeyer de 250 ml, matraz kitasato, vasos de precipitado graduados de 50 ml
Reactivos	agar m-FC azul, agua peptona, alcohol, agua hervida

Procedimiento de análisis: Se vertían en los vasos de decantación 50 ml de muestra. Se procedía a realizar la primera dilución con 5 ml de muestra en 45 ml de agua destilada en los tubos plásticos con tapa (10^{-1}). Se agitaba el frasco

tapado y se repetía la operación diluyendo 5 ml del frasco con la dilución anterior en 45 ml de agua destilada, obteniendo una dilución de 10^{-2} . Se continuaban haciendo diluciones sucesivas de modo de obtener en el cultivo de las muestras entre 25 y 250 colonias de Coliformes termotolerantes (rango establecido por la FDA en su Manual de Análisis Bacteriológico, 2001).

Así para el punto A o efluente del reactor UASB, resultaron medibles diluciones en ordenes de 10^{-4} , 10^{-5} , al igual que para el punto B de mezcla de efluente del reactor UASB con recirculación del DHS. Para el punto C a la salida de la primera columna se usaron diluciones de 10^{-4} y 10^{-3} . Para el punto D a la salida del sistema DHS ocurría lo opuesto, de modo que se llegó a usar muestras puras sin dilución, obteniendo resultados medibles dentro del rango.

Se preparaban 3 g de agar m-FC azul con 100ml de agua destilada diluyendo a fuego medio de mechero en un matraz Erlemeyer .

Se conectaba la bomba de vacío para filtrar las muestras diluidas conectándola a un matraz Kitasato para crear vacío a través de una manguera e instalando en la boca del matraz un embudo Buchner cerámico que servirá de soporte para la membrana de filtración.

Se esterilizaban las placas metálicas con fuego directo o agua hirviendo. Una vez secas se sumergían los pads o almohadillas en el agar y se colocaban cuidadosamente en las placas, tapándolas para evitar ingreso de polvo o esporas en ellas.

Se filtraban 10 ml de cada muestra diluida sobre el filtro de membrana colocado en el embudo Buchner conectado al matraz. Se encendía la bomba para crear el vacío en el matraz. Una vez filtrada la muestra, con la pinza se colocaba el papel filtro sobre el pad con el agar y se tapaba con cuidado.

Se reunían todas las placas y se introducían en el incubador precalentado a 44,5° C del maletín de pruebas. Se incubaban por 24 horas. Luego se extraían y se realizaba el conteo de colonias formadas. Aparecían de color azul en la superficie de la cuadrícula del filtro (Ver Figura 5-21). Con las fórmulas de Protocolo Recuento en placa de aerobios (FDA en su Manual de Análisis Bacteriológico, 2001) se obtienen los valores de Coliformes en número de colonias por ml o gramo de la muestra. Estos resultados se tabulan a escala logarítmica.



Figura 5.21: Placas de cultivo de Coliformes fecales con las colonias en azul
Principio de la metodología: Las muestras de aguas residuales contienen altas concentraciones de microorganismos patógenos que dificultan el conteo en escala aritmética. Por esta razón se procede a hacer diluciones logarítmicas de las muestras para obtener una solución diluida que permita un conteo más exacto del número de colonias formadas.

Las condiciones del laboratorio y los materiales empleados deben ser lo más estériles posibles para obtener un resultado representativo de la muestra no alterado por contaminación.

La muestra se filtra en membranas de 0,45 micras porque este tamaño de poro retiene las bacterias. La “siembra” se realiza en agar m-FC azul porque tiene los nutrientes seleccionados para el desarrollo de las bacterias Coliformes termotolerantes. La temperatura de incubación de 44,5 °C es la temperatura indicada para el desarrollo del grupo Coliforme fecal.



Figura kit análisis de agua portátil

Figura 5.22: Kit de Análisis de Coliformes termotolerantes

V.7.10 Examen Microbiológico directo

Plan de muestreo	Eventual
Envase de muestreo	Frasco de vidrio o envase de 100 ml
Método de Análisis	Examen directo
Instrumento	Microscopio, cámara Sony DSC-S3000
Materiales	placas de vidrio para microscopio
Reactivos	No aplica



Figura 5.23: Vista microscópica de *Opercularia spp* en el lodo del sistema DHS

Procedimiento de análisis: Se tomaban 10 ml de muestra de lodo del sedimentador o de las esponjas y se trasladaba a la placa de vidrio directamente. Se visualizaban los microorganismos en el lodo o film biológico. Se tomaban fotografías y se les identificaba.

Principio de la metodología: La observación directa de los organismos presentes en el DHS proporciona una información de fuente directa de los organismos involucrados en el tratamiento del agua residual por el sistema DHS. Asimismo, permite verificar el estado de evolución y el grado de tratamiento en la unidad.

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSION

En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos durante los 236 días de monitoreo del sistema DHS en la planta de tratamiento de aguas residuales del CITRAR. Para analizar el proceso de evolución del sistema DHS y su eficiencia en el tratamiento del efluente del UASB, se ha optado por diferenciar tres periodos en este estudio:

- Periodo I: Arranque del sistema.
Este periodo abarca desde el primer día de alimentación del sistema con el efluente del reactor UASB hasta el día 115 de su funcionamiento en que el sistema alcanzó una maduración biológica.
- Periodo II: Monitoreo del sistema estable.
Periodo que abarca desde el día 116 de funcionamiento del sistema DHS hasta el día 207. En este periodo el sistema alcanzó una tendencia estable en su funcionamiento.
- Periodo III: Monitoreo final
Desde el día 208 del funcionamiento del sistema DHS hasta el final del periodo de monitoreo a los 236 días de operación del sistema DHS. Este periodo es el que se toma como referencia en el presente documento para reportar la eficiencia del sistema DHS en el tratamiento del efluente del UASB en los parámetros del estudio.

Se muestra en la tabla 6.1 los resultados alcanzadas por el sistema DHS en la última etapa del monitoreo comprendido entre el 24 de enero y el 2 de marzo del año 2012, una vez que éste alcanzó estabilidad y maduración total. Luego se hace un análisis de cada parámetro del presente estudio. Las tablas de resultados que generaron estos Gráficos se encuentran en el Anexo 03.

VI.1 Temperatura

La curva es representativa de las variaciones estacionales entre el invierno en que se inició el experimento y el verano cuando se culminó. La temperatura a lo largo del periodo de operación del sistema osciló entre 18 y 28 °C con un valor promedio de 23.3°C y no se registraron grandes variaciones entre los puntos de monitoreo del DHS. Ver Gráfico 6.1.

VI.2 pH

Los valores de pH fluctúan mayormente en un rango de 7 a 8 en todos los puntos de monitoreo. Se observan sin embargo, ciertos valores de pH en un rango más ácido a la salida del Sedimentador. Esto puede ser debido a la mayor concentración de oxígeno disuelto en esta fase del tratamiento. Ver Gráfico 6.2.

Tabla 6.1: Concentraciones Promedio, Desviaciones Estándar y Porcentajes de Remoción de los Parámetros Monitoreados durante el periodo final de funcionamiento del sistema DHS

PARAMETROS	Tamaño de muestra	Efluente UASB	Mezcla con Recirculación	Salida primera columna	Salida Sedimentador	% Remoción	
	n	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D	Segmento A-C	Segmento A-D
	DQO Total (mg/l)	4	228 (61)	144 (48)	72 (12)	36 (3)	68
DQO Soluble (mg/l)	4	111 (21)	66 (15)	43 (7)	35 (2)	61	68
DBO ₅ (mg/l)	5	125 (34)*	44 (6)	23 (3)	8 (2)	82	94
NH ₃ -N (mg/l)	4	47 (10)	37 (11)	25 (6)	18 (8)	47	63
NO ₂ -N (mg/l)	4	6 (1)	5 (1)	2 (1)	3 (1)	65	52
NO ₃ -N (mg/l)	4	10 (3)	22 (11)	11 (8)	46 (41)	-7	-361
SS (mg/l)	4	80 (52)	109 (101)	82 (10)	100 (81)	-2.5	-24
ST (mg/l)	4	581 (62)	555 (88)	484 (74)	516 (70)	17	11
SD (mg/l)	4	501 (62)	446 (88)	402 (74)	430 (70)	20	14
SV (mg/l)	4	179 (68)	183 (70)	133 (53)	141 (53)	26	21
CF (UFC/100 ml)	4	1.12E+08	9.42E+07	4.83E+06	4.42E+04	95.686	99.961
OD (mg/l)*	40	0.33 (0.11)	1.06 (0.51)	4.22 (0.49)	3.1 (0.92)	92	89

*Media Geométrica

DQO: Demanda Química de Oxígeno, DBO₅ : Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día, NH₃-N : Nitrógeno Amoniacal expresado como la cantidad de Nitrógeno en la molécula de Amonio, NO₂-N: Nitritos expresado como la cantidad de Nitrógeno en la molécula de Nitrito, NO₃-N: Nitratos expresado como la cantidad de Nitrógeno en la molécula de Nitrato, SS: Sólidos Suspendidos, ST: Sólidos Totales, SD: Sólidos Disueltos, SV: Sólidos Volátiles, CF: Coliformes fecales o termotolerantes, OD: Oxígeno Disuelto. Los valores de la Tabla 5.4 son promedios de los muestreos semanales realizados en la etapa de monitoreo final comprendido entre el 24 de enero y el 2 de marzo del 2012, una vez que el sistema DHS alcanzó estabilidad y maduración total. Los valores en paréntesis son las desviaciones estándar de los mismos. En las últimas columnas se señalan los porcentajes de remoción alcanzados por el sistema DHS en su conjunto (segmento A-D), diferenciando la eficiencia de remoción alcanzada por el segmento A-C comprendido entre el punto de ingreso del efluente del UASB al sistema hasta la salida de la primera columna del DHS. Esta diferenciación se hace para poder apreciar la longitud de columna ideal para el tratamiento de cada parámetro.

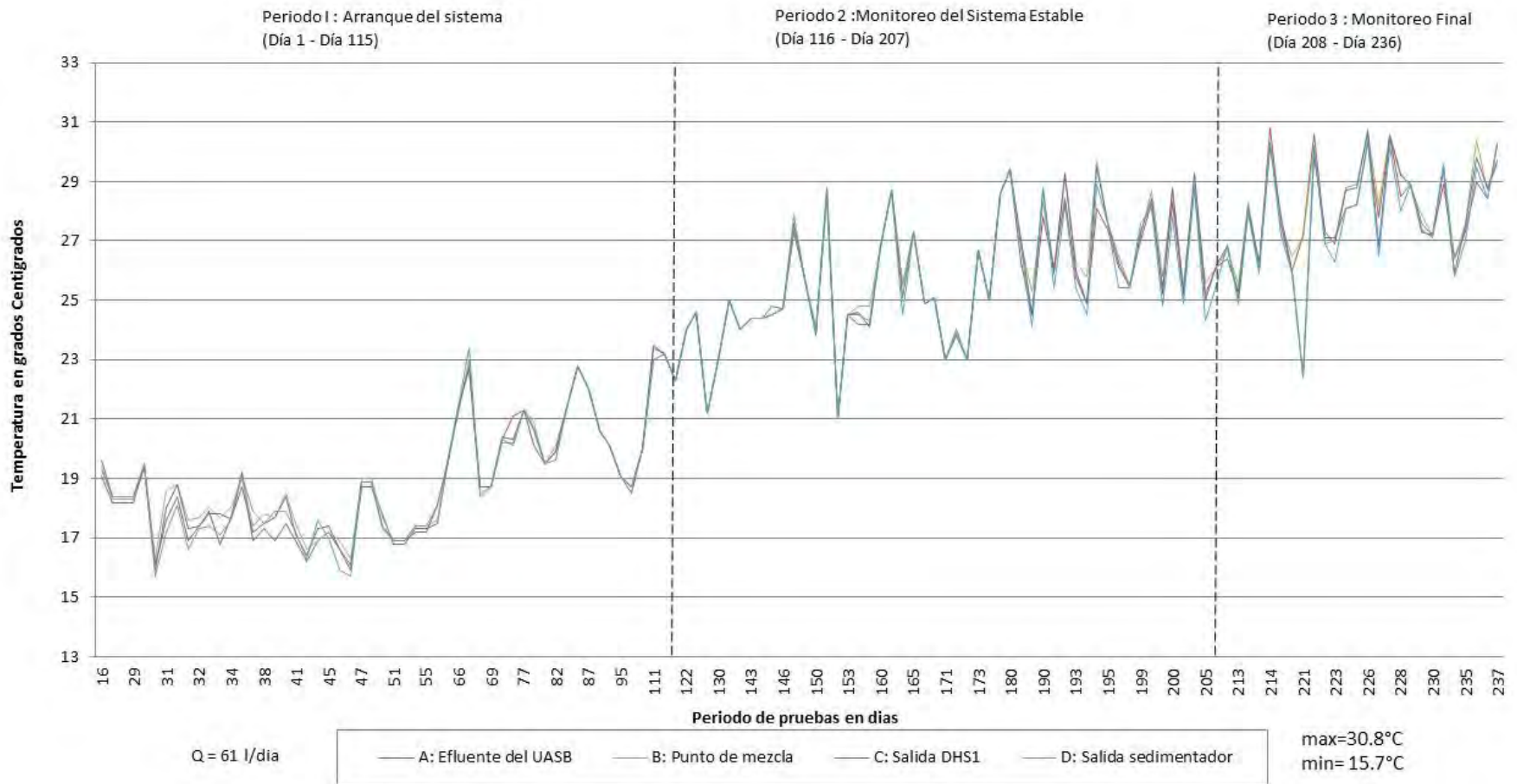


Gráfico 6.1: Temperaturas registradas en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

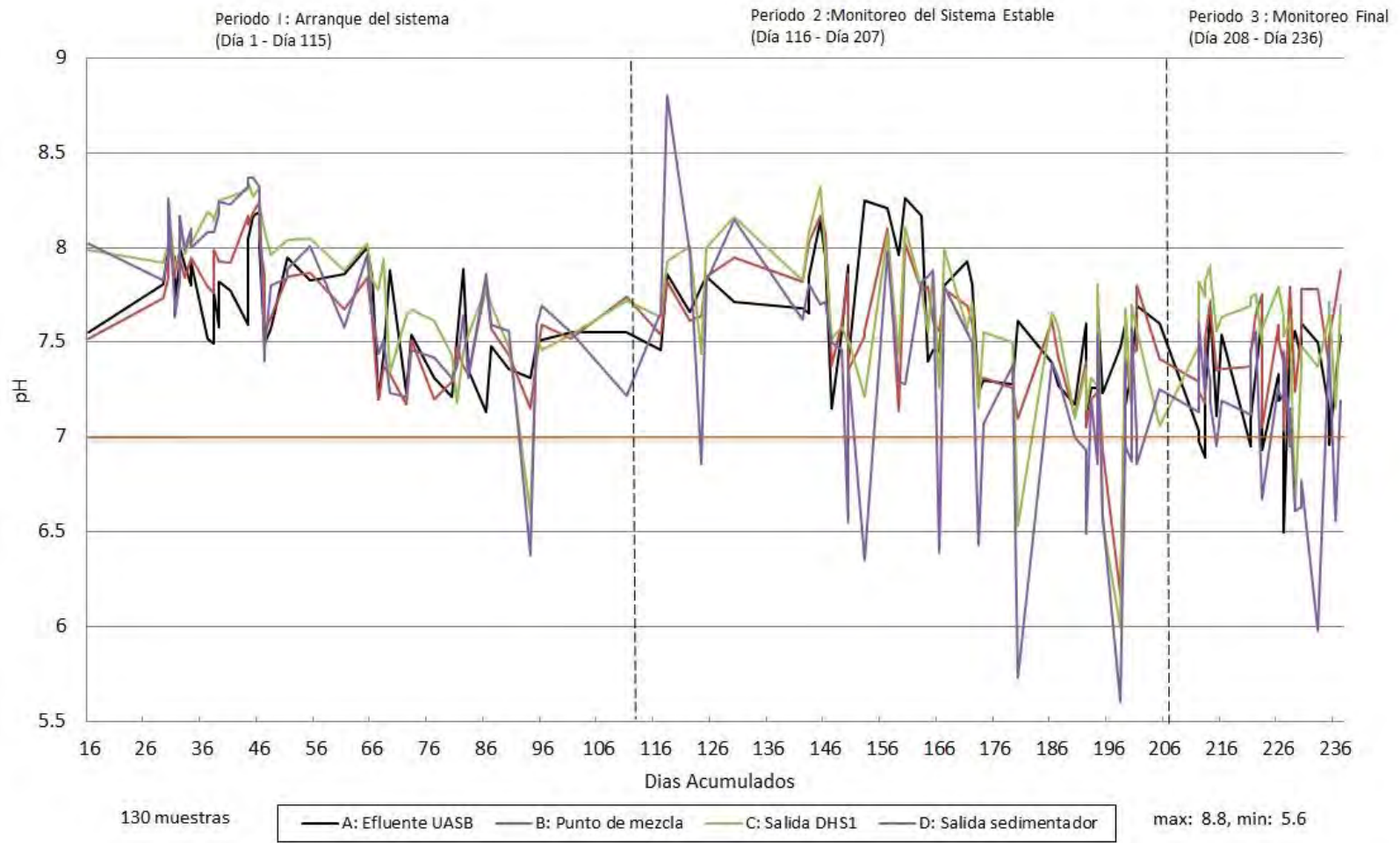


Gráfico 6.2: Valores de pH registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

VI.3 Oxígeno Disuelto

El Gráfico 6.3 demuestra el aumento en la oxigenación del efluente tratado conforme se avanza en el proceso de tratamiento en el sistema DHS. En el ingreso al sistema DHS, el efluente presenta una concentración promedio de oxígeno disuelto de 0.5 mg/L y a la salida del sistema DHS el promedio aumenta a 5.5 mg/L. Hacia el final del periodo de monitoreo (día 229), se observa una disminución del oxígeno disuelto a la salida del sedimentador, aproximadamente en un 27%. Esta etapa coincide con la modificación de la unidad de sedimentación, en la que se cambió el sedimentador por un recipiente con mayor volumen pero más cerrado, lo cual dificultaba el ingreso del oxígeno del ambiente. Ver Gráfico 6.3.

VI.4 Conductividad

Para poder observar mejor la tendencia de este parámetro se ha trabajado el Gráfico con los valores correspondientes a la medias geométricas de cada punto de monitoreo. Ver Gráfico 6.4.

VI.5 Turbiedad

Se observa una tendencia bastante uniforme a la disminución de la turbiedad conforme se avanza en el tratamiento a través de la columna DHS. Esto muestra una clara evidencia de remoción de sólidos suspendidos por el sistema DHS (G. Tchobanoglous, et al, 2003). El sistema DHS alcanzó niveles de turbiedad a la salida del sistema de 18 NTU en promedio, representando una eficiencia de remoción de 84.6%. Ver Gráfico 6.5.

VI.6 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

En el Gráfico 6.6 de DBO₅ en los puntos de monitoreo en el tiempo de operación del sistema DHS, podemos observar que los valores de DBO₅ en el efluente del reactor UASB son muy variables; sin embargo, la calidad del efluente del sistema DHS permanece estable a pesar de estas fluctuaciones, manteniéndose en un rango de 2

a 5 mg/L. De aquí concluimos que el sistema es bastante estable en la remoción de material orgánico.

En el Gráfico 6.7 de comparación de las tasas de remoción de DBO_5 a la salida de la primera y la segunda columna en el tiempo de operación del sistema DHS, se puede observar que las tasas de remoción a la salida de la primera columna son más altas que a la salida de la segunda columna. El punto de referencia para la medición en la segunda columna corresponde a la salida del sedimentador, ya que no se ha trabajado un punto de monitoreo directamente a la salida de la primera columna.

En el Gráfico 6.8 se observa que el tratamiento del efluente del reactor UASB mediante el sistema DHS presentó una eficiencia de remoción de DBO_5 del 94%, tomando como referencia el promedio de los últimos cuatro muestreos realizados en la etapa de monitoreo final, una vez que el sistema DHS alcanzó estabilidad y maduración total. Asimismo, en esta última etapa de monitoreo se observa que el mayor porcentaje de remoción de DBO_5 en el sistema (82% en promedio) se da en la primera columna, a los 60 cm. de altura del sistema DHS.

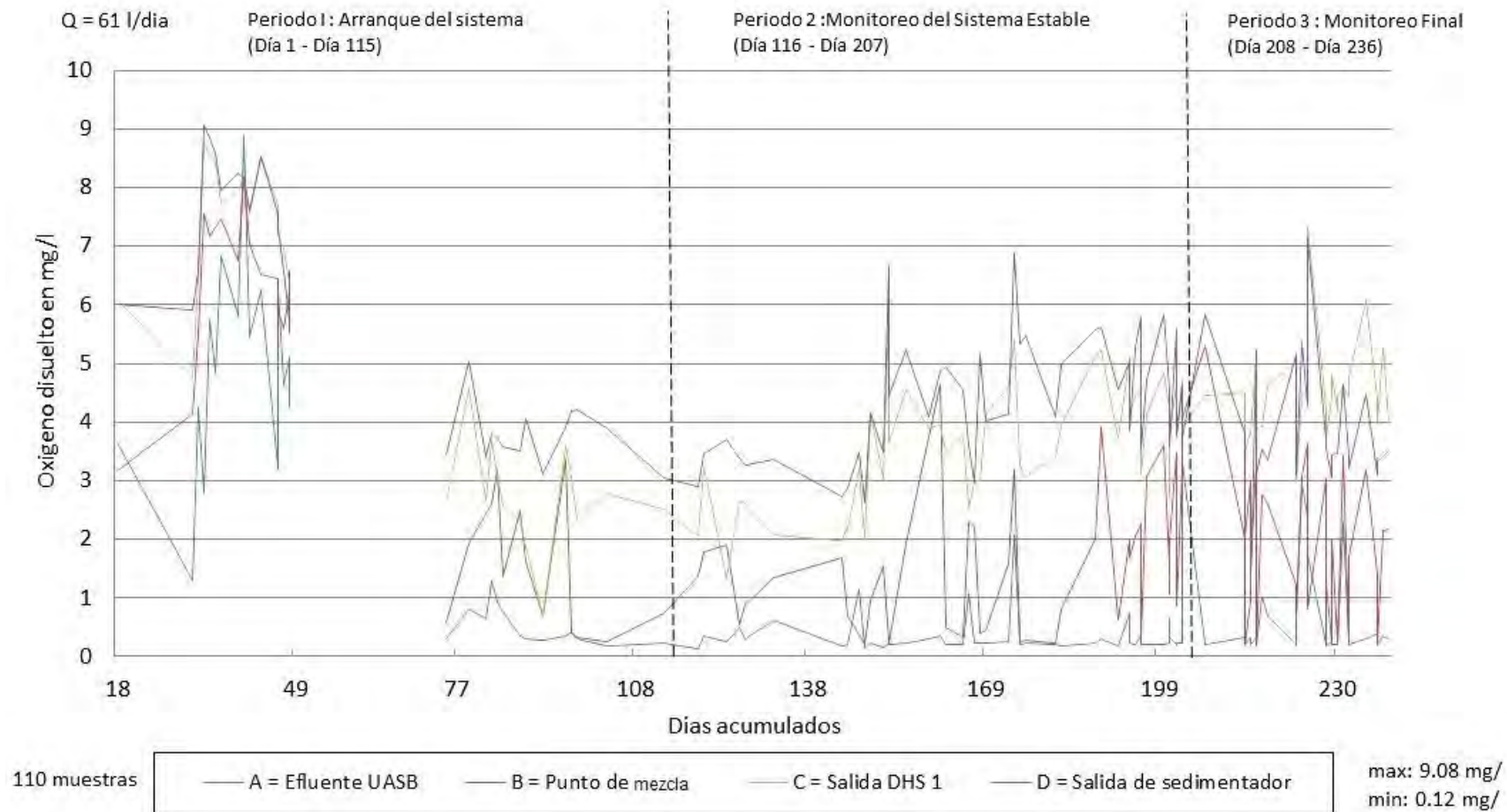


Gráfico 6.3: Valores de Oxígeno Disuelto registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

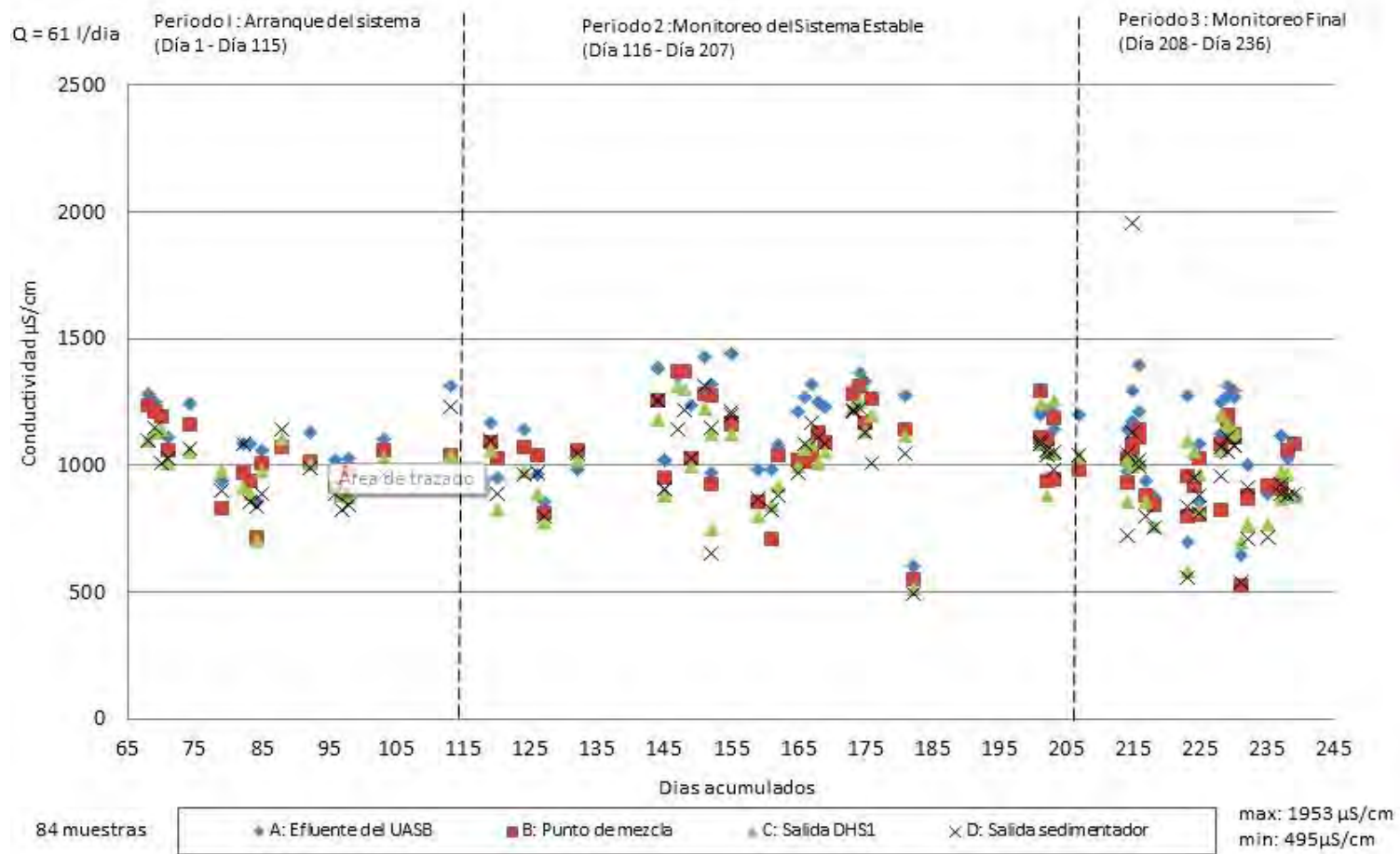


Gráfico 6.4: Valores de Conductividad registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

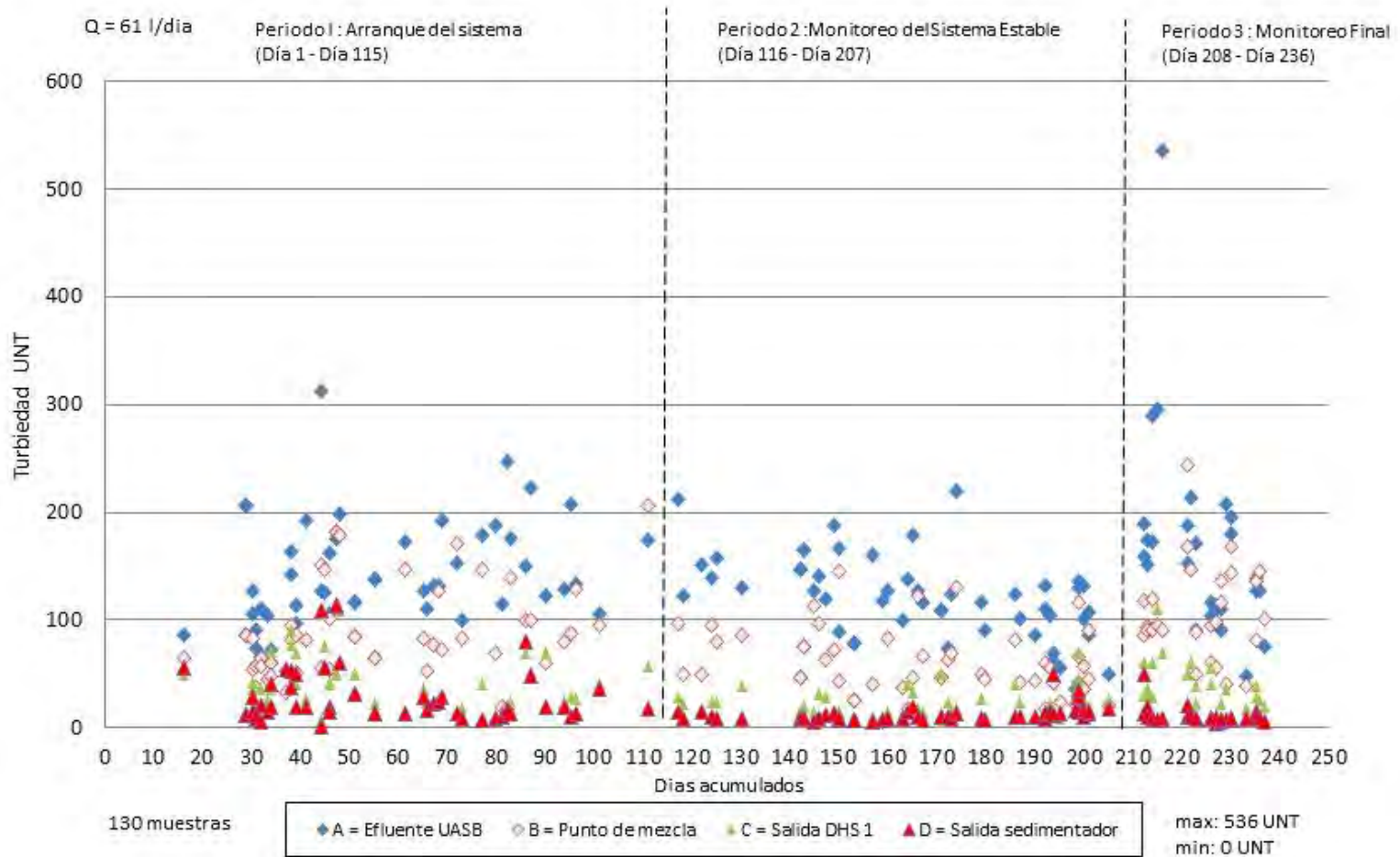


Gráfico 6.5: Valores de Turbiedad registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

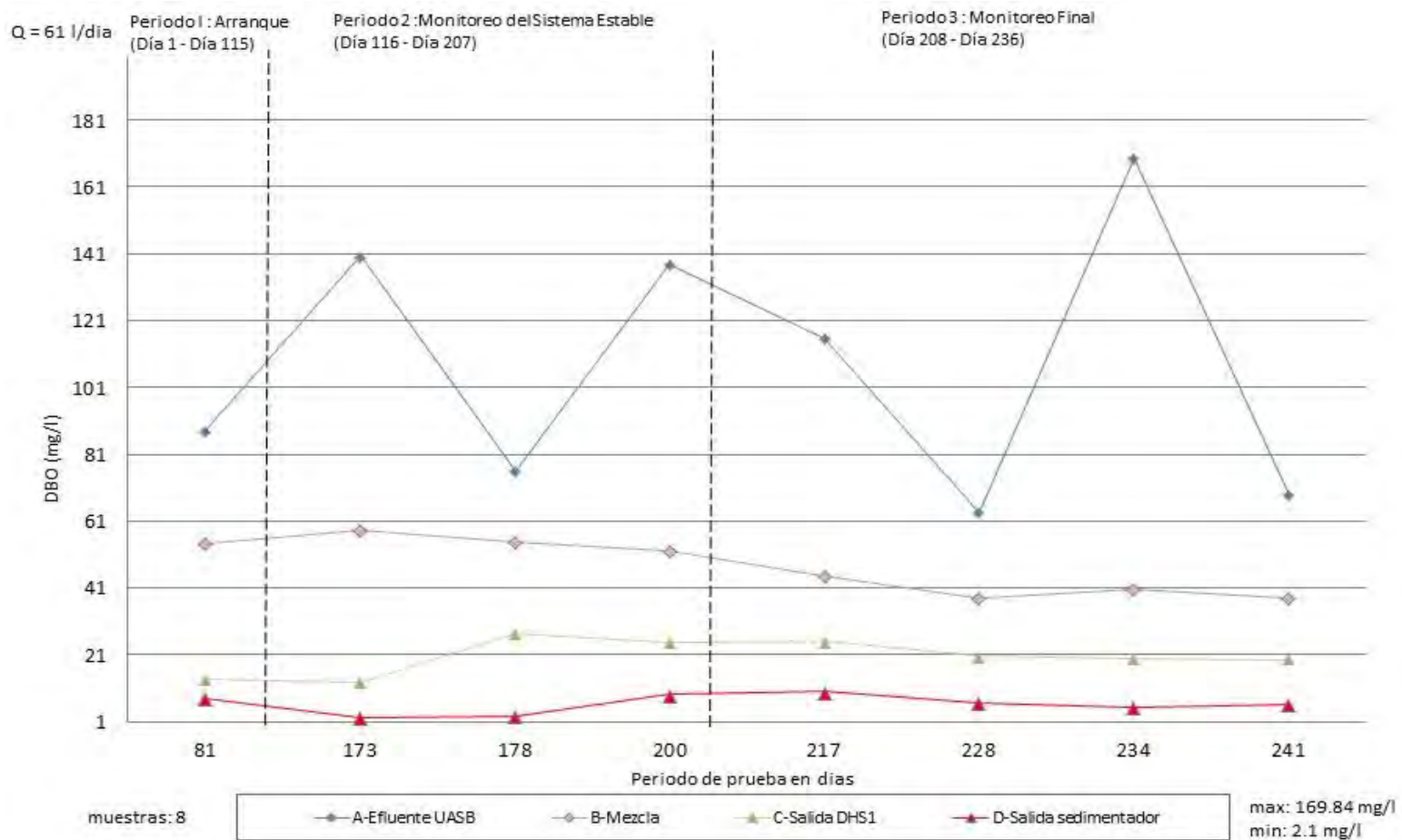


Gráfico 6.6: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

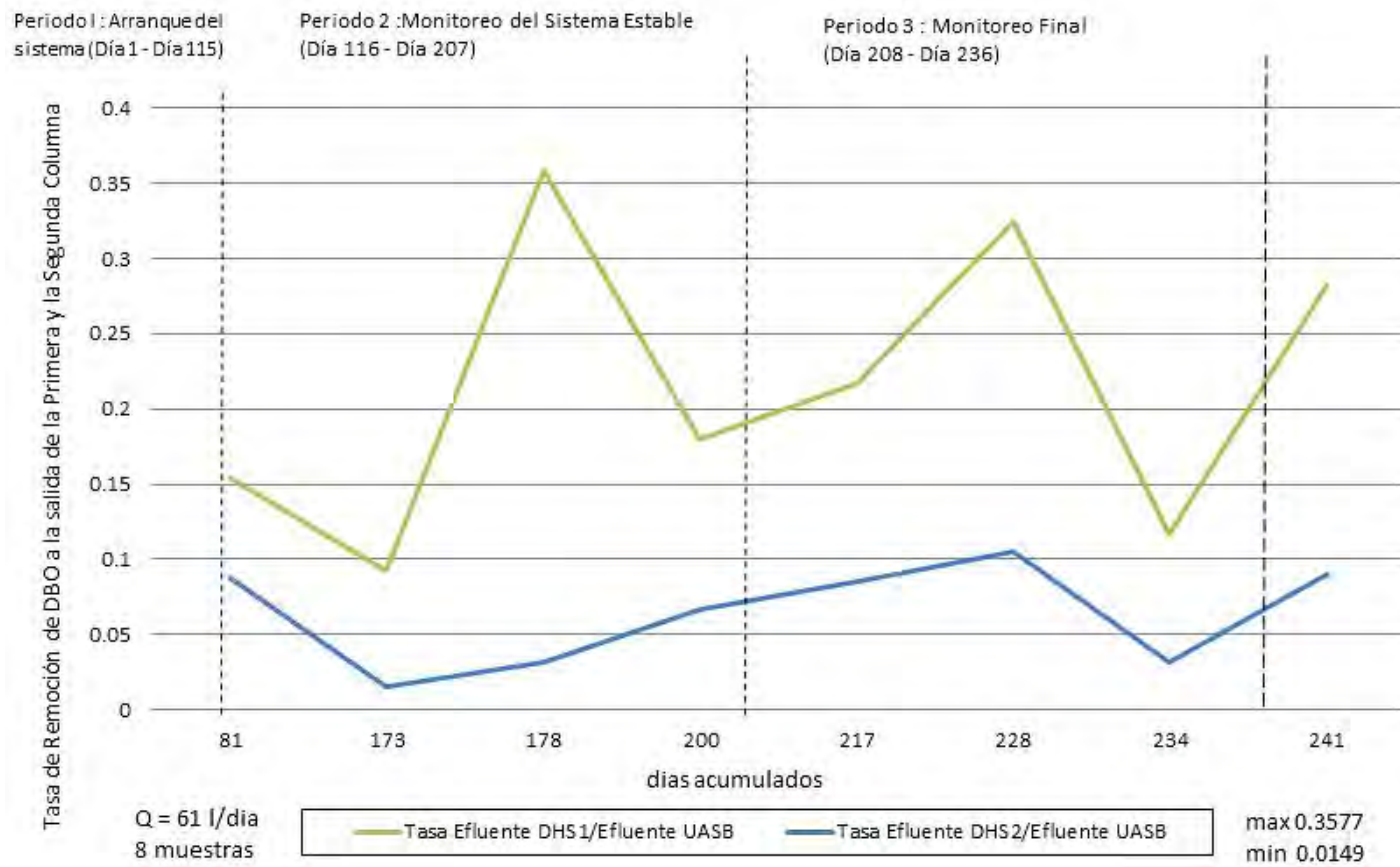


Gráfico 6.7: Comparación de las Tasas de Remoción de DBO₅ a la salida de la Primera y la Segunda Columna en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

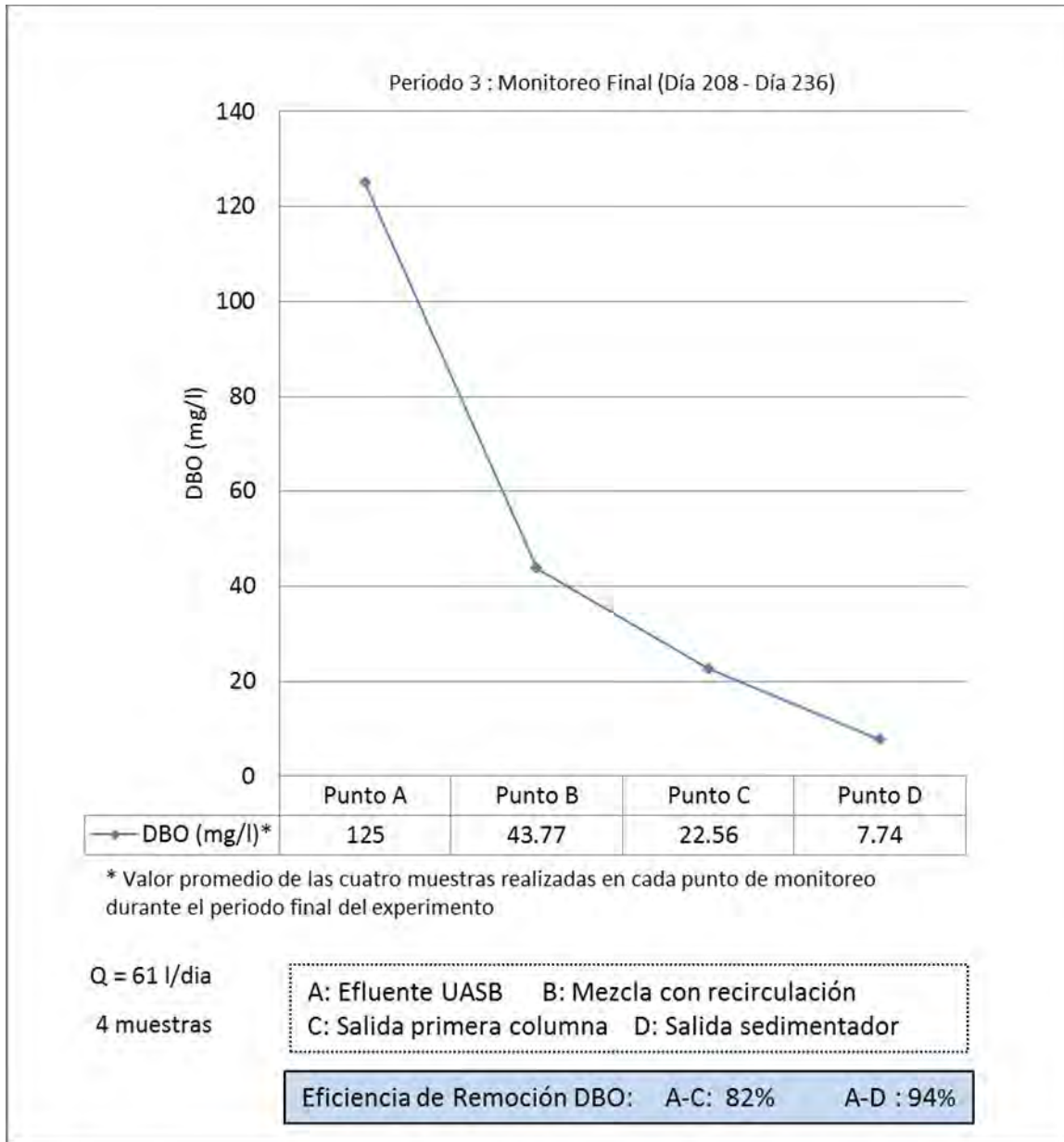


Gráfico 6.8: Valores Promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo

VI.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

En la Gráfico 6.9 de DQO Total registrada en los puntos de monitoreo en el tiempo de operación del sistema DHS, se observa que el sistema DHS alcanzó estabilidad en el tratamiento de la DQO hacia el día 119 correspondiente a la etapa de monitoreo del sistema estable. A partir de entonces, los valores de DQO en el efluente del DHS permanecieron bastante estables, en un rango de 20 a 90 mg/L, a pesar de las fluctuaciones en las concentraciones de DQO que ingresaban al sistema.

En el Gráfico 6.10 donde se representan los valores promedio de la DQO y porcentajes de remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el periodo final de monitoreo, se observa lo siguiente:

La eficiencia promedio de remoción de DQO por el sistema DHS es del 84% de la DQO Total y 68% de la DQO Soluble, alcanzando valores finales de 36 mg/l y 35 mg/l respectivamente a la salida del sedimentador. Se observa además que el 81% de la remoción de DQO Total y el 95% de la remoción de la DQO Soluble se dan en la primera columna del DHS. Asimismo, se observa que el porcentaje de remoción varía muy poco entre la salida de la primera columna y la salida del sedimentador (16%). Estos resultados llevaron a desarrollar un análisis más detallado del funcionamiento del Sistema DHS en el tramo comprendido entre la primera y la segunda columna, el cual se detalla a continuación.

En el Gráfico 6.11 de Tasas de DQO Total registradas a la salida de la primera columna (DHS1) y a la salida del sistema DHS con respecto a la DQO ingresada al sistema, se observa que las tasas de DQO a la salida de la primera columna y la salida del sistema DHS con respecto a la DQO ingresada al sistema DHS se van estabilizando en el tiempo de operación del mismo, alcanzando la mayor estabilidad a los 182 días de operación. Asimismo, en este Gráfico se observa una tendencia general a reportar mayores niveles de remoción a la salida de la primera columna de

tratamiento que a la salida de la segunda columna, después del sedimentador. En el análisis de las tasas de DQO Soluble a la salida de la primera columna (DHS1) y la salida del sistema DHS con respecto a la DQO Ingresada al sistema, (Gráfico 6.12), nuevamente se repite la tendencia a presentar mayores niveles de remoción a la salida de la primera columna de tratamiento que a la salida de la segunda columna.

Esto hizo suponer que el sedimentador podría estar aportando DQO. Sin embargo, esto no se podía afirmar ya que no se consideró un punto de monitoreo a la salida de la segunda columna, antes de ingresar al sedimentador. Para comprobar esta suposición se realizó un monitoreo adicional incorporando un nuevo punto de muestreo N a la salida de la segunda columna (Ver Gráfico 6.13).

En el Gráfico 6.14 de DQO Total y Soluble a lo largo de la columna DHS tomando en consideración el nuevo punto de monitoreo N, se puede observar claramente que la segunda columna está aportando DQO en el sistema de tratamiento. Los bajos niveles de DQO particulada a la salida de la primera columna están indicando que los compuestos orgánicos en el agua residual han sido oxidados y que su concentración al ingresar a la segunda columna no es suficiente para mantener el crecimiento celular de la biomasa, por lo tanto las células mueren y se desprenden con el flujo aportando DQO a la salida de la segunda columna. Este es un claro indicador de que existe una altura de columna óptima para el tratamiento de la DQO del agua residual en el sistema DHS que para el caso del presente estudio llega a los 60 cm.

Para el estudio de la remoción biológica de nutrientes, se ha presentado la necesidad de fraccionar la DQO. Las principales fracciones son la DQO particulada o no soluble y la DQO soluble que se separan mediante filtración de la muestra.

La DQO particulada (la fracción de DQO total menos la soluble) es un indicador de las variaciones en la biomasa en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Se utiliza para definir la cinética de la biodegradación de los compuestos orgánicos

porque se relaciona con la estequiometría del sustrato oxidado o usado en el crecimiento celular.

Al realizar el análisis de la diferenciación de fracciones de DQO soluble y no soluble (Gráfico 6.15) en el tiempo de operación del sistema DHS, se observa una tendencia general a la remoción de ambas fracciones en el proceso de tratamiento. Esto está representando el proceso de biodegradación del sustrato orgánico por la biomasa activa en las esponjas para su crecimiento celular.

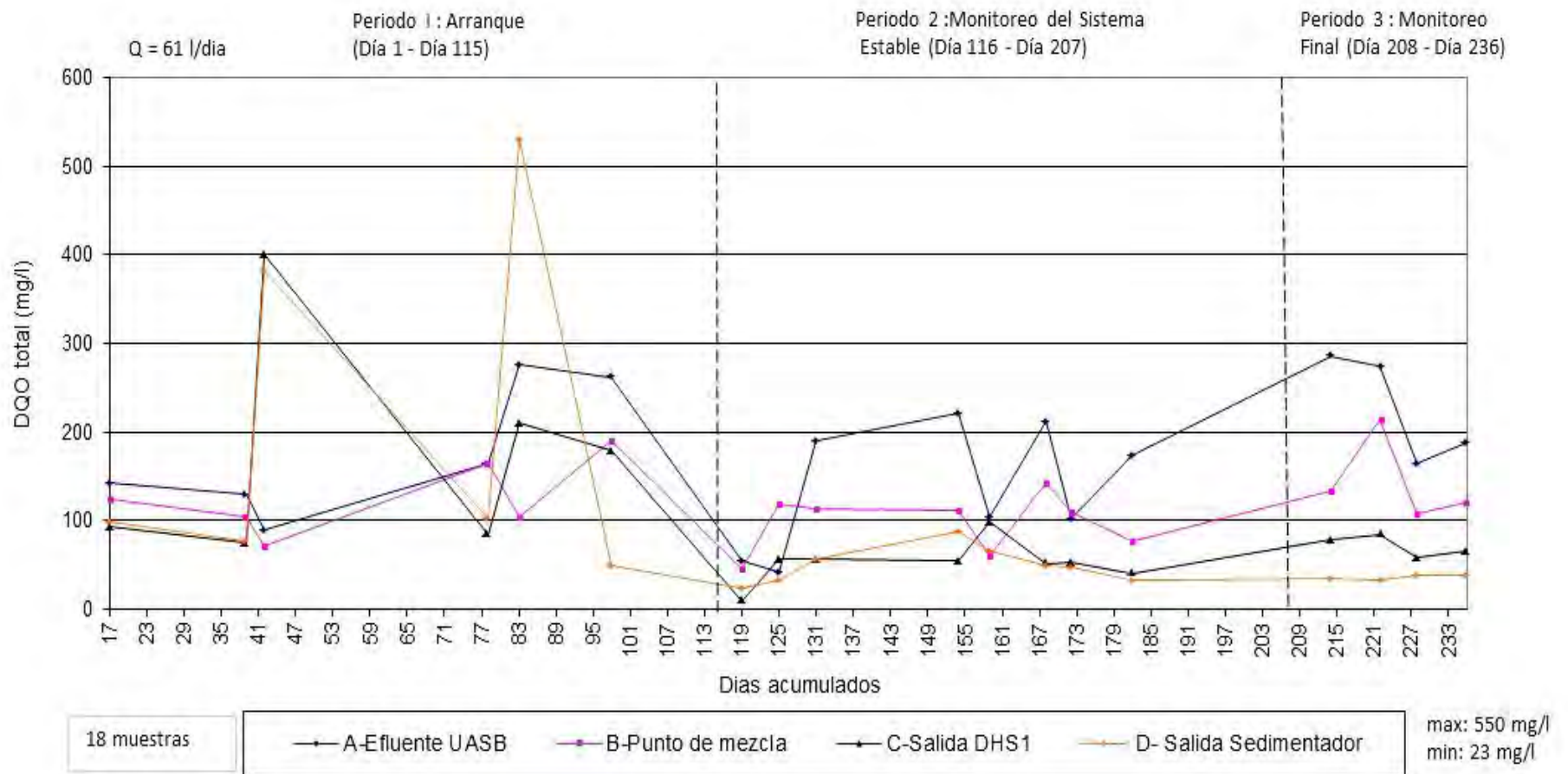


Gráfico 6.9: DQO Total registrada en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

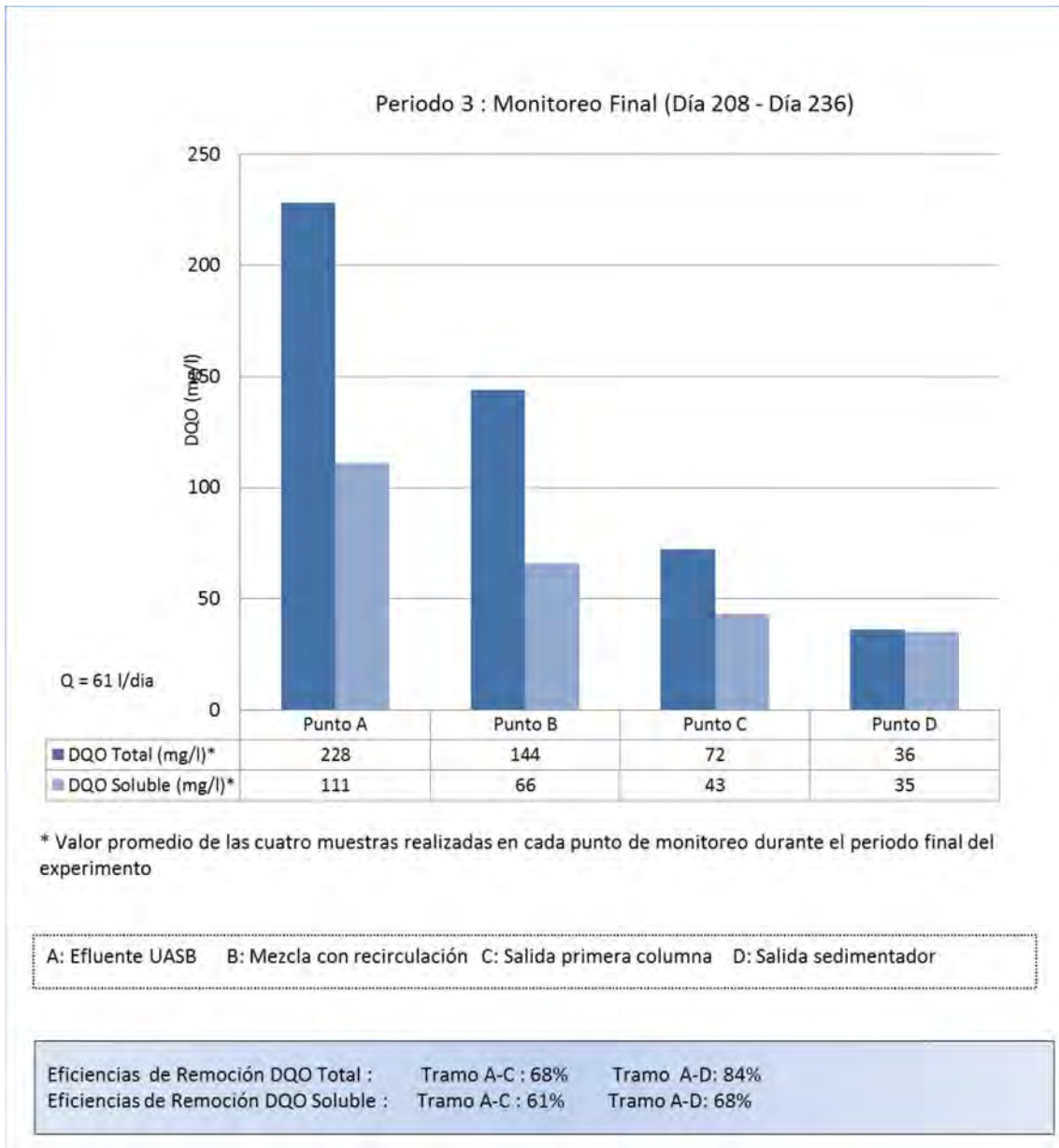
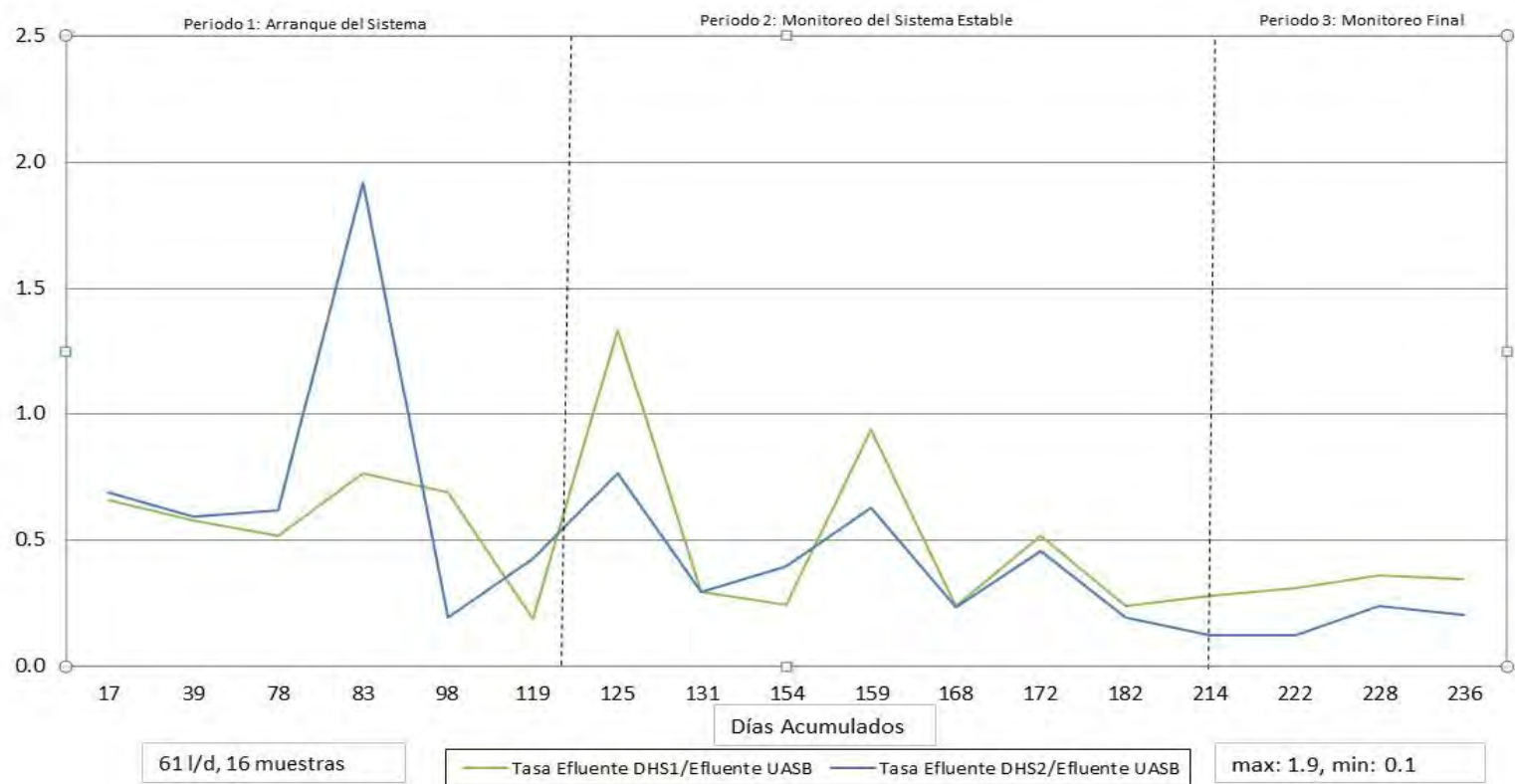
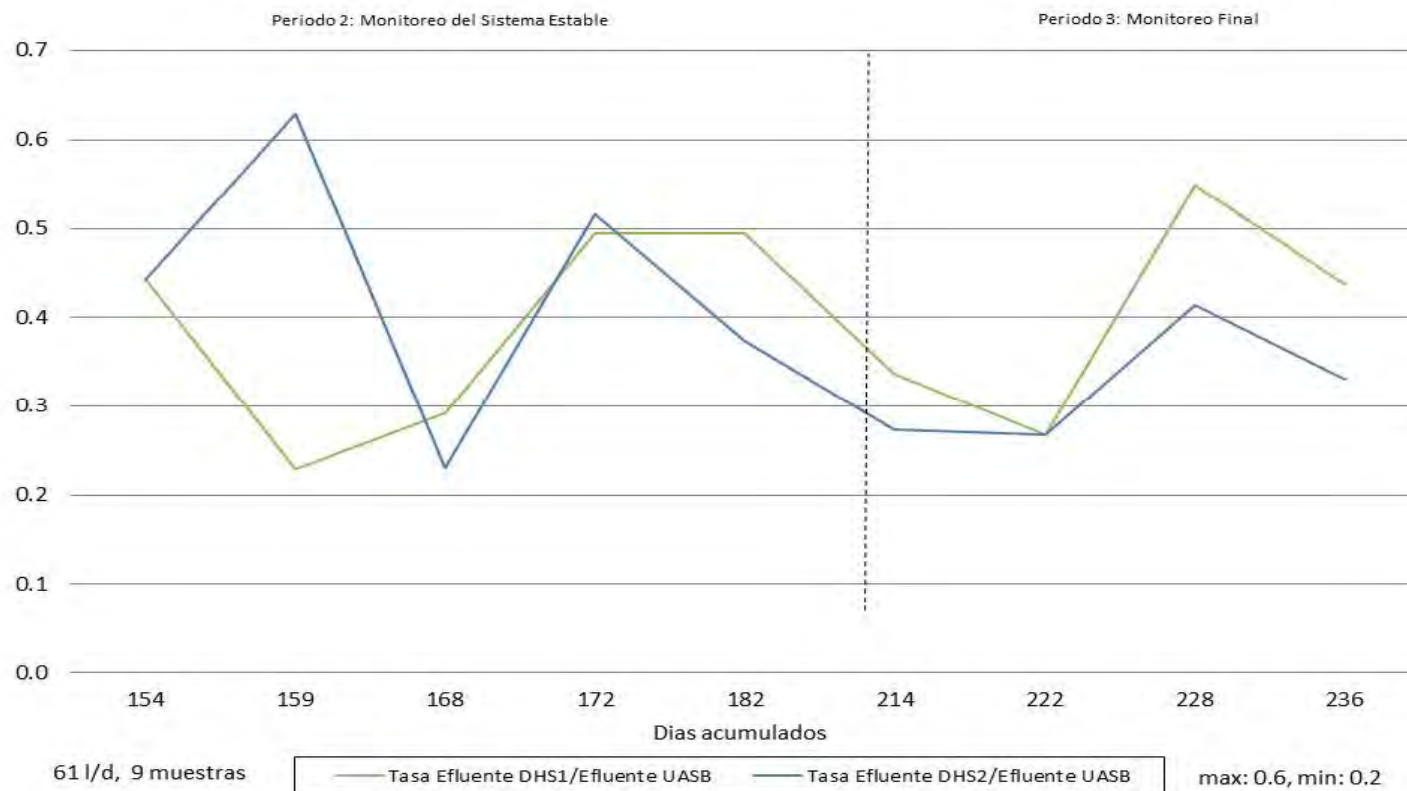


Gráfico 6.10: Valores Promedio de la Demanda Química de Oxígeno y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo



En el Gráfico observamos que la fracción de DQO a la salida de la primera y la segunda columna con respecto a la DQO ingresada al sistema DHS se van estabilizando en el tiempo de operación del sistema DHS, alcanzando la mayor estabilidad a los 182 días de operación del mismo. También se observa una tendencia general a reportar mayores niveles de remoción a la salida de la primera columna de tratamiento que a la salida de la segunda columna.

Gráfico 6.11: Tasas de DQO Total a la salida de la Primera y la Segunda Columna del Sistema DHS con respecto a la DQO Ingresada al Sistema en el Tiempo de Operación del mismo



Se observa en el tiempo una inestabilidad en la fracción de DQO Soluble a la salida de la primera y la segunda columna con respecto a la DQO ingresada al sistema DHS. Nuevamente se repite la tendencia a presentar mayores niveles de remoción a la salida de la primera columna de tratamiento que a la salida de la segunda columna.

Gráfico 6.12: Tasas de DQO Soluble a la salida de la Primera Columna y del sedimentador del sistema DHS con respecto a la DQO Ingresada al Sistema en el Tiempo de Operación del mismo

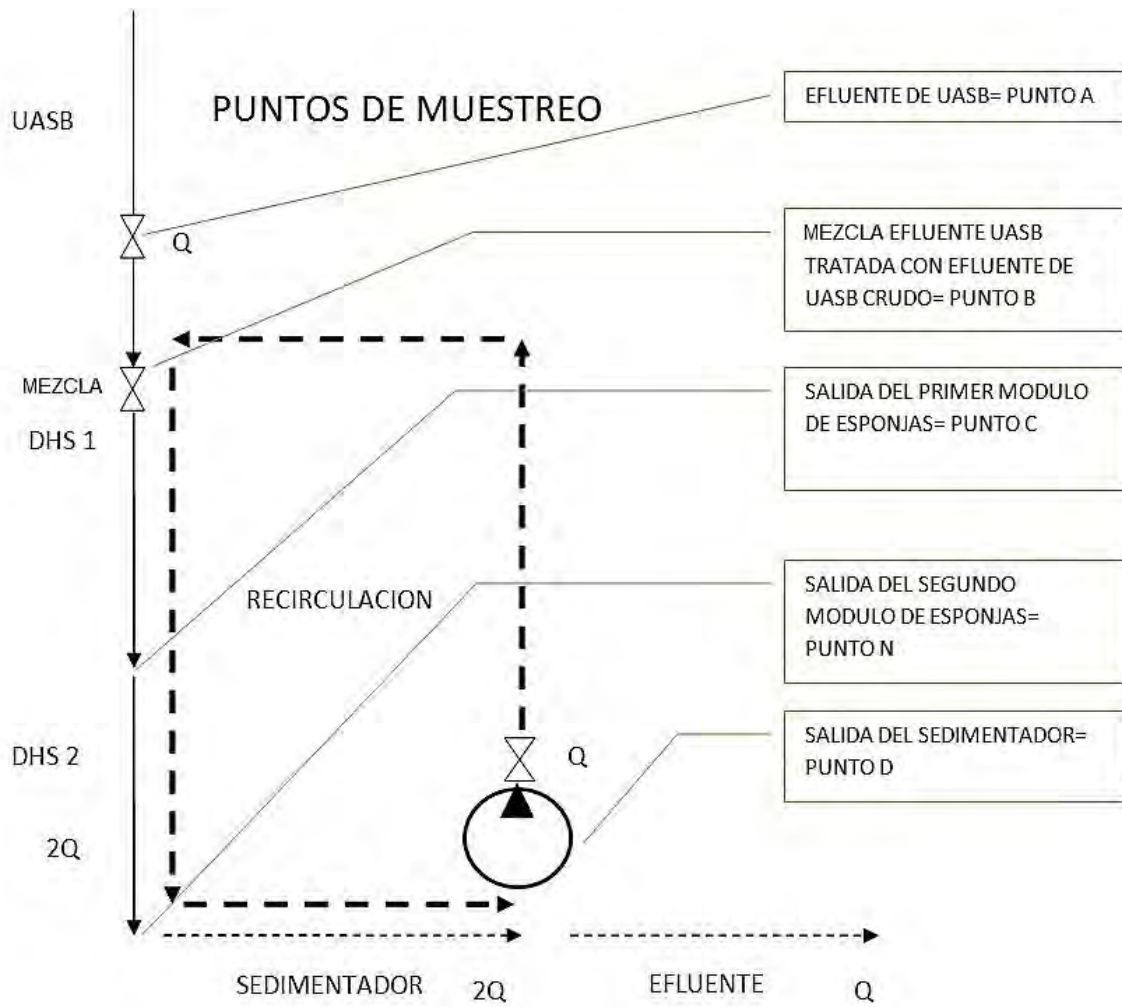
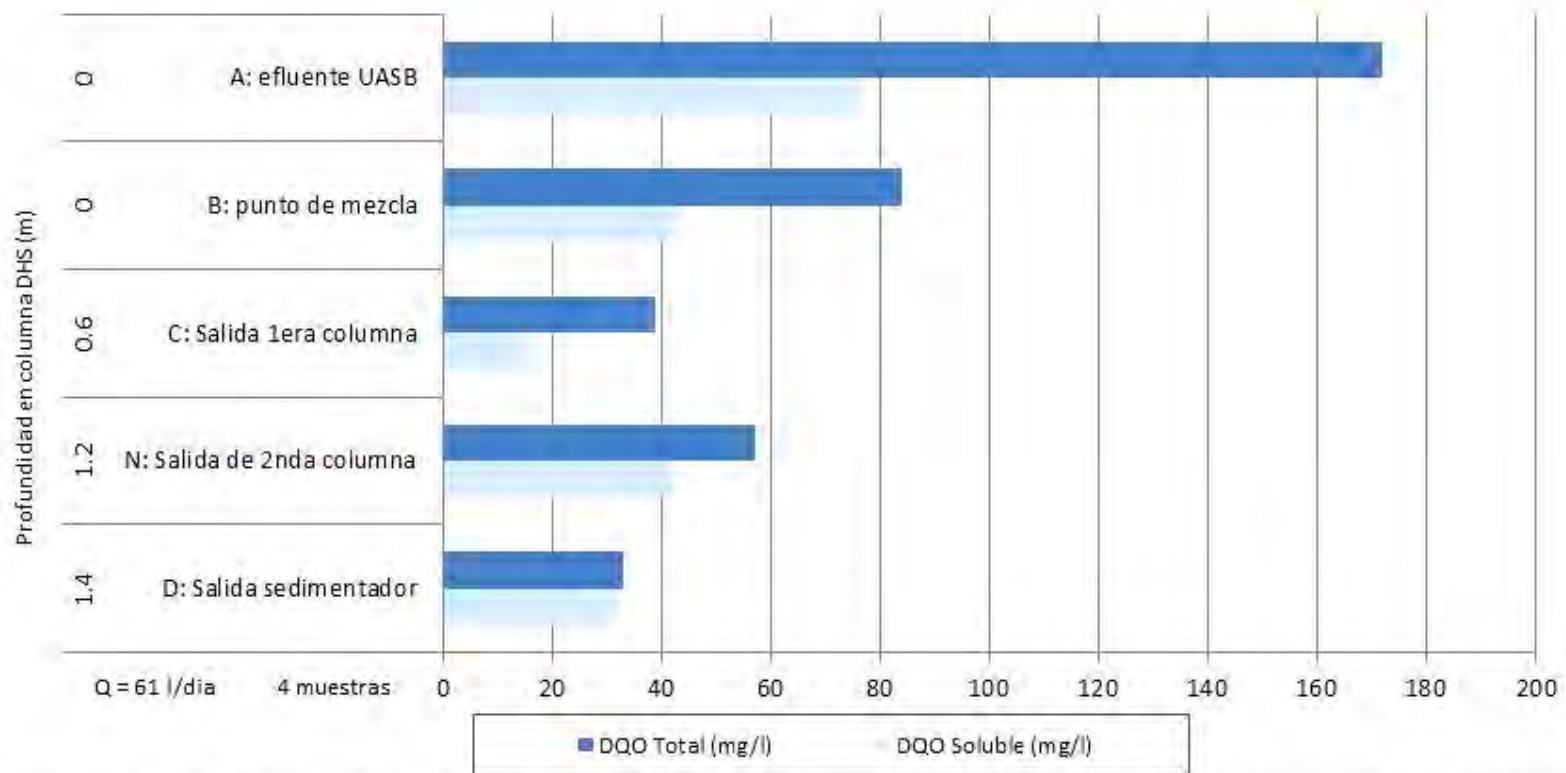


Gráfico 6.13: Puntos de monitoreo del sistema DHS incluyendo el nuevo punto N



Valores obtenidos de muestreo puntual de comprobación realizado los 358 días de funcionamiento del sistema DHS. Se tomó una sola muestra por estación de monitoreo, incluyendo el punto adicional "N"

Gráfico 6.14: DQO Total y Soluble a lo largo de la columna DHS tomando en consideración el nuevo punto de monitoreo N

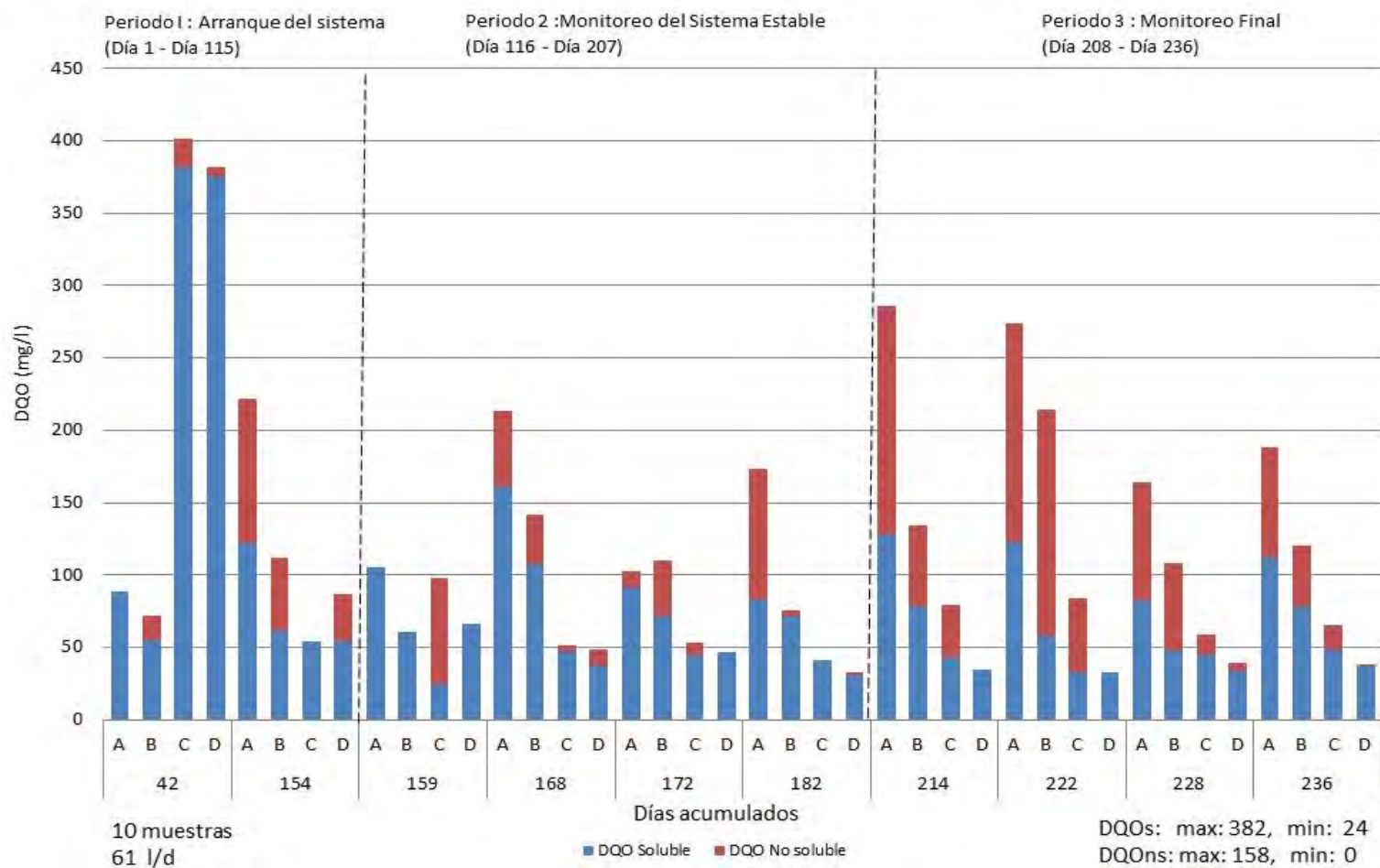


Gráfico 6.15: DQO Soluble y no soluble registrada en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

VI.8 Nitrógeno

Los análisis de Nitrógeno se iniciaron a los 151 días del funcionamiento del reactor, una vez que el sistema alcanzó la madurez y estabilidad en el tratamiento con respecto a los otros parámetros del estudio. Se analizaron el Nitrógeno Amoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$ (Gráfico 6.16), Nitritos $\text{NO}_2\text{-N}$ (Gráfico 6.17) y Nitratos $\text{NO}_3\text{-N}$ (Gráfico 6.18) para poder estudiar la transformación y remoción de este compuesto a lo largo del tratamiento en el reactor DHS.

En los Gráficos 6.16, 6.17 y 6.18 donde se grafican los resultados de las cinco fechas de monitoreo, se observa una tendencia general a la disminución del Nitrógeno Amoniacal conforme se profundiza en el largo de la columna del Sistema DHS, mientras que en el caso de los Nitritos y Nitratos, estos disminuyen en la primera columna y luego vuelven a producirse a la salida del sedimentador.

En los Gráficos 6-19, 6-20, 6-21 se interrelaciona las concentraciones de Nitrógeno Amoniacal $\text{NH}_3\text{-N}$, Nitritos $\text{NO}_2\text{-N}$ y Nitratos $\text{NO}_3\text{-N}$ al ingreso y a la salida de las columnas del sistema DHS (DHS1 y DHS2) con las concentraciones de Oxígeno Disuelto en estos puntos. Se llega a la conclusión de que la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ disminuye considerablemente con el aumento de Oxígeno Disuelto, al igual que la concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ a la salida de la primera columna (DHS1). Sin embargo, las concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ aumentan a medida que aumenta la concentración de Oxígeno Disuelto.

Se observa sin embargo, una tendencia a aumentar la concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ en el punto de salida del DHS 2 después del sedimentador, con respecto al punto de salida del DHS 1. Al igual que en el caso de la DQO, para poder realizar una interpretación más precisa de este hecho, se realizó un análisis puntual de los compuestos de Nitrógeno estableciendo un nuevo punto de monitoreo "N" a la salida de la segunda columna (Gráfico 6.13), obteniéndose los resultados del Gráfico 6.22.

En el Gráfico 6.22 se demuestra que la concentración de Nitratos disminuye al final de la primera columna con respecto al punto de mezcla, pero aumenta a la salida de la segunda columna. Esto es evidencia de que el proceso de nitrificación se está desarrollando con mayor intensidad en la segunda columna por encontrar las

bacterias nitrificantes mejores condiciones para desarrollarse, como son: la disminución de la concentración de Amonio, el cual afecta la tasa de crecimiento de las nitrosomonas y nitrobacter y la disminución de la DBO₅, lo cual implica una menor competencia con las demás bacterias del medio por la disponibilidad de oxígeno.

En el sedimentador observamos que la concentración de nitratos disminuye, aumentando la concentración de nitritos, lo cual nos da indicios de que comienza a desarrollarse el proceso de desnitrificación por las condiciones anóxicas dentro del sedimentador que favorecen este proceso. Otro parámetro que nos da indicios de este proceso es el aumento de los nitritos, ya que los nitratos son reducidos a nitritos en el proceso de la desnitrificación antes de su reducción a nitrógeno gas.

Sin embargo, el proceso de desnitrificación no se concluye en el sistema DHS hasta alcanzar niveles razonables para su reuso. En los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua (ECA) Categoría 3 destinada al riego de vegetales y bebida de animales del MINAM, la concentración de nitratos no debe exceder de 10 mg/l como NO₃-N y 0.06 mg/l como NO₂-N. Por lo tanto, el sistema de tratamiento DHS no alcanza los estándares requeridos para estos fines de reuso. En cuanto al vertido a cursos de agua, los Límites Máximos Permisibles en esta legislación no establecen una concentración definida para los efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales en estos parámetros.

En el Gráfico 6.23 se representan los Valores Promedio de Amoníaco, Nitritos y Nitratos y Porcentajes de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo (cuatro últimas semanas). De este Gráfico se concluye que el desarrollo del proceso de nitrificación en el sistema DHS se observa con mayor claridad entre la segunda columna y la salida del sedimentador, donde se comprueba el aumento significativo de nitratos (354%) en este tramo. En la primera columna del proceso se observa una disminución en los compuestos de nitritos y nitratos en un 60 y 50 % respectivamente con respecto al punto de mezcla, para luego aumentar significativamente a la salida del sedimentador en 50 y 318% respectivamente.

Analizando los resultados en el segmento A-C, observamos una clara tendencia a disminuir la concentración del amoníaco, $\text{NH}_3\text{-N}$ con una remoción del 47%. Los nitritos y nitratos también presentan una tendencia a ser removidos con respecto al punto de mezcla del reactor en un 60 y 50% respectivamente. Esto comprueba que se están realizando simultáneamente los procesos de nitrificación y desnitrificación en el sistema de esponjas de la primera columna del DHS (Ver Capítulo 2)..

En el segmento C-D se sigue observando la tendencia de disminución del amoníaco al llegar a la salida del sedimentador; sin embargo, los nitritos y nitratos aumentan en este segmento hasta en un 318% en el caso de los nitratos. Esto nos hace suponer que en la segunda columna o en el sedimentador continúan intensamente los procesos de nitrificación.

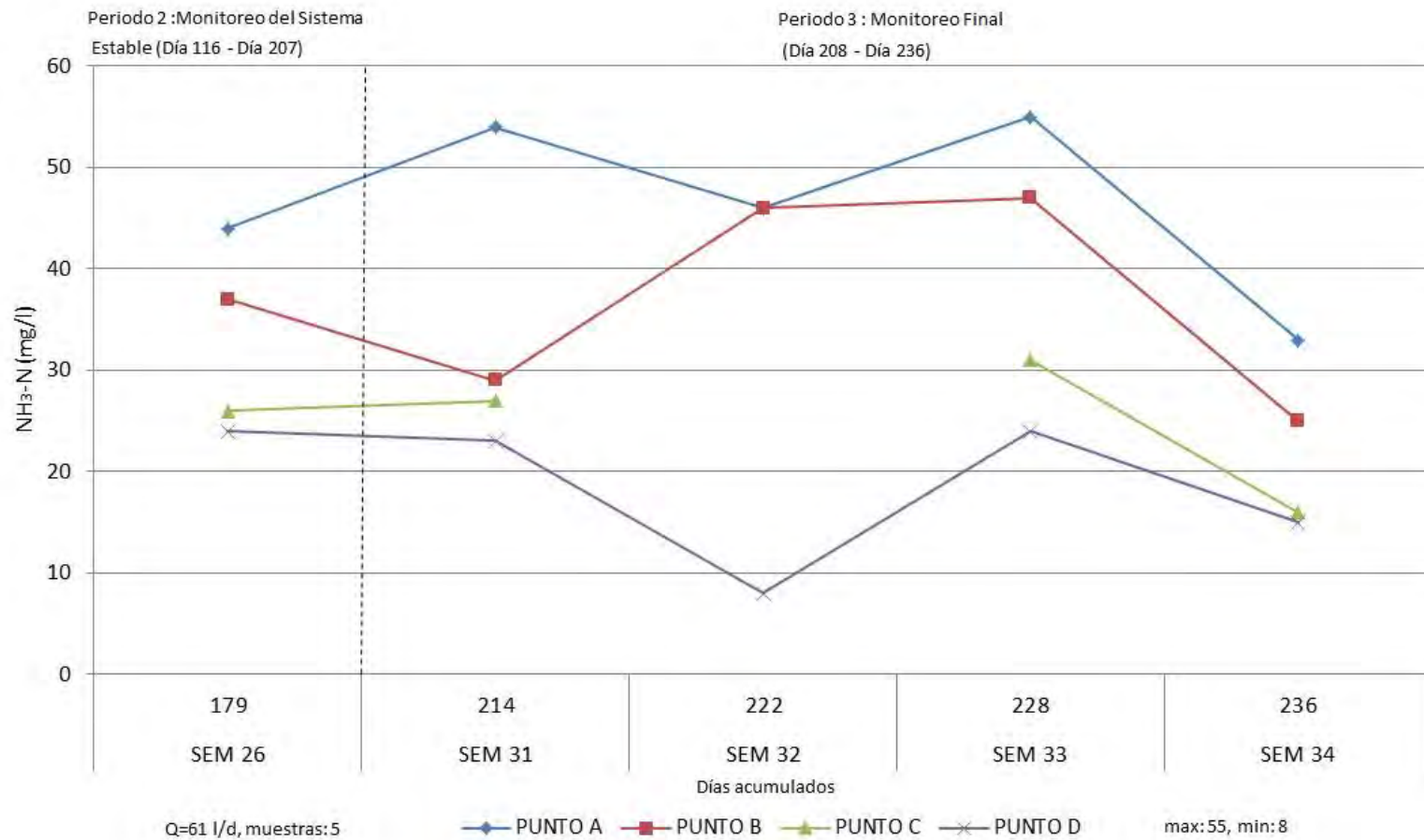


Gráfico 6.16: Nitrógeno Amoniaco NH₃-N registrado en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

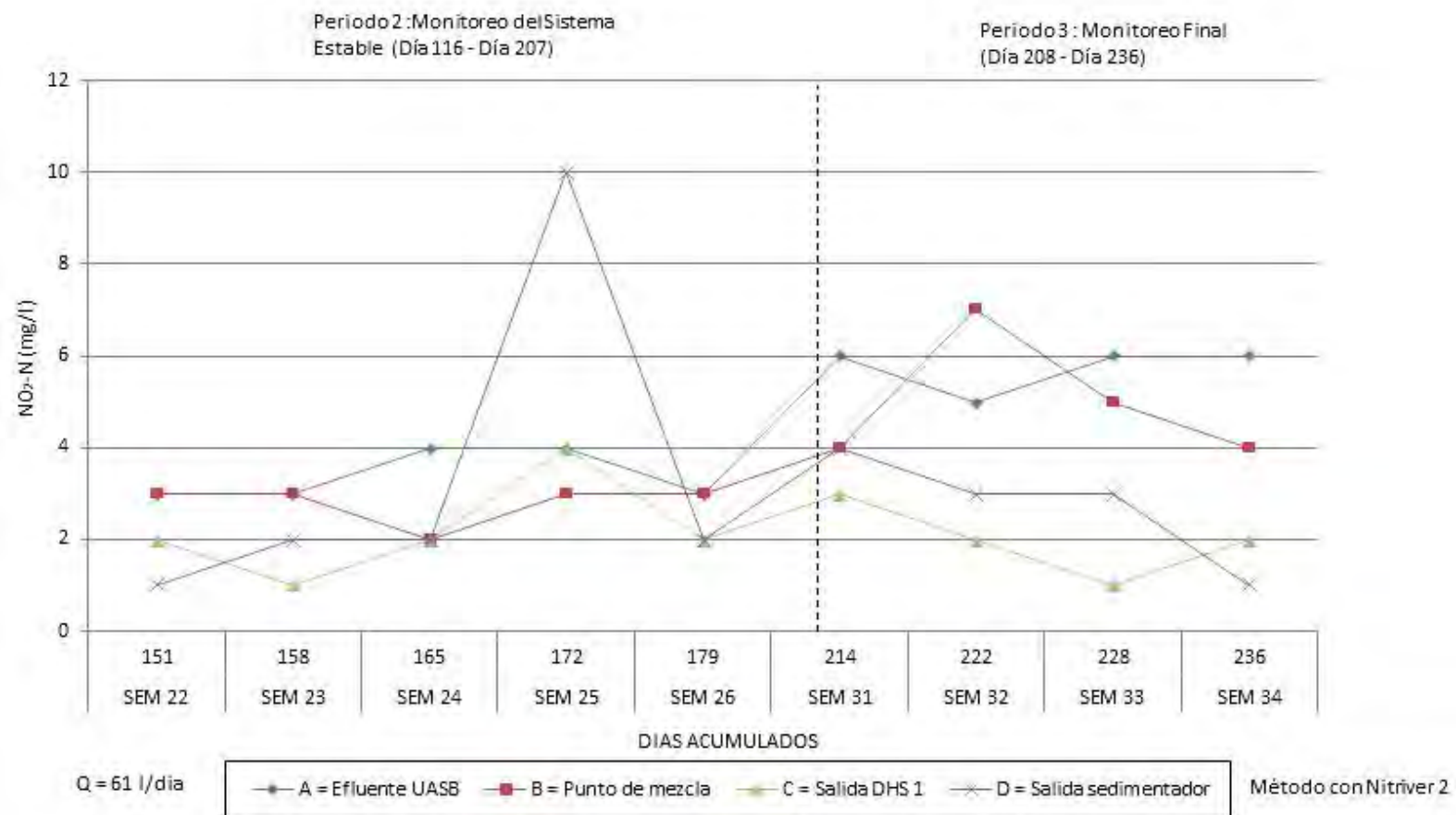


Gráfico 6.17: Nitritos NO₂-N registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

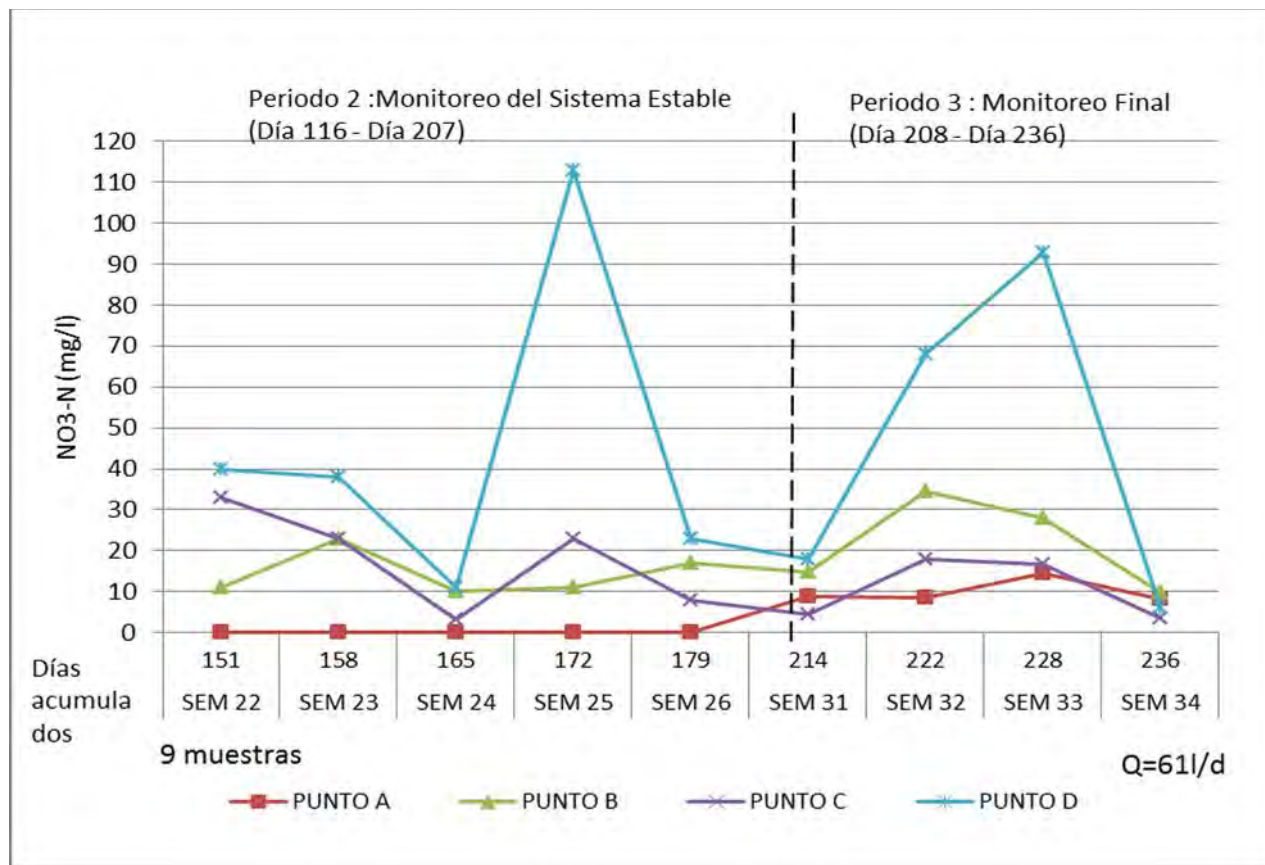


Gráfico 6.18: Nitratos NO₃-N registrados en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

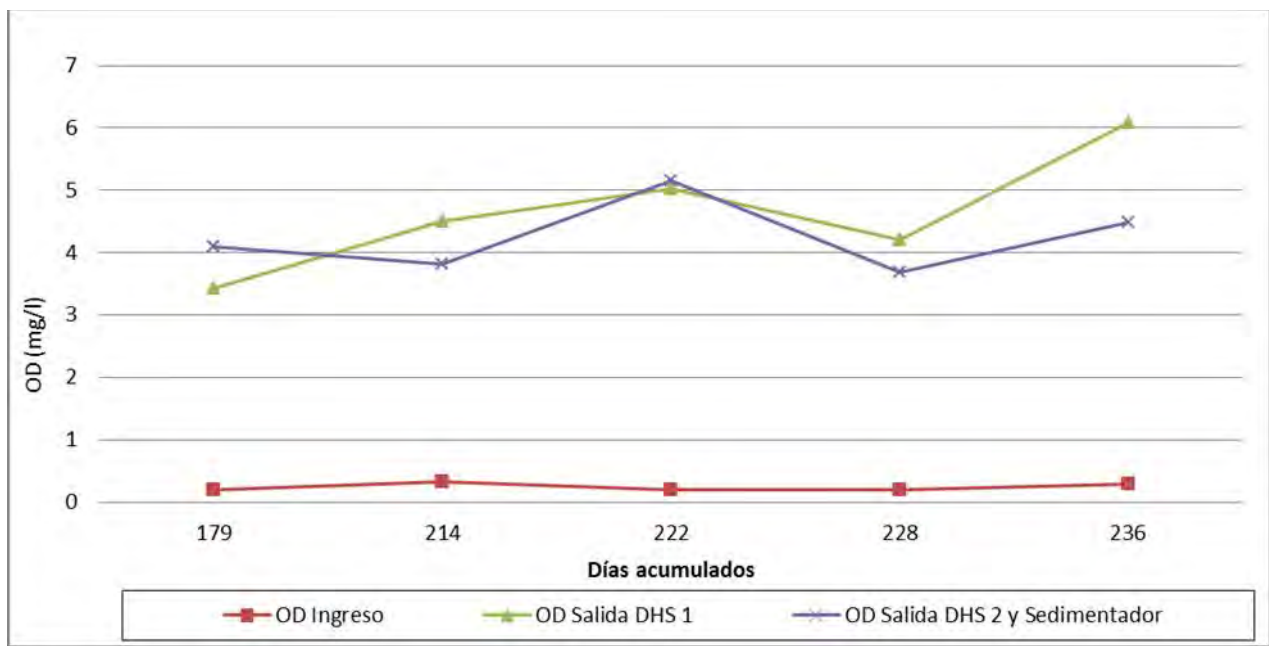
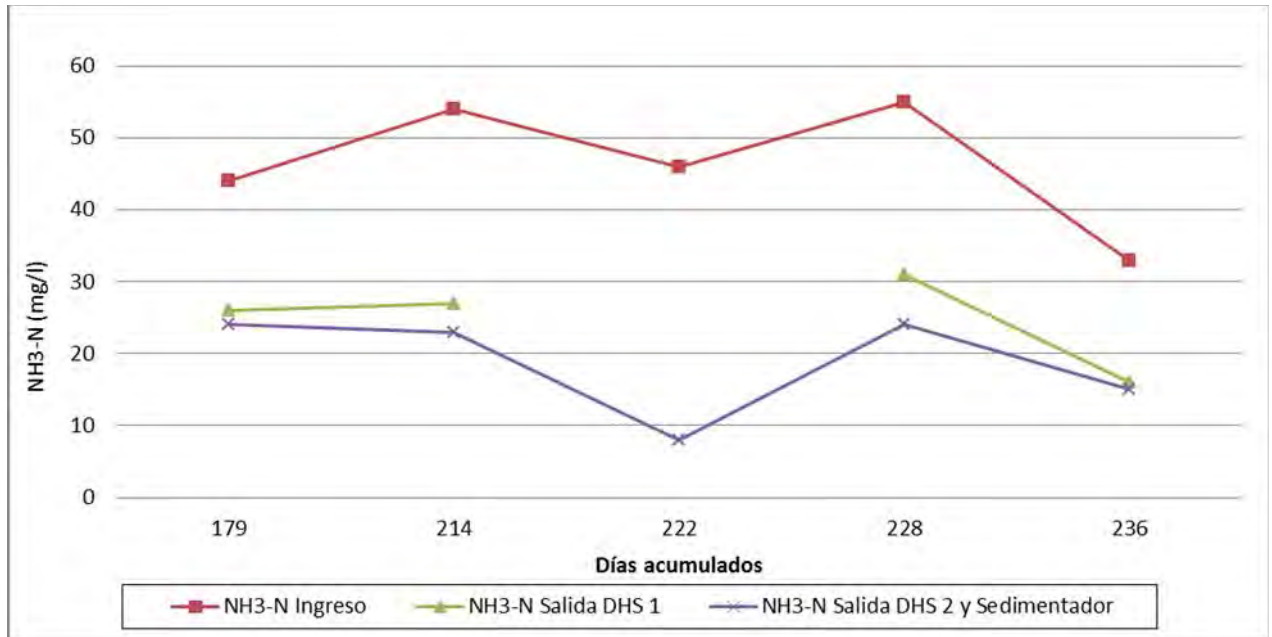


Gráfico 6.19: Concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ al Ingreso y a la Salida de las Columnas del Sistema DHS en relación a las concentraciones de Oxígeno

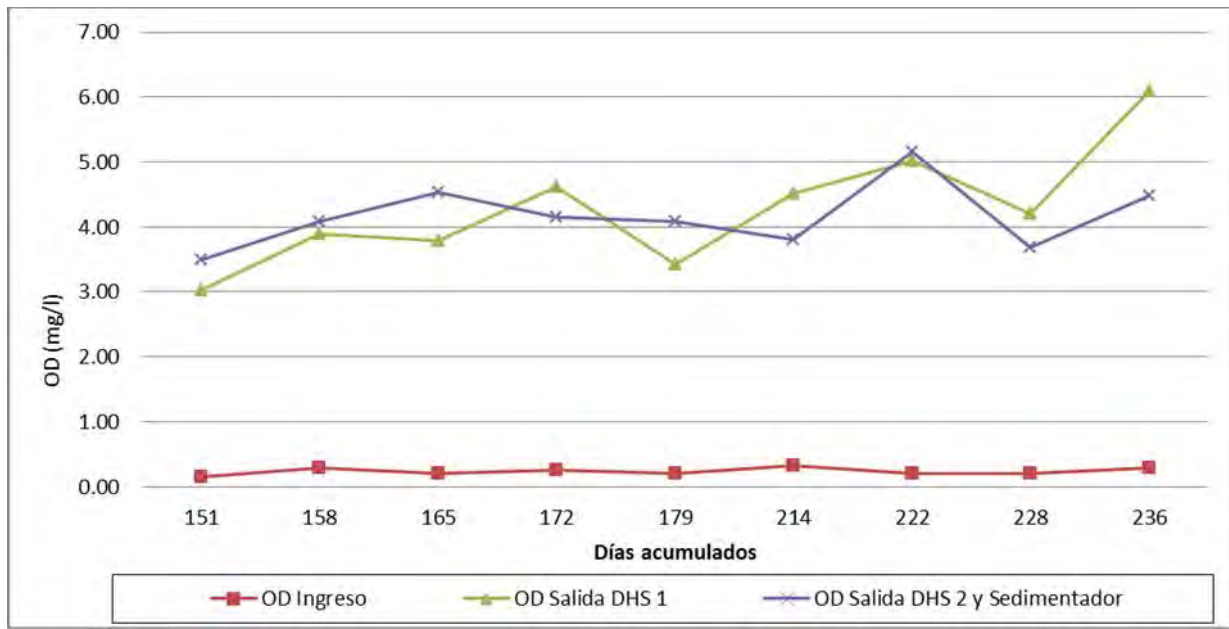
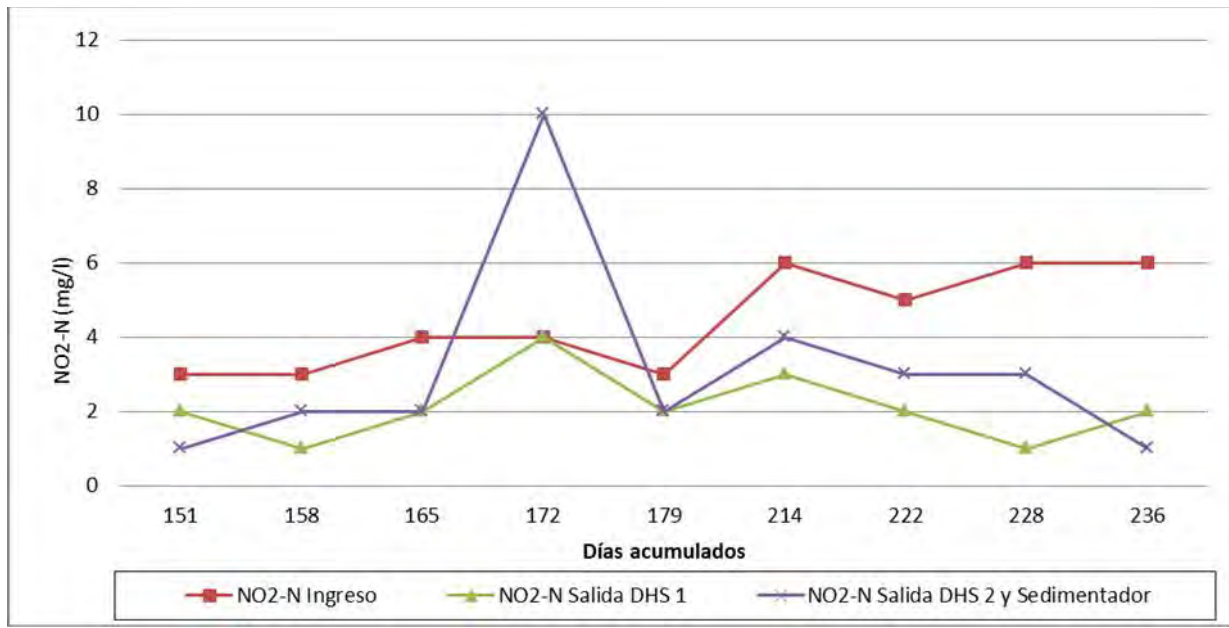


Gráfico 6.20: Concentraciones de NO₂-N al Ingreso y a la Salida de las Columnas del Sistema DHS en relación a las concentraciones de Oxígeno

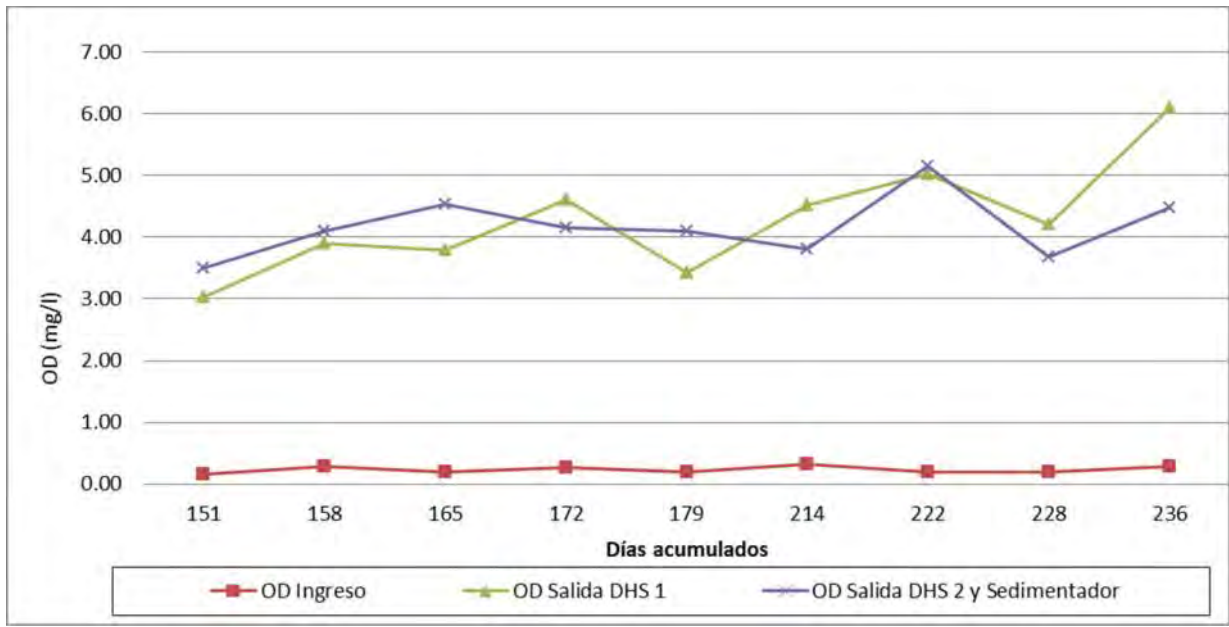
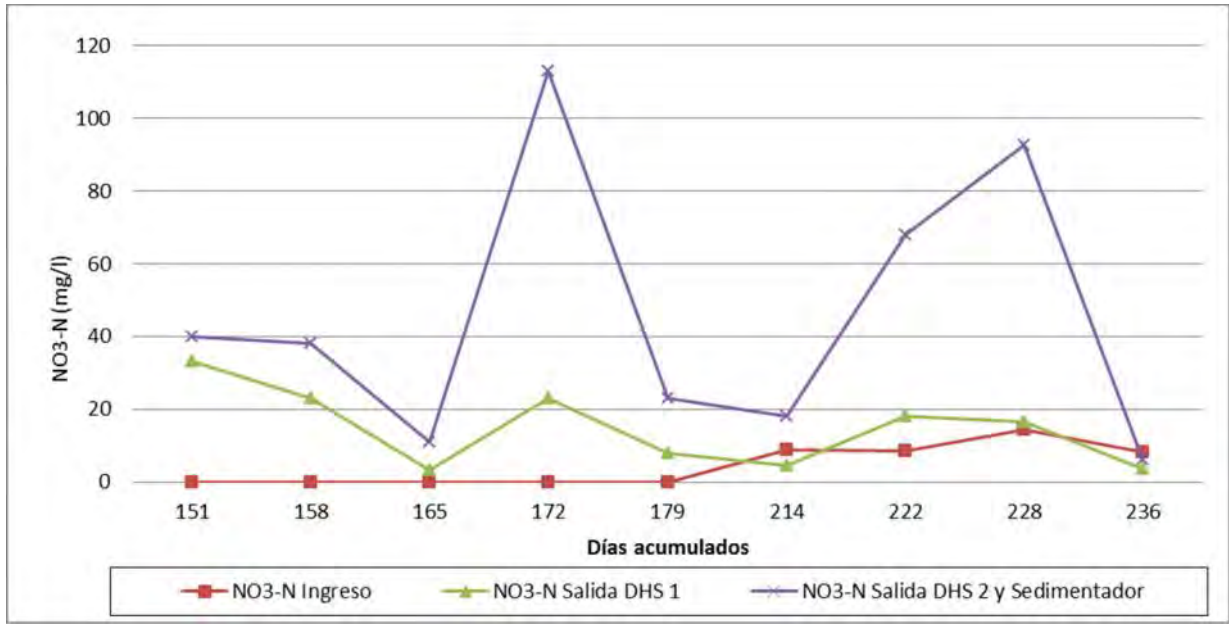
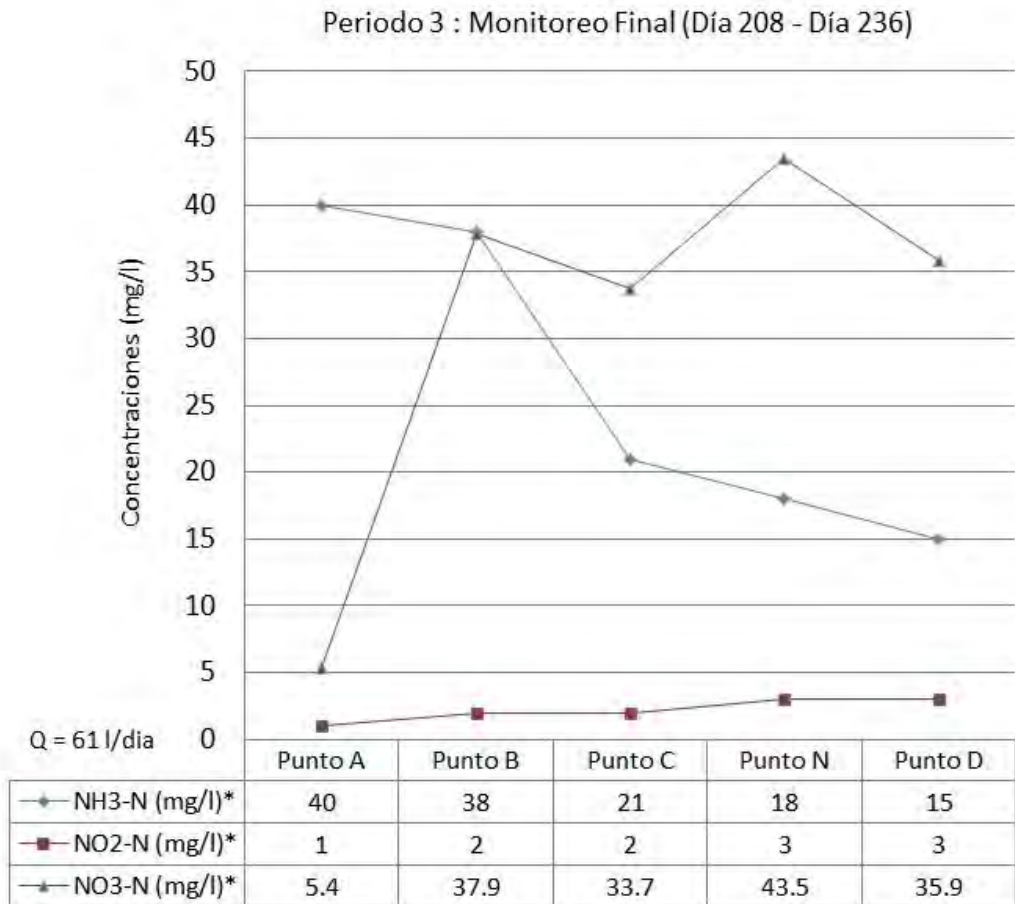
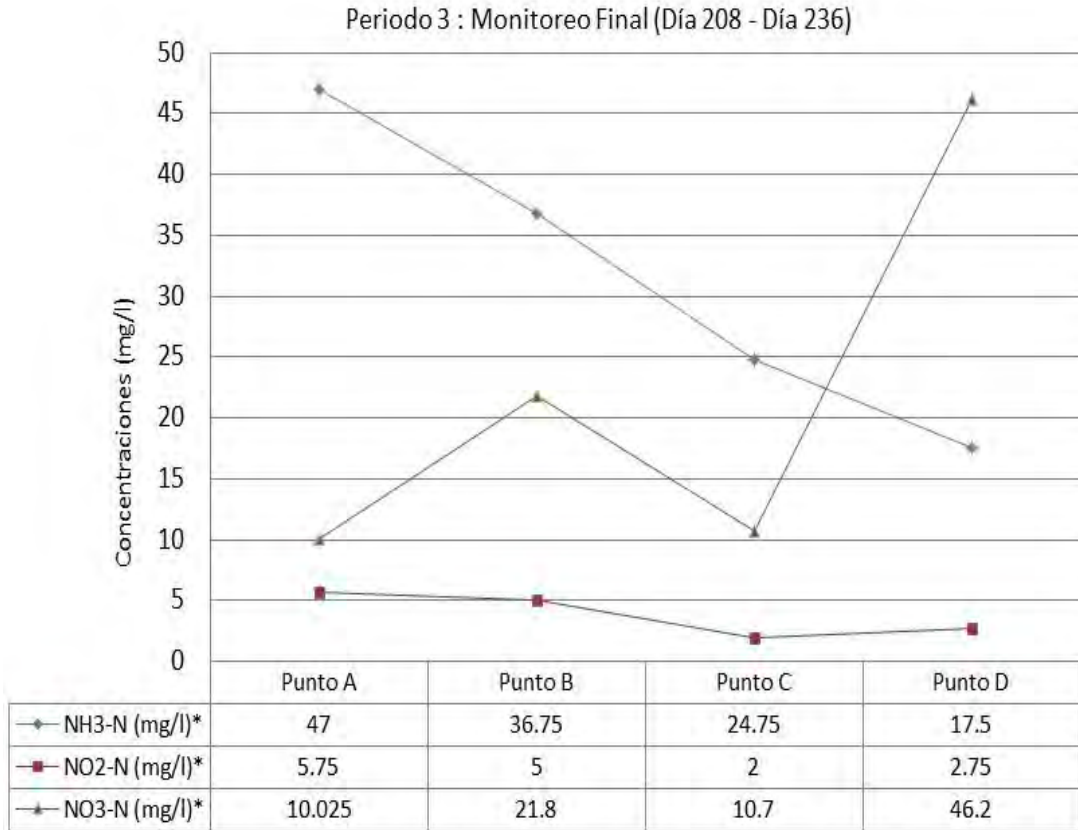


Gráfico 6.21: Concentraciones de $\text{NO}_3\text{-N}$ al Ingreso y a la Salida de las Columnas del Sistema DHS en relación a las concentraciones de Oxígeno



* Valores obtenidos de un muestreo puntual de comprobación realizado a los 358 días de funcionamiento del Sistema DHS. Se tomó una sola muestra por estación de monitoreo, incluyendo el punto adicional "N".

Gráfico 6.22: Valores Promedio de Amoníaco, Nitritos y Nitratos a lo largo de la columna DHS tomando en consideración el nuevo punto de monitoreo N



Q = 61 l/día

* Valor promedio de las cuatro muestras realizadas en cada punto de monitoreo durante el periodo final del experimento

Remoción NH3-NA-C: 47%	Remoción NO2-NA-C: 65%	Remoción NO3-NA-C: -7%
Remoción NH3-NA-D: 63%	Remoción NO2-NA-D: 52%	Remoción NO3-NA-D: -361%

Periodo de Monitoreo del 7 al 29 de febrero 2012

Gráfico 6.23: Valores Promedio de Amoníaco, Nitritos y Nitratos y Porcentajes de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo

VI.9 Sólidos

Los análisis de sólidos se iniciaron a los 151 días de haberse iniciado el funcionamiento del reactor DHS y una vez que el sistema alcanzó estabilidad en el tratamiento con respecto a los otros parámetros del estudio. El análisis de sólidos se puede subdividir en muchas fracciones que nos permiten interpretar el comportamiento de diversas variables que intervienen en los procesos de tratamiento físicos, químicos y biológicos del agua residual. En el presente estudio se analizan los sólidos totales (ST) y las fracciones de sólidos suspendidos (SS) y sólidos sedimentables ya que son parámetros estandarizados para medir la eficiencia de un proceso de tratamiento. También se analizan las fracciones de sólidos volátiles totales (SVT) y sólidos fijos totales (SFT), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos volátiles disueltos (SVD), ya que son fracciones que nos permitirán contar con mayores elementos para interpretar los resultados del monitoreo en cuanto a los parámetros indicadores de biodegradación del material orgánico (DQO y DBO₅).

En el Gráfico 6.24 se puede observar una tendencia a la disminución de los sólidos totales entre los puntos de monitoreo A y C, elevándose ligeramente en D a la salida de sedimentador. Esta misma tendencia se observa en el Gráfico 6.25 de tasas de sólidos totales a la salida del DHS1 y DHS 2 con respecto a los sólidos totales ingresados al sistema. Esto puede estar asociado al desprendimiento del material celular en el tramo de la segunda columna por la escasez de nutrientes para mantener la biomasa, por lo tanto las células mueren y se desprenden con el arrastre del flujo aportando sólidos y DQO a la salida de la segunda columna.

Por otro lado se puede apreciar en el Gráfico 6.24 que los sólidos fijos proporcionalmente son mayores que los sólidos volátiles, lo cual quiere decir que hay una mayor presencia de elementos inorgánicos que no se ven alterados por el proceso de tratamiento.

Al analizar los sólidos volátiles en los Gráficos 6.26 y 6.27, se observa que estos disminuyen a la salida de la primera columna pero sufren un incremento después de pasar por la segunda columna y el sedimentador (Gráfico 6.26). Esto se puede

observar con mayor claridad en la Gráfico 6.27 donde se grafican las tasas de sólidos volátiles a la salida del DHS 1 y en el punto de salida del DHS 2 después del sedimentador con respecto a los sólidos volátiles ingresados al sistema. Esto muestra indicios de un aporte de sólidos volátiles a la salida de la segunda columna o del sedimentador.

En el Tabla 6.2 donde se calculan las tasas de sólidos volátiles totales y sólidos totales SVT/ST, también observamos una disminución de la tasa de material orgánico SVT/ST hasta llegar al Punto C y luego un incremento a la salida del sedimentador (Punto D). Esto indica un aporte de material orgánico proveniente de la segunda columna o del sedimentador, y nuevamente es coincidente con el incremento de la DQO en este punto (Ver en este capítulo la sección referida a la DQO). Por lo tanto, se puede inferir a partir del estudio del punto N en el análisis de la DQO, que la causa de este incremento es el aporte de sólidos de la segunda columna. La interpretación de este hecho es que la concentración de los compuestos orgánicos en el agua residual al ingresar a la segunda columna ya han sido oxidados en el proceso de tratamiento y no son suficientes para mantener el crecimiento celular de la biomasa; por lo tanto las células mueren y se desprenden con el flujo aportando sólidos a la salida de la segunda columna. Este es un claro indicador de que existe una altura de columna óptima para el tratamiento de los sólidos al igual que la DQO que es de 60 cm para las condiciones del presente estudio.

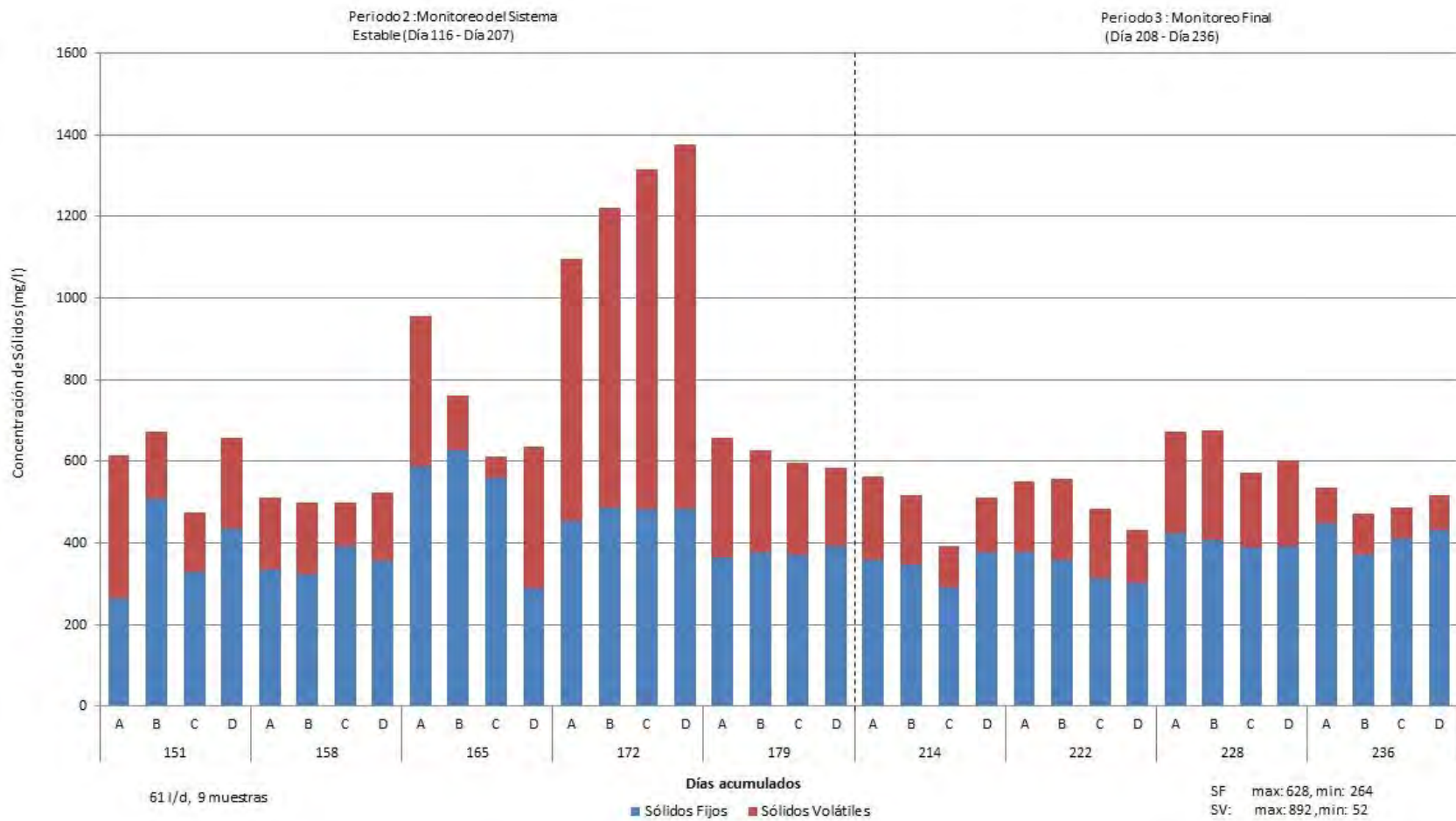


Gráfico 6.24: Sólidos Totales, Fijos y Volátiles en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

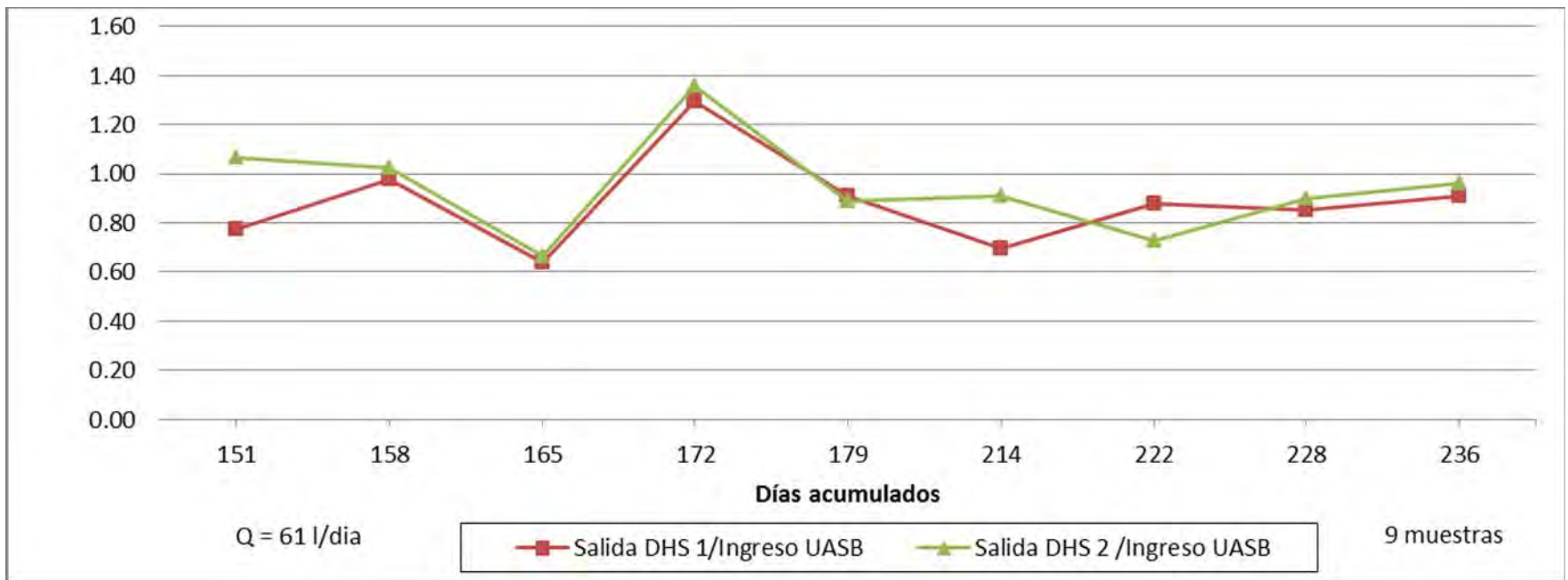


Gráfico 6.25: Tasas de Sólidos Totales a la salida del DHS 1 y DHS 2 luego del sedimentador con respecto a los Sólidos Totales ingresados al sistema DHS

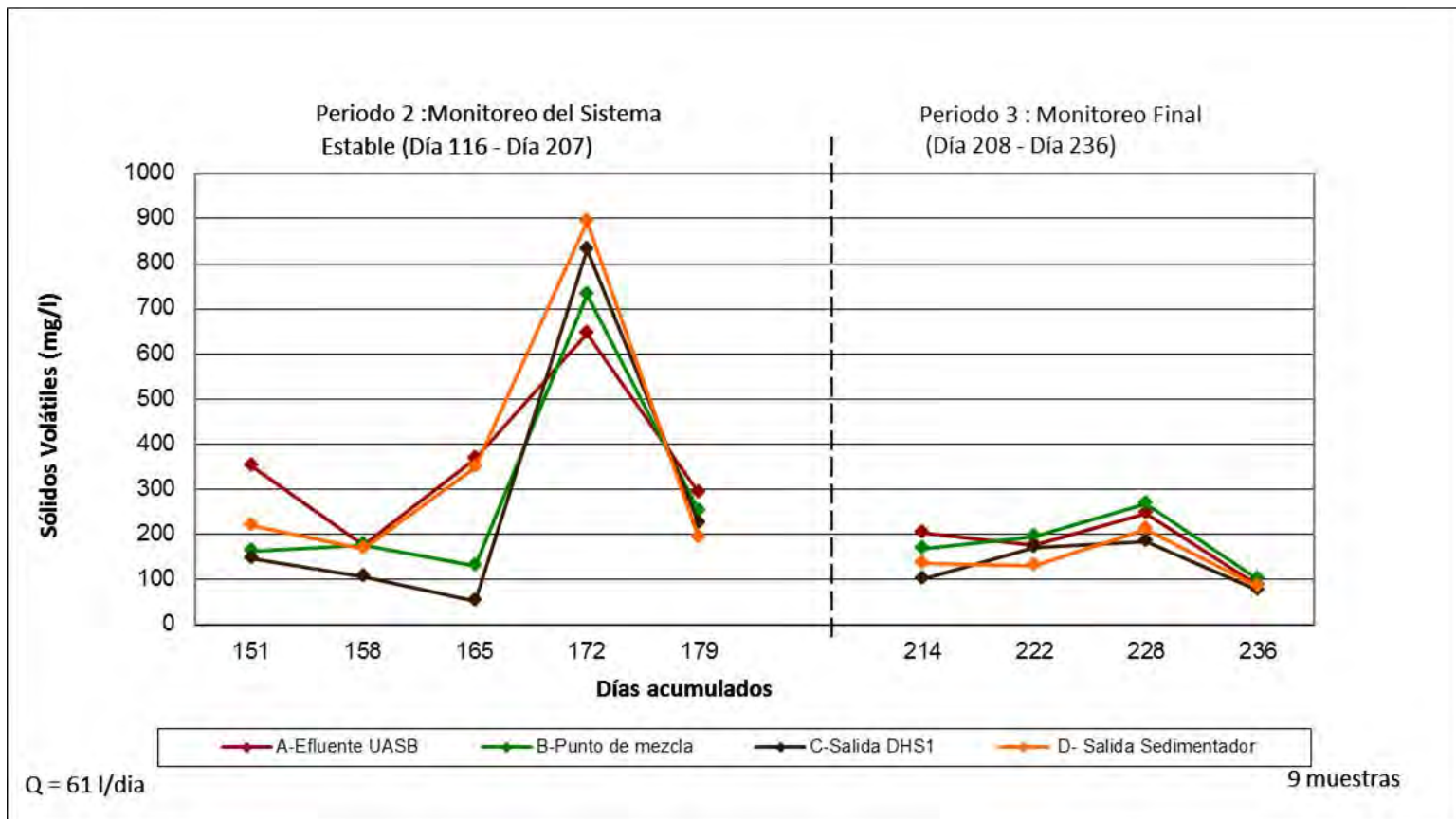


Gráfico 6.26: Sólidos Volátiles en las estaciones de muestreo vs. Tiempo de funcionamiento del reactor DHS

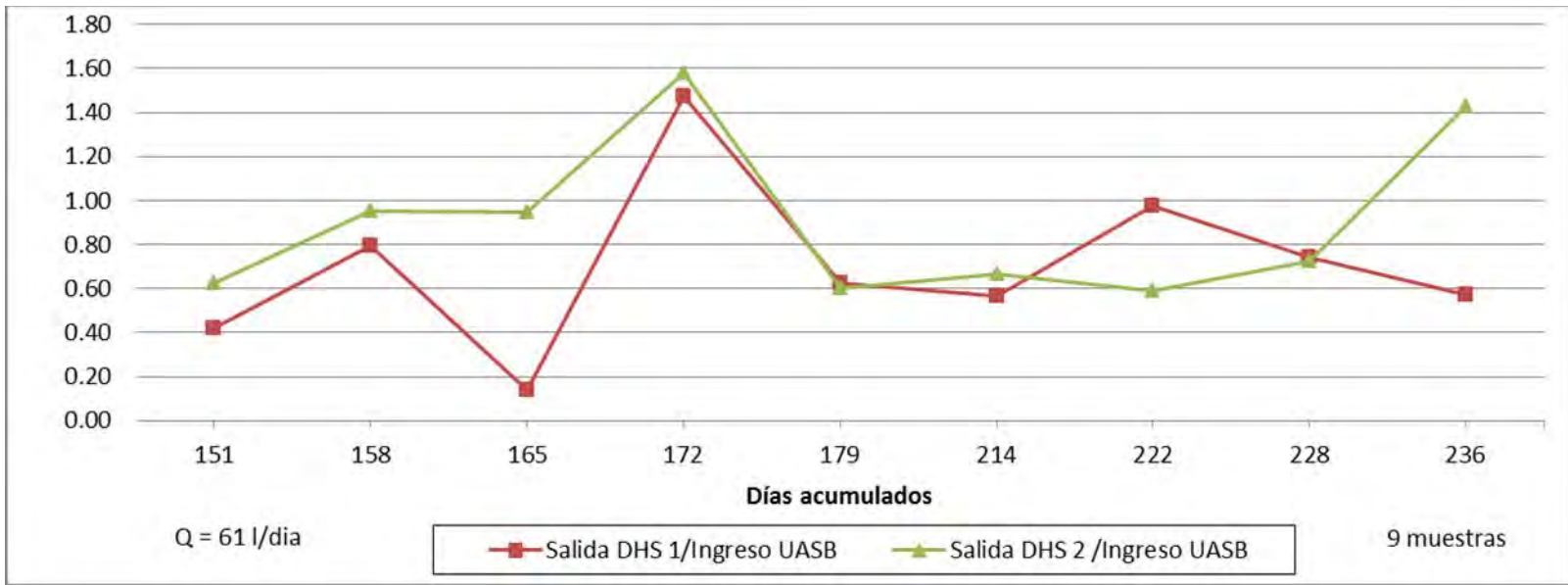


Gráfico 6.27: Fracciones de Sólidos Volátiles a la salida del DHS 1 y DHS 2 luego del sedimentador con respecto a los Sólidos Volátiles ingresados al sistema DHS

Tabla 6-2: Relación entre sólidos totales y sólidos volátiles totales en los diferentes puntos de monitoreo

Valores Promedio	SVT (mg/l)	ST (mg/l)	Tasa SVT/ST
A	283	683	0.41
B	243	667	0.36
C	211	604	0.35
D	265	649	0.41

Los sólidos suspendidos (SS), constituidos por la porción de los sólidos totales en el agua residual retenidos por un filtro, es un parámetro estandarizado para medir la eficiencia de tratamiento del sistema. En el presente estudio, este parámetro se ha analizado a través de los Gráficos 6.28 y 6.29. Como se puede observar en ellos, no se puede definir una tendencia estable en este parámetro, pero en una primera etapa se conserva la tendencia a la disminución de la concentración de SS entre el punto de ingreso al sistema y la salida de la primera columna de esponjas y la tendencia a aumentar la concentración con respecto al Punto C.

También en este caso podemos asociar la incorporación de SS de la segunda columna del DHS como un aporte en la DQO en este tramo del sistema de tratamiento.

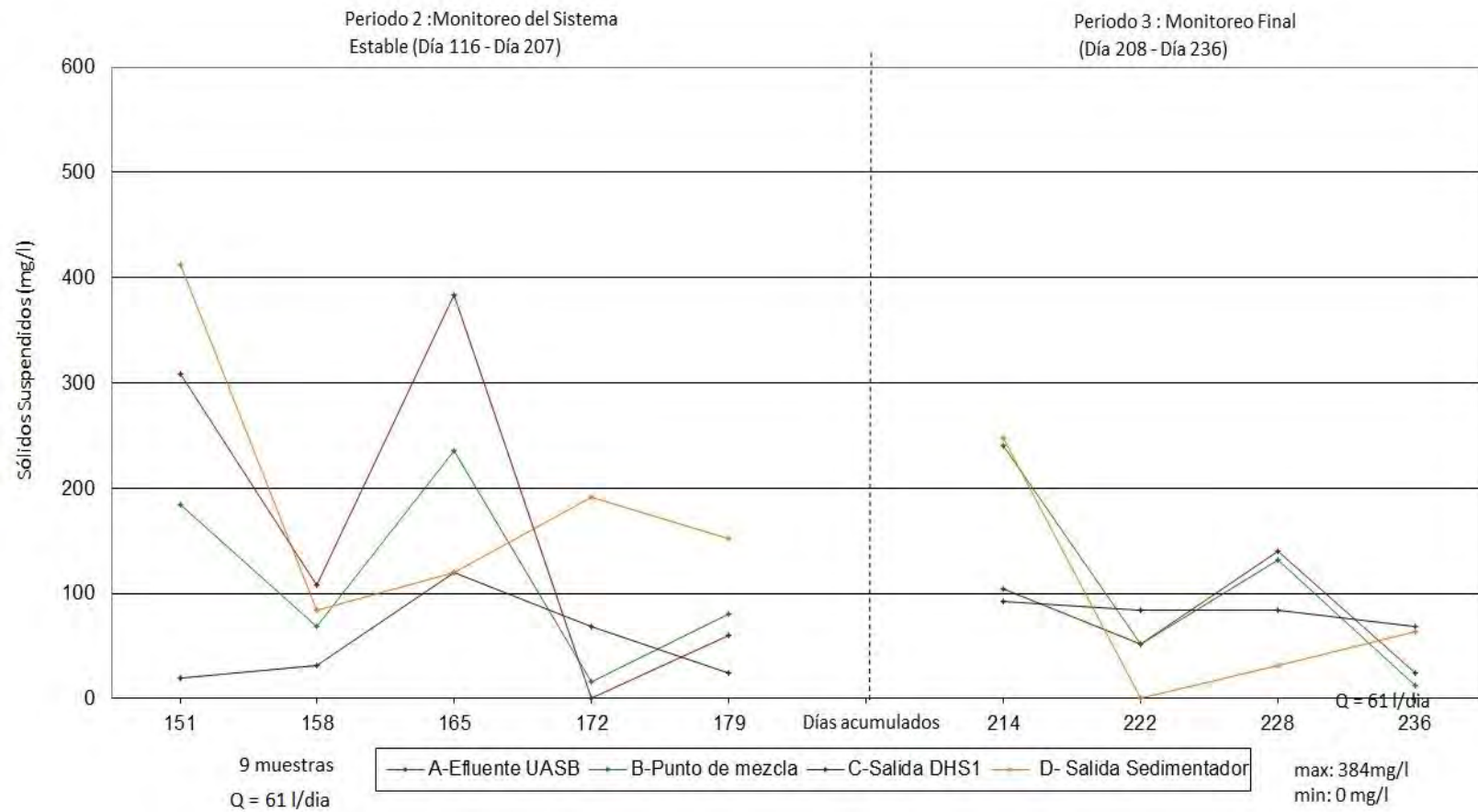


Gráfico 6.28: Sólidos Suspensidos en los puntos de monitoreo en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

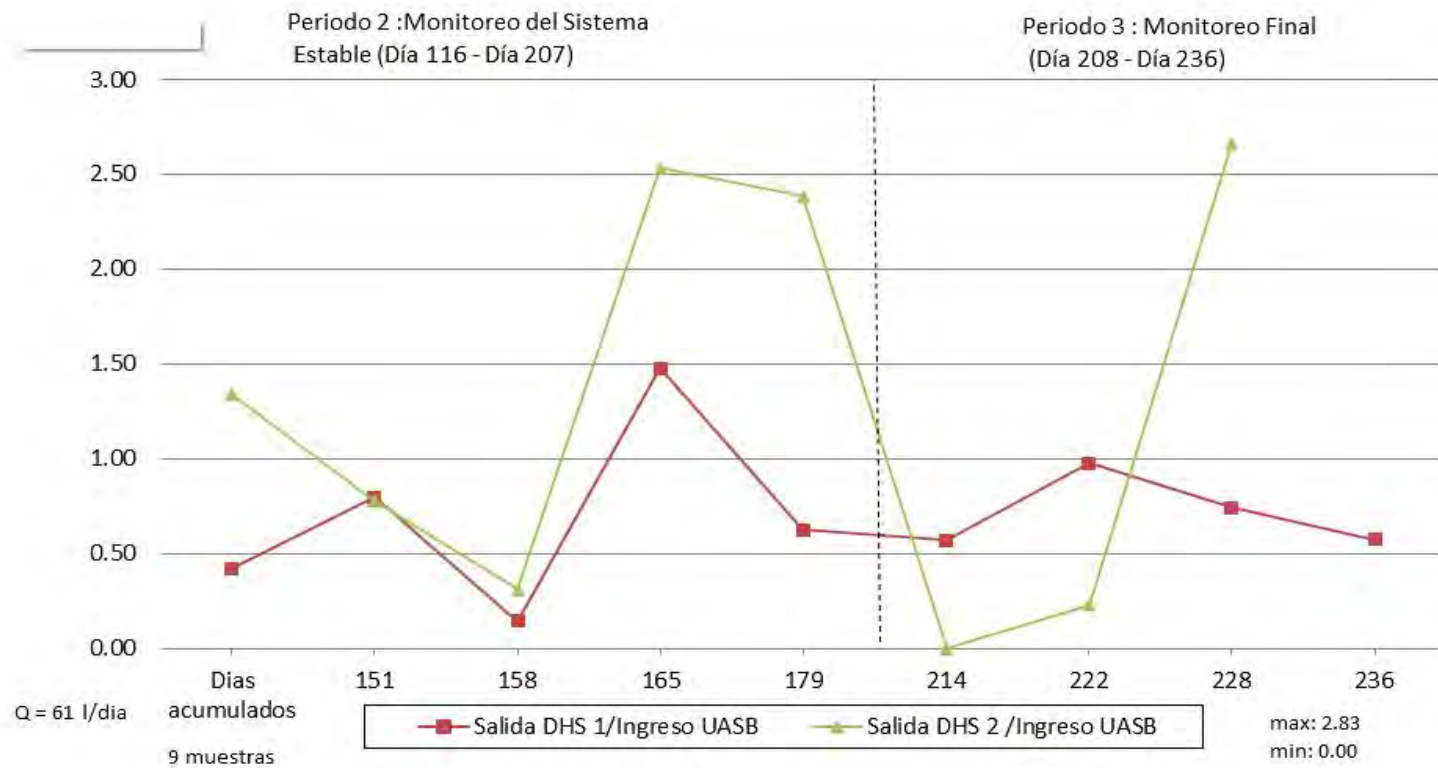


Gráfico 6.29: Fracciones de Sólidos Suspendidos a la salida del DHS 1 y DHS 2 con respecto a los Sólidos Suspendidos ingresados al Sistema

Los sólidos suspendidos volátiles (Gráfico 6.30), que son los constituidos por la biomasa activa en el reactor, son bastante fluctuantes en el afluente, sin embargo, también se observa cierta estabilidad en las concentraciones en el punto C, a la salida de la primera columna tendiendo a un decaimiento hacia el final del periodo de monitoreo.

Asimismo, la relación de sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos totales (SSV/SST) en el Tabla 5.3 nos indica las elevadas concentraciones de biomasa activa que predomina a lo largo de todo el proceso de tratamiento. Esta biomasa activa representa a los microorganismos en desarrollo en el reactor (G. Tchobanoglous et al, 2003).

También observamos que a la salida del sistema la tasa se conserva por encima de 0.5, lo cual es un indicador de la presencia de biomasa activa hasta el final de proceso de tratamiento o también podría estar asociado a restos de material celular que no son biodegradables (como la pared celular) y otros SSV no biodegradables o de muy lenta biodegradación contenidos en el efluente del reactor UASB (G. Tchobanoglous et al, 2003).

Tabla 6-3: Relación entre sólidos suspendidos volátiles y sólidos suspendidos totales en los diferentes puntos de monitoreo

Valores Promedio	SSV (mg/l)	SST (mg/l)	Tasa SSV/SST
A	111	124	0.78
B	63	104	0.66
C	50	63	0.58
D	103	128	0.51

La Tabla ha sido realizada tomando los promedios de valores de los cuatro últimos monitoreos, durante el periodo final de funcionamiento del sistema DHS.

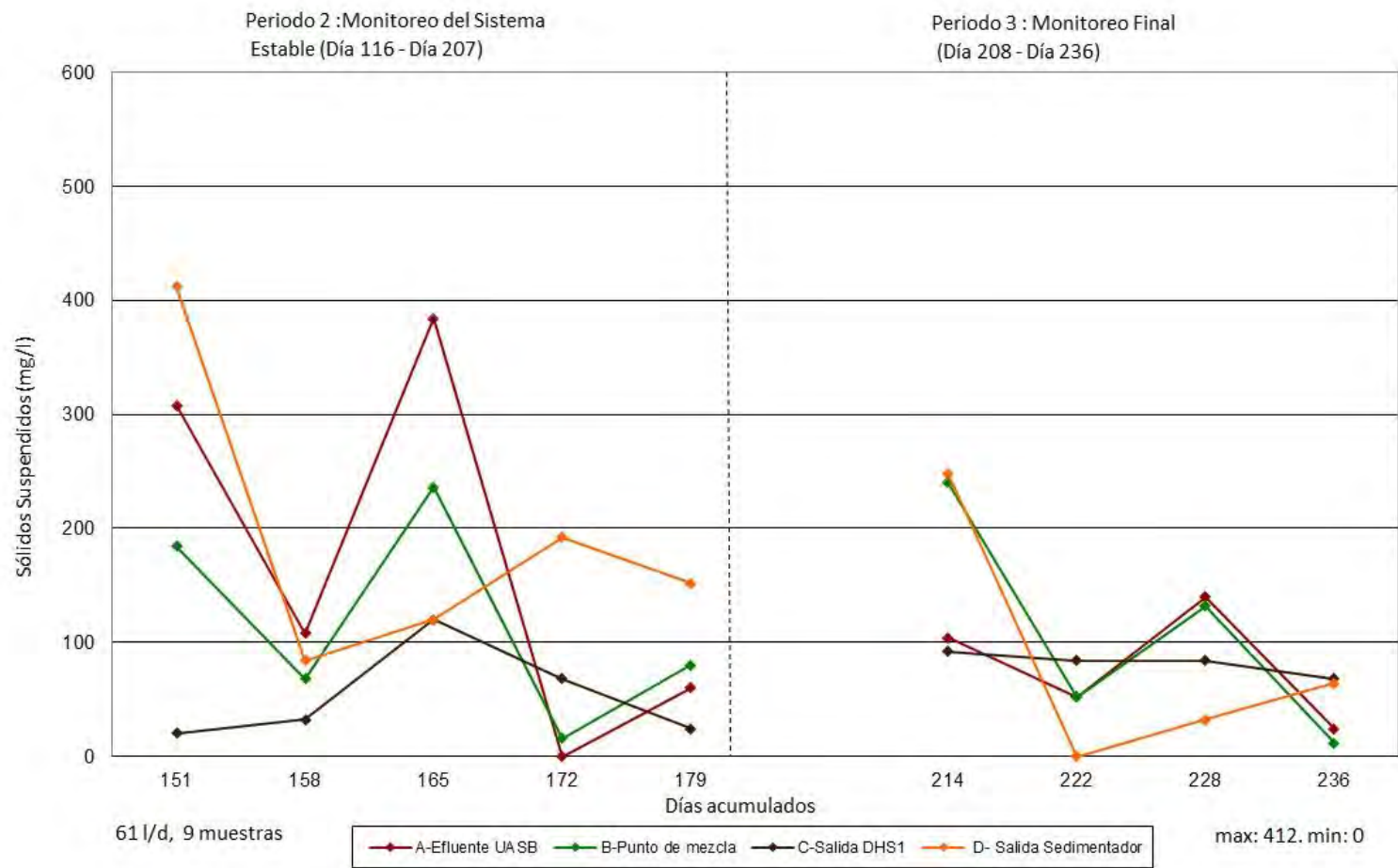


Gráfico 6.30: Sólidos suspendidos volátiles en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

Eficiencias de Remoción

En los Gráficos 6.31, 6.32, 6.33, 6.34, se puede observar una disminución general de sólidos totales del 11% a la salida del tratamiento. Sin embargo, la remoción es mayor a la salida de la primera columna (17%), lo cual nos indica que está habiendo un aporte de sólidos en el tramo comprendido entre la segunda columna y la salida del sedimentador. La tendencia fue similar en los sólidos disueltos. En los sólidos suspendidos no se pudo observar una tendencia definida. Por lo general, disminuyó su concentración en la primera columna y volvió a elevarse a la salida del sedimentador. Los sólidos volátiles fueron removidos en un 26% a la salida de la primera columna y en un 21% en todo el proceso de tratamiento.

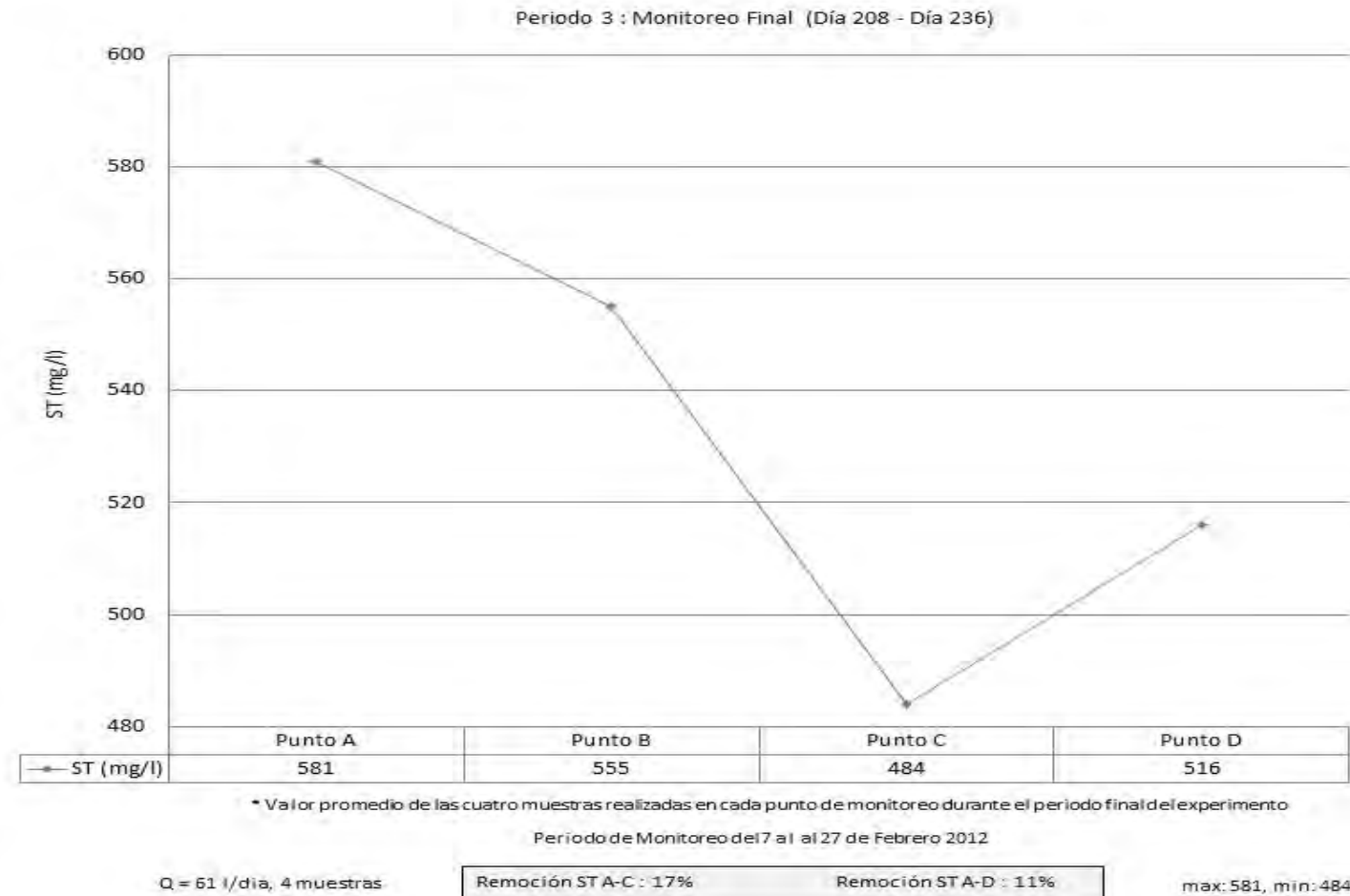


Gráfico 6.31: Valores Promedio de Sólidos Totales y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo

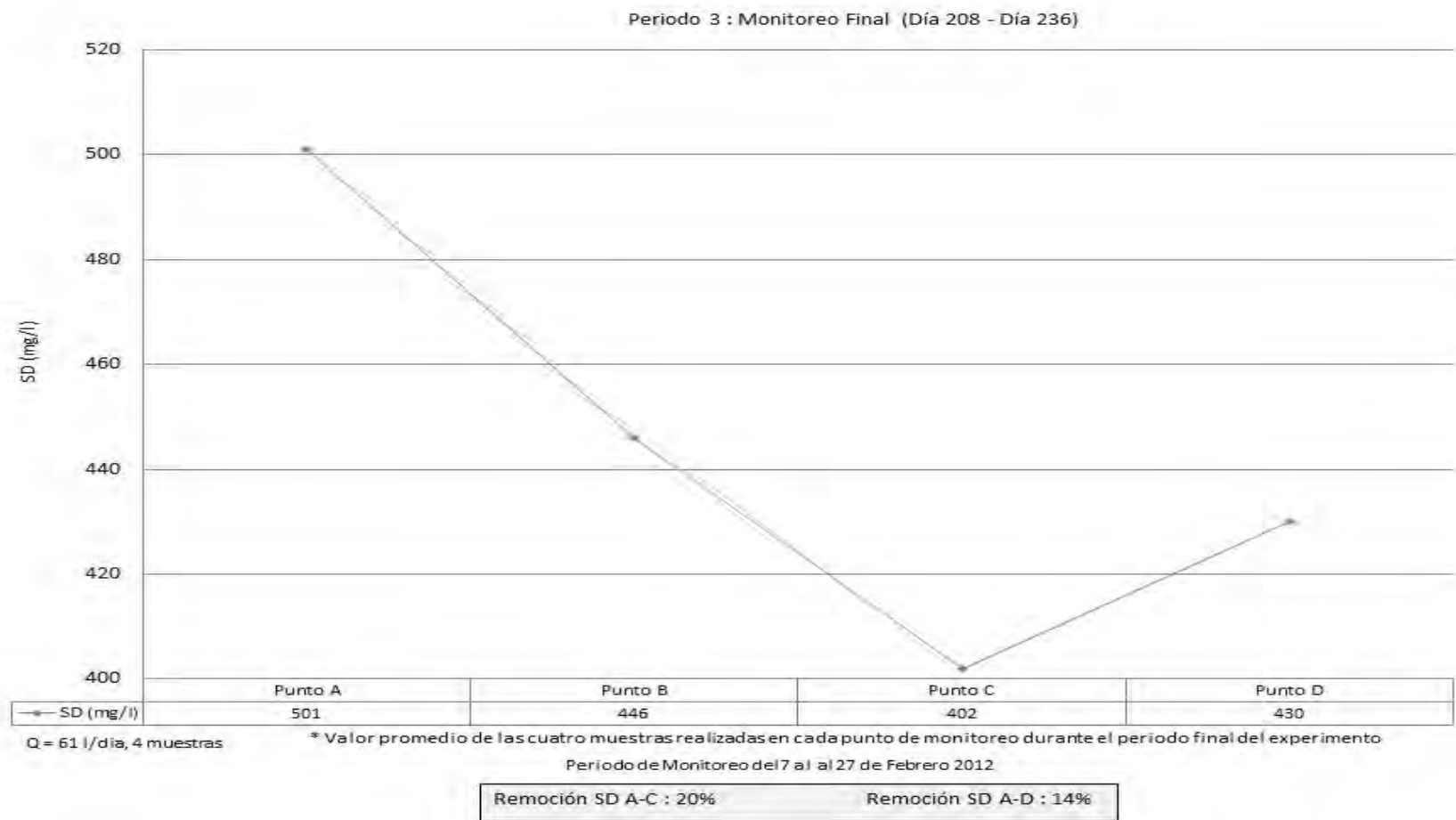


Gráfico 6.32: Valores Promedio de Sólidos Disueltos y Eficiencias de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo

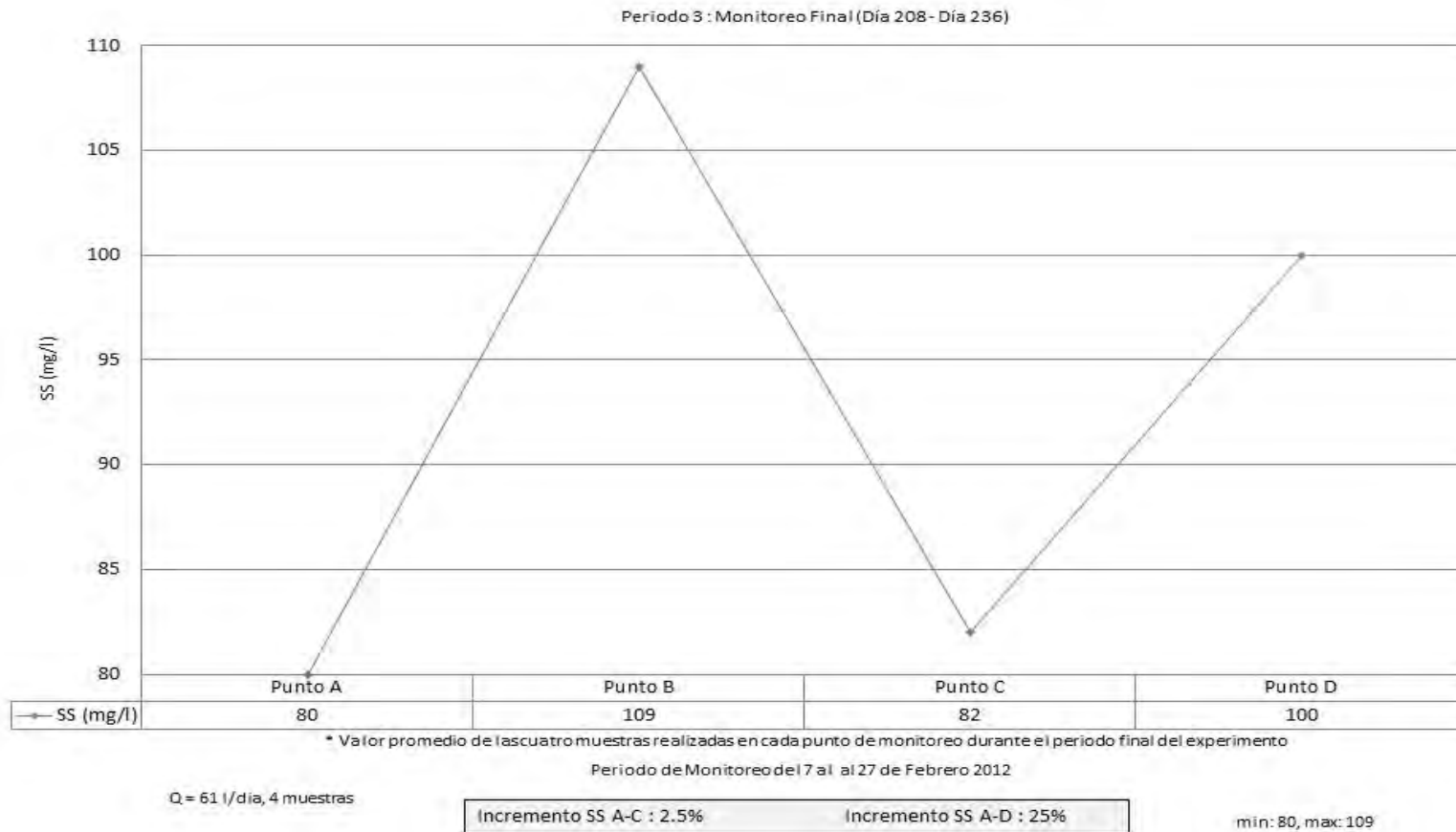


Gráfico 6.33: Valores Promedio de Sólidos Suspendidos y Porcentajes de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo

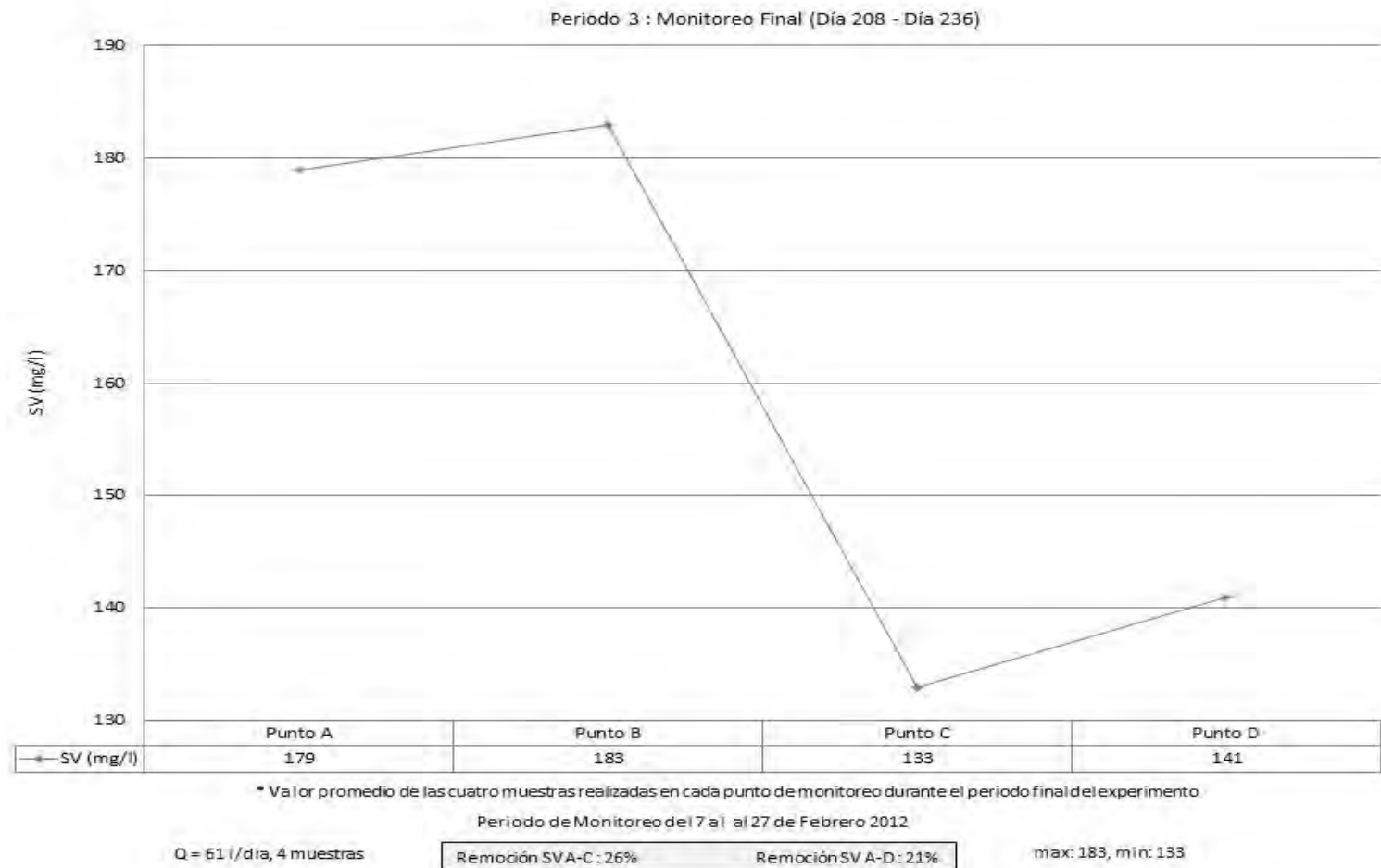


Gráfico 6.34: Valores Promedio de Sólidos Volátiles y Porcentajes de Remoción en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo

Los sólidos sedimentables se han monitoreado en la unidad de sedimentación con el propósito de observar la evolución de la biomasa en el tiempo y proyectar la cantidad de lodos generados por el sistema DHS. Se observa una tendencia a incrementar el volumen de sólidos sedimentables conforme se ingresa a la temporada de verano. Esto puede deberse al incremento en la actividad biológica de los microorganismos que aceleran su ritmo de crecimiento y desprendimiento de la película biológica antigua en el proceso de formación de nuevas colonias. Por otro lado, el incremento observado en la concentración de sólidos sedimentables hacia los meses de verano se debe a la presencia de arena en el reactor proveniente del agua residual, ya que las personas acostumbran ir a la playa en esta época del año y a la aparición de algas en el efluente del UASB que ingresa al sistema. La generación promedio de sólidos sedimentables por el sistema DHS fue de 0.06 ml por litro de efluente tratado. Ver Gráfico 6.35 y Anexo 03.

Análisis del desarrollo de lodos en el sistema DHS

Para el cálculo de la generación de lodos por el sistema, se utilizó una ecuación generalizada para lodos activados (G. Tchobanoglous et al, 2003) :

$$P_{xvss} = \frac{Y_{obs} (Q) (S_o - S)}{1000}$$

P_{xvss} = Cantidad de lodos generados diariamente en Kg de sólidos suspendidos volátiles por día (Kg SSV/d)

Y_{obs} = gSSV/gDQO removido

Q = Caudal de tratamiento en m³/día

S_o = Concentración inicial de SSV del sustrato en mg/l

S = Concentración en el efluente de SSV en mg/l

De donde obtenemos: $P_{xss} = 0,02 \text{ gSSV/d}$

Promedio: 0.06 ml por litro de efluente tratado

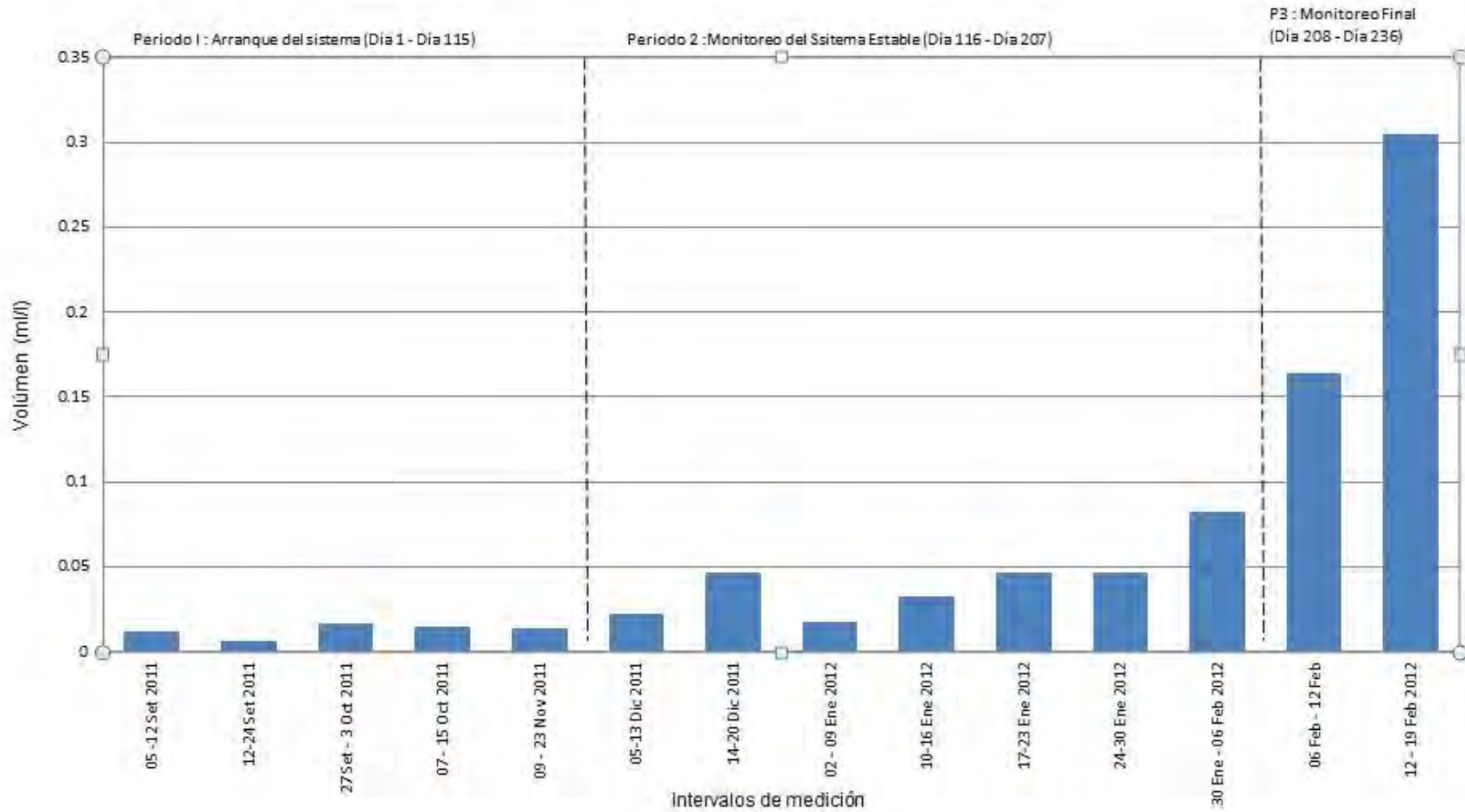


Gráfico 6.35: Proyección del Volumen de Sólidos Sedimentables generados en el Sistema DHS

Se han tomado como referencia para el cálculo los promedios de los valores de SSV y DQO al ingreso y la salida del sistema DHS de los cuatro últimos monitoreos (4 muestras), una vez que el sistema se encuentra operando de manera estable. Ver Anexo 04 para cálculos.

Los lodos que se desprenden al tanque sedimentador se han calculado de la siguiente manera:

Se ha tomado como referencia para el cálculo de los lodos desprendidos por el sistema DHS, el 75% del valor promedio de los cuatro últimos monitoreos (4 muestras) de sólidos sedimentados en el tanque sedimentador, por representar este porcentaje el contenido de material orgánico en los sólidos sedimentables asociado con los sólidos sedimentables volátiles (SSV) (G. Tchobanoglous et al, 2003).

De donde:

$TSS_{Sed} = 0.1493 \text{ ml/L}$ (Tasa promedio de sólidos sedimentables en el sistema DHS)

Generación de sólidos sedimentables en 1 día:

$VSS_{Sed} = TSS_{Sed} \times Q_d$ donde:

VSS_{Sed} : Volúmen de sólidos sedimentables

Q_d : Caudal diario: 61.9 L/día

$VSS_{Sed} = 9.24167 \text{ ml/día}$

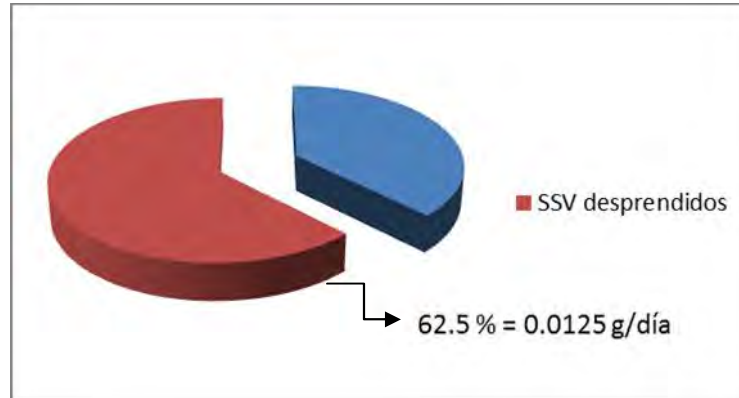
Asumiendo una densidad de sólidos sedimentables o lodos de 1.8 mg/ml (A. Díaz, 2002) el peso de sólidos sedimentables por día será:

$PSS_{Sed} = 9.24167 \text{ mg/día}$

Pero como sólo el 75% de este material representa el contenido orgánico asociado a los SSV, la tasa de desprendimiento de lodos (TI) del sistema DHS será:

$TI = 0.75 \times PSS_{Sed}$

$$TI = 1.25 \times 10^{-2} \text{ g SSV/día}$$



Lodos expresados como Sólidos suspendidos volátiles

Gráfico 6.36: Fracción de lodos desprendidos con respecto al total de lodos generados por el sistema DHS

Observamos en el Gráfico 6.36 que aproximadamente el 62 % de sólidos generados en el sistema DHS son desprendidos.

Validación de los análisis de sólidos

Con el fin de verificar la validez de los resultados de los análisis de sólidos, en la Tabla 6.4 se calculan las tasas SDT/EC de sólidos totales disueltos y conductividad:

$T = \text{SDT} / \text{EC}$ donde,

T = Tasa

SDT = Sólidos totales disueltos (mg/l)

EC = Conductividad ($\mu\text{S/cm}$ o $\mu\text{mho/cm}$)

Analizando la relación SDT (mg/l) / EC (dS/m o $\mu\text{mho/cm}$), vemos que el único punto que está dentro del rango permisible de 0.55-0.70 es el punto C que corresponde a la salida de la primera columna. Sin embargo, las tasas están muy cerca del límite

inferior, por lo cual se puede presumir que las distorsiones en los resultados podrían ser debidas a la interferencia de los iones de amoníaco o nitritos en la medición de la conductividad. (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1030 E. Checking Correctness of Analysis.)

Tabla 6.4: Tasas de sólidos totales disueltos/conductividad en los puntos de monitoreo

Valores promedio	EC ($\mu\text{S/cm}$ o $\mu\text{mho/cm}$)	SDT (mg/l)	Tasa SDT/EC
A	1130	552	0.49
B	1046	554	0.53
C	977	538	0.55
D	966	504	0.52

VI.10 Coliformes Termotolerantes

El sistema DHS mostró eficiencias de remoción de este parámetro del orden del 99.961%, obteniendo concentraciones promedio en los cuatro últimos muestreos de la etapa final del monitoreo de 4.42×10^4 UFC/100ml en el efluente. (Ver Tabla 6.5 y Gráfico 6.37)

En el Gráfico 6.38 se representan las concentraciones de Coliformes termotolerantes o fecales durante las 9 semanas de monitoreo de este parámetro. Se observa que las concentraciones de Coliformes fecales o termotolerantes se mantienen en un rango bastante estable ($1.59\text{E}+06$ a $1.27\text{E}+07$ UFC/100ml) a la salida del punto C (salida del DHS1), a pesar de las fluctuaciones en las concentraciones de Coliformes fecales o termotolerantes que ingresan al sistema DHS provenientes del efluente del reactor UASB que se encuentran en un rango de $8.46\text{E}+06$ a $6.73\text{E}+08$ UFC/100ml. Asimismo, se observa una gran estabilidad de tratamiento en la segunda columna del sistema (DHS2) donde se termina la depuración del proceso.

Por otro lado, se observa que desde una fase muy temprana del registro de este parámetro, incluso antes de la maduración total de las esponjas, la remoción de

Coliformes termotolerantes o fecales presentaba eficiencias muy altas (99.829%). Esto demuestra que el mecanismo de adsorción es el predominante en la remoción de Coliformes termotolerantes en este sistema de tratamiento.

FECHA	Tiempo Transcurrido (días)	A	B	C	D	Eficiencia de Remoción %
02/09/2011	56	3.37E+07	1.04E+07	4.37E+06	2.28E+04	99.932
23/09/2011	77	8.46E+06	6.92E+06	2.28E+06	2.28E+03	99.973
14/10/2011	98	4.37E+07	5.19E+06	7.74E+06	1.82E+05	99.583
15/12/2011	160	2.46E+08	1.36E+08	1.27E+07	2.82E+04	99.989
30/12/2011	175	1.41E+07	6.37E+07	6.92E+06	2.28E+03	99.984
02/01/2012	178	9.56E+07	5.37E+07	5.37E+06	8.77E+03	99.991
06/01/2012	182	6.73E+08	4.10E+08	3.73E+06	2.46E+04	99.996
08/02/2012	215	2.28E+07	1.84E+08	1.90E+06	2.23E+04	99.902
16/02/2012	223	2.28E+07	9.19E+07	1.59E+06	1.32E+05	99.420
27/02/2012	234	2.28E+07	2.28E+07	3.46E+06	1.77E+04	99.922
02/03/2012	238	5.01E+07	5.28E+07	3.09E+06	4.37E+04	99.913

Tabla 6.5: Concentración de Coliformes Termotolerantes o Fecales en UFC/100 ml en los puntos de monitoreo del sistema DHS

Finalmente, en el Gráfico 6.39 se representan las tasas referenciales de concentraciones de Coliformes Termotolerantes a la salida de cada unidad DHS1 y DHS2 con respecto a la concentración de Coliformes Termotolerantes al ingreso al sistema DHS en cada fecha de monitoreo. Se han obtenido las siguientes tasas promedio:

$$T1 \text{ prom} = \frac{\text{CF Salida DHS1}}{\text{CF Ingreso DHS}}$$

$$T2 \text{ prom} = \frac{\text{CF Salida DHS2}}{\text{CF Ingreso DHS}}$$

Donde:

T1 prom representa la tasa promedio de Coliformes Termotolerantes o fecales a la salida de primer módulo DHS1, dividido entre la concentración de Coliformes Termotolerantes o fecales al ingreso al sistema DHS.

T2 prom representa la tasa promedio de Coliformes Termotolerantes o fecales a la salida del segundo módulo DHS2, dividido entre la concentración de Coliformes Termotolerantes o fecales al ingreso al sistema DHS.

Al calcular los promedios de dichas tasas se obtuvieron los siguientes resultados:

$$T1 \text{ prom} = 1.41 \times 10^{-1}$$

$$T2 \text{ prom} = 1.27 \times 10^{-3}$$

De esta manera se puede observar la diferencia exponencial en la remoción de Coliformes Termotolerantes de dos órdenes de magnitud entre el tratamiento de la primera y segunda columna del sistema DHS.

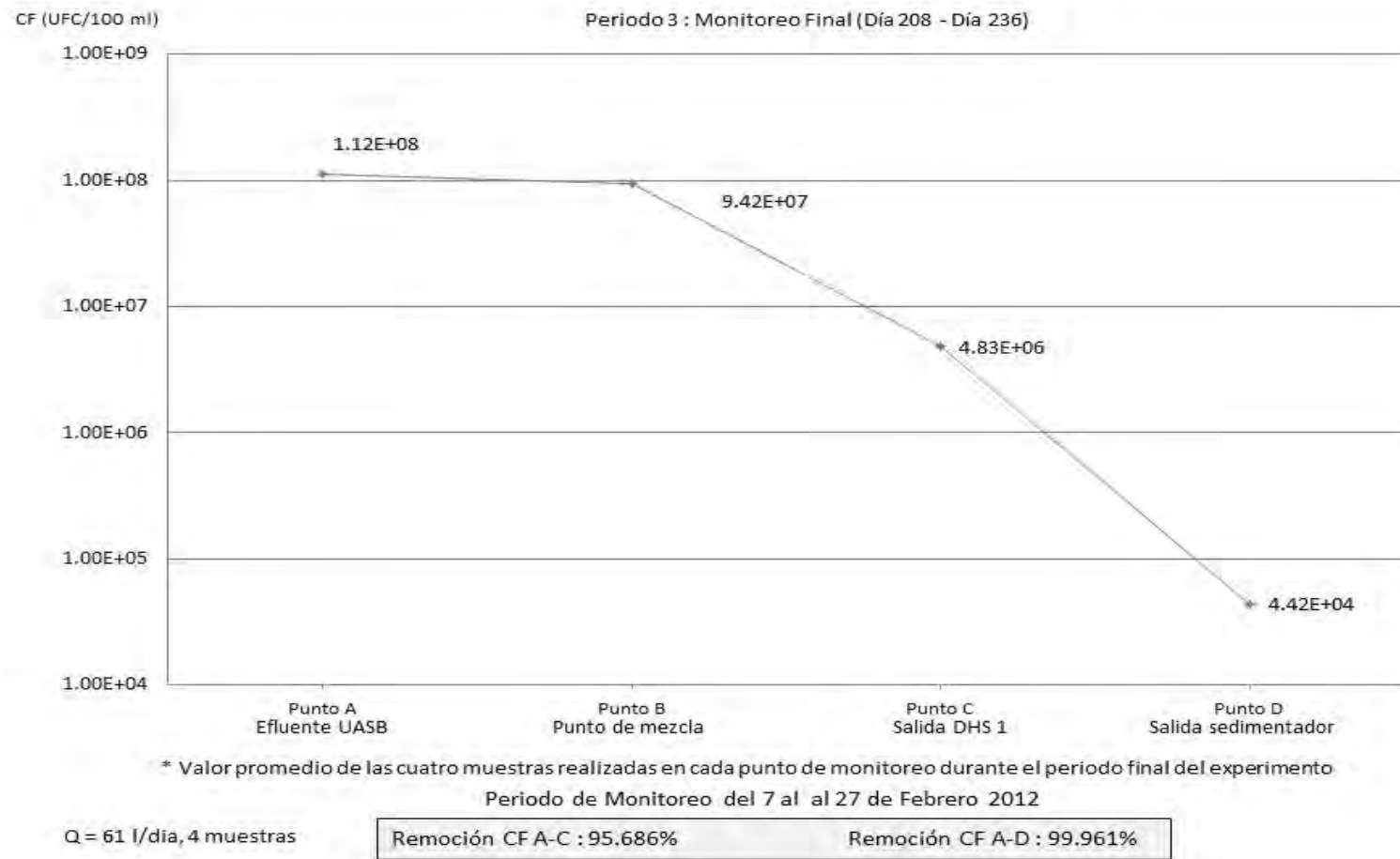


Gráfico 6.37: Concentraciones Promedio de Coliformes Termotolerantes o Coliformes Fecales o en los diferentes tramos del sistema DHS en el Periodo Final de Monitoreo y Eficiencias de Remoción

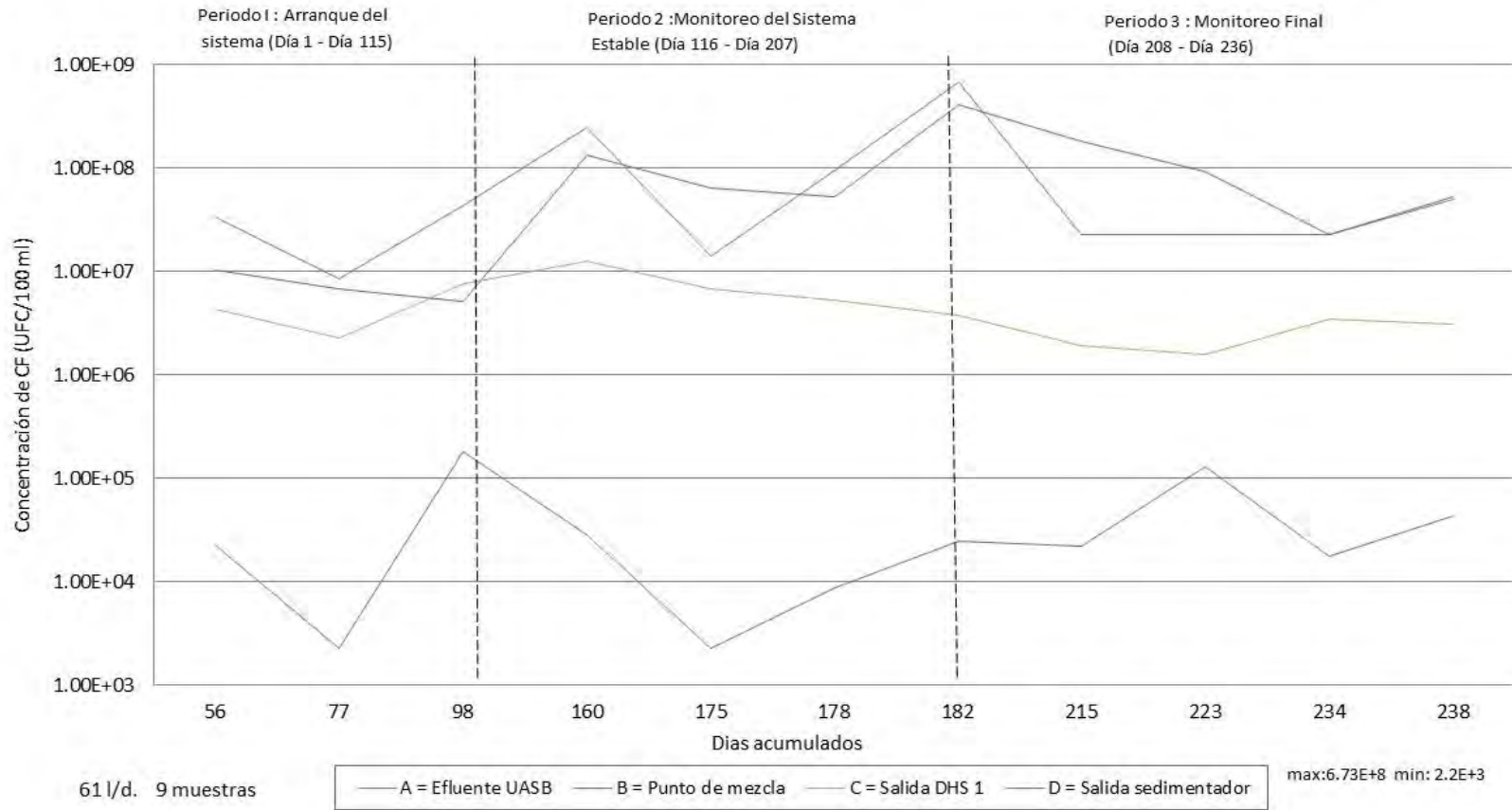


Gráfico 6.38: Remoción de Coliformes Termotolerantes o Coliformes Fecales en el sistema DHS en el Tiempo de Operación del Sistema DHS

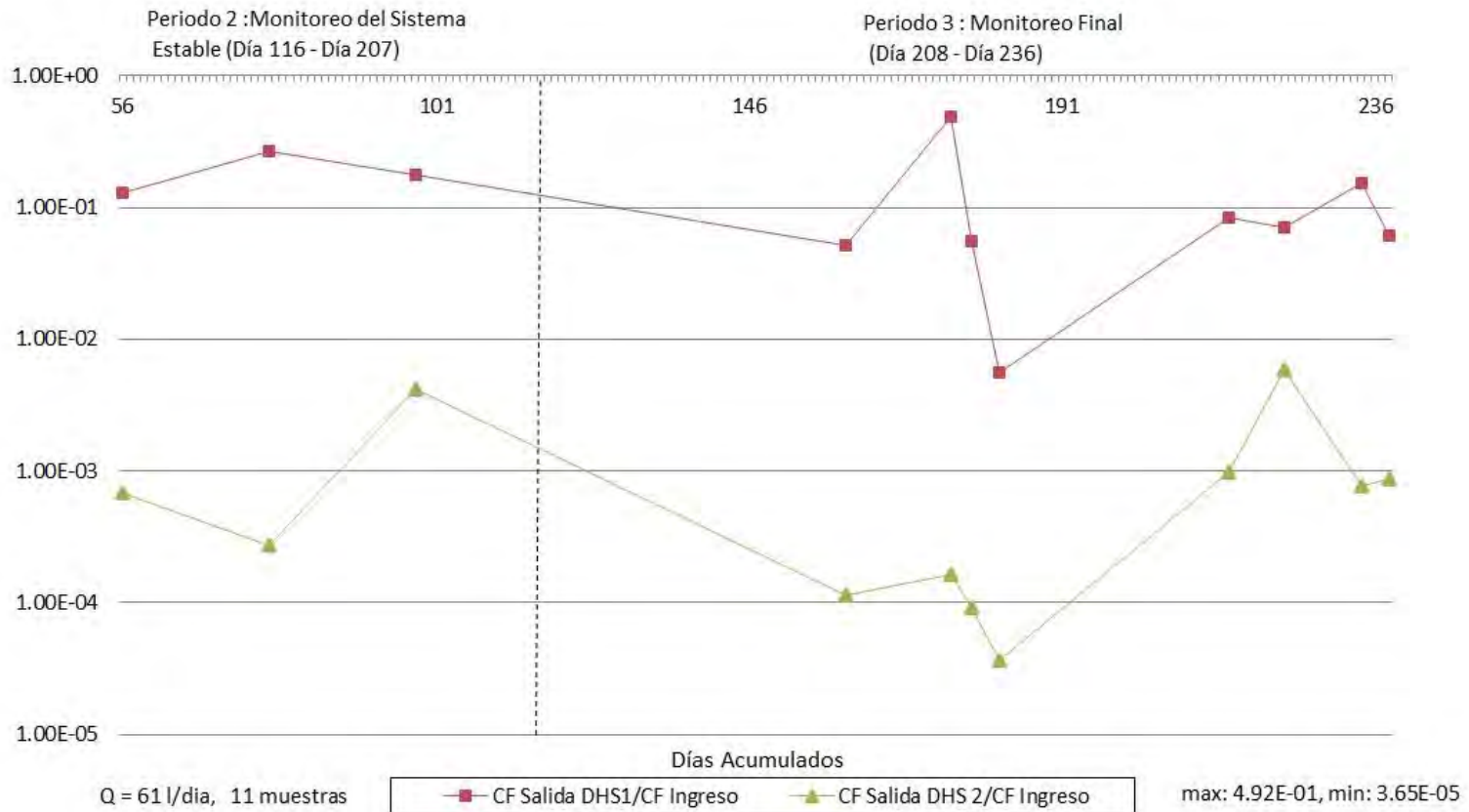


Gráfico 6.39: Tasa de Coliformes Termotolerantes o Coliformes fecales a la salida del DHS1 y DHS2 con respecto al ingreso al sistema DHS

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

El sistema DHS con recirculación de caudal ha mostrado ser altamente eficiente en el tratamiento secundario del efluente del reactor UASB, mostrando alta remoción de materia orgánica (DBO, DQO) y de contaminación microbiológica (Coliformes termotolerantes).

Asimismo, se ha comprobado que en el proceso de tratamiento se desarrolla simultáneamente la nitrificación y desnitrificación de los compuestos de nitrógeno, pero no alcanza los niveles exigidos por los Estándares de Calidad Ambiental que la legislación Peruana exige para el reúso de efluentes en riego de vegetales y bebida de animales (ECA Categoría 3).

Más específicamente podemos concluir lo siguiente:

- El sistema DHS mostró ser estable y alcanzar eficiencias del 94% en la remoción de la DBO, 84% en la remoción de DQO y 99.961% en la remoción de Coliformes Termotolerantes, a pesar de las fluctuaciones continuas de estos parámetros al ingresar al sistema. Asimismo, mostró ser estable en el desarrollo de los procesos de nitrificación (63% en la remoción de NH₃-N y 52% en la remoción de NO₂-N), aún en las etapas en que ingresaron las máximas concentraciones de Nitrógeno al sistema.
- Concluimos que el proceso de nitrificación que se desarrolla en el sistema DHS es debido al periodo de retención diseñado para 90 minutos en las

esponjas. Este tiempo da oportunidad al desarrollo de las bacterias nitrificantes en la parte inferior, que tienen una tasa de crecimiento lenta y que no pueden entrar en competencia con las bacterias heterótrofas alojadas en la parte superior del Sistema DHS. Asimismo, la disponibilidad de oxígeno por la disminución de la DBO a este nivel del tratamiento favorece las condiciones para la nitrificación así como la disminución de la concentración de Amonio que afecta la tasa de crecimiento de las nitrosomonas y nitrobacter responsables de este proceso.

- El periodo de maduración del reactor hasta alcanzar su eficiencia óptima en el tratamiento del agua residual es de 4 a 5 meses en condiciones ambientales normales.
- La remoción de Coliformes Fecales se estabilizó con eficiencias de remoción del 96.961% en el segundo mes de funcionamiento del sistema DHS.
- Concluimos que los mecanismos preponderantes en la remoción de Coliformes termotolerantes en el Sistema DHS son físicos. En una primera etapa (primeros 60 días de funcionamiento), cuando la película biológica aún no estaba desarrollada en las esponjas, el mecanismo dominante de retención de bacterias fue la adsorción de las mismas sobre las superficies porosas. Sin embargo, la remoción de Coliformes termotolerantes ya se daba en altas tasas en esta etapa (96.961% en promedio). A partir del segundo mes de funcionamiento (a los 60 días) intervino el mecanismo de remoción por atascamiento de las bacterias por haber desarrollado la película biológica sobre los espacios vacíos, observándose una remoción del 99.932% en promedio para esta etapa.
- Concluimos que el mayor porcentaje de remoción de contaminantes en la etapa final del monitoreo (95.686% en promedio de CF, 62% en promedio de DQO, 82% en promedio de DBO) se da en la primera columna de

tratamiento del sistema DHS, debido a una mayor actividad bacteriana en este nivel por encontrarse más próximo al punto de ingreso de efluentes del reactor UASB con mayor concentración de nutrientes para la biomasa activa.

- Observamos que los valores de Sólidos Totales, Sólidos Volátiles Totales y Sólidos Suspendidos coinciden en la disminución de las concentraciones hacia la salida de la primera columna (484 mg/l, 133mg/l, 82mg/l en promedio en la última etapa de monitoreo respectivamente) y la elevación de las concentraciones a la salida del sedimentador (516mg/l, 141mg/l, 100mg/l en promedio en la última etapa de monitoreo respectivamente). Esto se debe al aporte de sólidos que se desprenden de la segunda columna por mecanismos biológicos e hidráulicos.
- La altura de columna más eficiente en el sistema DHS para el tratamiento de la DQO Total y Soluble, DBO₅ y Sólidos para un caudal de 61.9 l/día y un periodo de retención de 1.5 horas con las características y condiciones detalladas en la presente investigación demostró ser de 60 cm.; es decir, la longitud de la primera columna. A mayor longitud se agota el sustrato y la biomasa tiende a desprenderse aumentando nuevamente la concentración de estos parámetros.
- Los bajos niveles de remoción de DQO soluble en la segunda columna (7 % en promedio en la última etapa de monitoreo) están indicando que los compuestos orgánicos en el agua residual han sido oxidados en la primera columna y que su concentración al ingresar a la segunda columna no es suficiente para mantener el crecimiento celular de la biomasa, por lo tanto las células mueren y se desprenden con el flujo aportando DQO a la salida de la segunda columna. Este es un claro indicador de que existe una altura de columna óptima para el tratamiento de la DQO del agua residual en el sistema DHS que para el caso del presente estudio llega a los 60 cm.

- En el caso de la remoción de Nitrógeno Amónico, se observa que la mayor remoción en promedio en la última etapa de monitoreo (47% de un total de 63%) se dio en la primera columna; por lo tanto se concluye que a mayor altura de columna, se obtendrán mejores niveles de remoción.
- En la remoción de Nitritos se observa en la etapa final de monitoreo que a la salida de la primera columna se remueve en promedio el 65% de $\text{NO}_2\text{-N}$, mientras que a la salida de la segunda columna la concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ aumenta en un 13% en promedio con respecto a la primera columna. Esto comprueba el efecto de la nitrificación en la primera columna en su paso de $\text{NO}_2\text{-N}$ a $\text{NO}_3\text{-N}$. En la segunda columna, el aumento de la concentración de $\text{NO}_2\text{-N}$ hace suponer el desarrollo del proceso de desnitrificación en la reducción de $\text{NO}_3\text{-N}$ a $\text{NO}_2\text{-N}$. Esto comprueba además que ambos procesos se desarrollan simultáneamente en el Sistema DHS, donde la nitrificación tiene lugar en los estratos superficiales de las esponjas por la presencia de condiciones aerobias y la desnitrificación en los estratos interiores en condiciones anóxicas favorables para este proceso.
- Los Nitratos sufren un incremento en todo el proceso de tratamiento del sistema DHS, aumentando significativamente en la segunda columna (354% en promedio en la última etapa de monitoreo). Esto demuestra un intenso proceso de nitrificación en el Sistema DHS, pero que no llega a los niveles de desnitrificación necesarios para alcanzar los niveles requeridos en la legislación Peruana para el reúso de efluentes en riego de vegetales y bebida de animales (ECA Categoría 3: 10 mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$). Por lo tanto se requiere un post tratamiento para reducir este parámetro.

- La generación estimada de lodos por el Sistema DHS es mínima (0,02 gramos de sólidos suspendidos volátiles por día), que se calculó a partir de la concentración de sólidos suspendidos volátiles en el afluente y efluente, la cantidad de DQO removida y el caudal de tratamiento.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

- Es importante fijar puntos de muestreo a diferentes niveles en el sistema DHS para monitorear las eficiencias del tratamiento en sus diferentes fases y determinar con mayor precisión la longitud de tratamiento óptima para la remoción de cada contaminante. En el caso de esta investigación, es importante fijar como punto de muestreo la salida de la segunda columna de tratamiento del DHS, antes de su ingreso al sedimentador.
- En sistemas de tratamiento de película fija usados para la nitrificación, es importante la remoción previa de la DBO para que los organismos nitrificantes puedan desarrollar. Las bacterias heterótrofas tienen una tasa de producción de biomasa mucho más alta que las bacterias nitrificantes y tienden a acaparar el área superficial del medio de crecimiento. Para incrementar la eficiencia del proceso de nitrificación en el reactor DHS, se recomienda incrementar la longitud del reactor.
- Se observó que la película biológica se desarrolla en todo el sistema: mangueras, esponjas, sedimentador, tanque de recirculación, balde de recirculación, motor, etc. Por lo tanto un mantenimiento periódico semanal resultó indispensable para evitar la obstrucción del flujo de tratamiento.

- Se recomienda evitar colocar la bomba de recirculación dentro del tanque en contacto con el agua, ya que el calor de la bomba eleva considerablemente la temperatura en el tanque de recirculación creando condiciones no previstas para el efluente que recircula y reingresa al sistema. Por otro lado, el chorro de desfogue de presión de la bomba crea dentro del tanque de recirculación una aireación artificial no prevista para llevar a escala real que alteraría los valores normales de Oxígeno Disuelto.
- La recirculación es recomendable para los procesos biológicos de tratamiento en el Sistema DHS porque mantiene un estado de humectación favorable para el biofilm en las esponjas y diluye las cargas orgánicas que ingresan al sistema.
- Para este experimento se recomienda bombear directamente el efluente del reactor UASB al sistema DHS obviando el tanque de almacenamiento. Esto evitará condiciones de sedimentación y pre tratamiento que se llevan a cabo naturalmente dentro del cilindro de almacenamiento al ser retenido el efluente del UASB hasta por tres días.
- Para acortar el periodo de maduración del sistema DHS se recomienda el uso de un inóculo de la película biológica que se desarrolla en el mismo sistema.
- Se recomienda tomar las muestras para el análisis de sólidos sedimentables directamente del efluente de la segunda columna de tratamiento, antes de ingresar al sedimentador. El muestreo realizado semanalmente en el sedimentador puede provocar distorsiones, en cuanto ciertas partículas sedimentables podrían entrar en solución y alterar el resultado final.

ANEXOS

ANEXO 01

ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA- DECRETO SUPREMO
N° 002-2008 - MINAM

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
Banio total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6

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

ANEXO 01

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS REIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES

<p>El Peruano Lima, miércoles 17 de marzo de 2010</p>	<p>NORMAS LEGALES 415675</p>
<p>de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.</p> <p>Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.</p> <p>Regístrese, comuníquese y publíquese.</p> <p>ALAN GARCÍA PÉREZ Presidente Constitucional de la República</p> <p>JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN Presidente del Consejo de Ministros</p> <p>469446-6</p>	<p>implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;</p> <p>De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;</p> <p>DECRETA:</p> <p>Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)</p> <p>Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.</p> <p>Artículo 2°.- Definiciones</p> <p>Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR): Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales. - Límite Máximo Permisible (LMP): Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental. - Protocolo de Monitoreo: Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el
<p style="text-align: center;">AMBIENTE</p> <p>Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales</p> <p style="text-align: center;">DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM</p> <p style="text-align: center;">EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA</p> <p>CONSIDERANDO:</p> <p>Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;</p> <p>Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General</p>	<p>minera y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.</p> <p>Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR</p> <p>3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.</p> <p>3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.</p> <p>3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.</p> <p>3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.</p> <p>Artículo 4°.- Programa de Monitoreo</p> <p>4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.</p>
<p>como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;</p> <p>Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;</p> <p>Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;</p> <p>Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permisible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;</p> <p>Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,</p>	

415676


NORMAS

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7º.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

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

469446-2

ANEXO 02

1. DISEÑO DEL DHS

Vol=Volumen

Tr=Tiempo de retención

$$Qd=Vol/Tr=$$

Parámetros de diseño:

Periodo de Retención: **1.5 h**

5400 seg

Porosidad de la esponja: **88.89 %**

Calculos del volumen

Cilindro

1	Dimension	valor	unidad
	diametro	11.5	cm
	longitud efectiva	55	cm

$$Vol= \pi * r^2 * h$$

$$Vol\ 1 = 5712.80325\ cm^3$$

2	Dimension	valor	unidad
	diametro	11.8	cm
	longitud efectiva	55	cm

$$Vol\ 1 = 6014.75028\ cm^3$$

$$\pi = 3.1416$$

Escogemos del de menor volumen para efectos de diseño.

El porcentaje recomendado de volumen que ocupa la esponja en nuestros cilindros es del 38%
cf. Harada *2*

$$Vol * \% = 2170.86524\ cm^3$$

$$Vol * \% = 0.00217087\ m^3$$

Es volumen de esponjas a usar

Calculo 1

Si los cubos son de dimensiones

	valor	unidad
largo	0.04	m
ancho	0.04	m
alto	0.04	m

$$Vol\ de\ cubo = 0.000064\ m^3$$

$$Numero\ de\ cubos = 33.919769$$

34 cubos

$$Volumen\ total\ de\ esponjas = 0.002176\ m^3$$

$$Como\ la\ porosidad\ es\ de = 88.89\%$$

$$Volumen\ efectivo = 0.0019342\ m^3$$

Luego el caudal de diseño será=

$$Qd = \frac{3.58194E-07\ m^3/s}{0.000358194\ l/s} = 30.9479424\ l/dia$$

Calculo2

Si los cubos son de dimensiones

	valor	unidad
largo	0.025	m
ancho	0.025	m
alto	0.025	m

Vol de cubo=	1.563E-05 m ³
Numero de cubos=	138.93538 139 cubos
Volumen total de esponjas=	0.0021709 m ³

Como la porosidad es de= 88.89%

Luego el caudal de diseño sera=

Volumen efectivo= 0.0019297 m³

$$Q_d = \begin{matrix} 3.57349E-07 \text{ m}^3/\text{s} \\ 0.000357349 \text{ l/s} \end{matrix} =$$

$$= 30.8749137 \text{ l/dia}$$

Calculo3

Si los cubos son de dimensiones

	valor	unidad
largo	0.03	m
ancho	0.03	m
alto	0.03	m

Vol de cubo=	0.000027 m ³
Numero de cubos=	80.402416 80 cubos
Volumen total de esponjas=	0.0021709 m ³

Como la porosidad es de= 88.89%

Luego el caudal de diseño sera=

Volumen efectivo= 0.0019297 m³

$$Q_d = \begin{matrix} 3.57349E-07 \text{ m}^3/\text{s} \\ 0.000357349 \text{ l/s} \end{matrix} =$$

$$= 30.8749137 \text{ l/dia}$$

Elegimos el tamaño del calculo 1 por que observamos en la práctica que es el que mejor retiene y distribuye el agua.

2. **CALCULO DEL CAUDAL DE DOSIFICACION**
3. **DISTRIBUCION DE LOS CUBOS**
4. **VOLUMEN DEL CILINDRO DE ALMACENAMIENTO**

Calculo del caudal de dosificacion:

$$\begin{aligned}
 Q_d &= 3.58194E-07 \text{ m}^3/\text{s} = 30.9479424 \text{ l/dia} \\
 &= 0.000358194 \text{ l/s} = \\
 &= 0.358193778 \text{ ml/s} \\
 &= 21.49162667 \text{ ml/min} \quad 1 \text{ columna} \\
 &= 42.98325333 \text{ ml/min} \quad 2 \text{ columnas} \quad 61.8958848 \text{ l/d}
 \end{aligned}$$

14.32775111 = 14 ml cada 20 seg medido con pipeta a la entrada de la primera columna

Distribucion de los cubos

Cubos de dimensiones:

	valor	unidad	Vol de cubo=	1.563E-05 m ³
largo	0.025	m		
ancho	0.025	m	Numero de cubos=	138.93538
alto	0.025	m		139 cubos
			Diagonal mayor=	41 mm
			Espacio entre cubos=	5 mm
Largo del tubo del reactor=		55 cm	=	550 mm
Numero de cubos por tira=	largo del tubo/(diametro del cubo+ espacio entre cubos)			
Numero de cubos por tira=	11.957	=	12 cubos	
Numero de tiras=	11.62	=	5 tiras de 11 cubos	y
			7 tiras de 12 cubos	

Volumen del cilindro de almacenamiento - efluente UASB

	valor	unidad	Vol de cilindro =	0.1970412 m ³
diametro	0.56	m		197.04115 l
alto	0.8	m		
π	3.1416		Qd=	61.895885 l/dia

Capacidad de almacenamiento del cilindro dosificador : 3.183429 dias
3 dias

Como el caudal es recirculado, entra doble a las esponjas.

El Tiempo dosificador se duplica. En el tanque va la mitad del calculo inicial.

Tiempo dosificador con recirculacion= 6.3668579 dias
6 dias

5. DETERMINACION DE LA POROSIDAD DE LA ESPONJA.

Determinacion de porosidad de la esponja

Prueba 1: Sumergimos en agua esponja medida en pipeta graduada
Calculamos volumen de agua absorbida y calculamos porosidad.

	dimension	valor	unidad
esponja	largo	1.5	cm
	ancho	1.5	cm
	alto	1.5	cm
	volumen	3.375	cm ³

	valor	unidad
conversiones	0.015	m
	0.015	m
	0.015	m
	0.000003375	m ³

Pruebas de volumen de agua absorbido

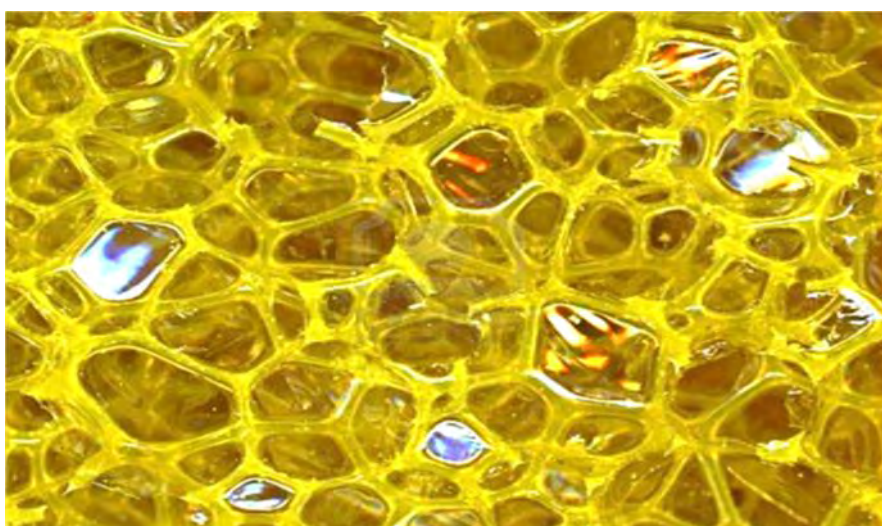
	dimension	valor	unidad
	1	3	ml
	2	3	ml
	3	3	ml
	promedio	3	ml

	valor	unidad
conversiones	0.003	l
	0.003	l
	0.003	l
	0.003	l

Equivalente= 1000 l por cada m³

Porosidad:

$$\rho = (\text{Vol absorbido} / \text{Vol aparente}) = 0.8888889 \quad \text{en porcentaje} = 88.89\%$$



Prueba 2: Mojamos con agua esponja medida sobre recipiente hasta saturacion.
Calculamos volumen de agua absorbida y calculamos porosidad.

	dimension	valor	unidad
esponja	largo	6	cm
	ancho	3.65	cm
	alto	4.8	cm
	volumen	105.12	cm ³

	valor	unidad
conversiones	0.06	m
	0.0365	m
	0.048	m
	0.00010512	m ³

Pruebas de volumen de agua absorbido

prueba	valor	unidad
1	71	ml
2	75	ml
3	72	ml
promedio	72.66666667	ml

	valor	unidad
conversiones	0.071	l
	0.075	l
	0.072	l
	0.072666667	l

Equivalente= 1000 l por cada m³

Porosidad:

$$\rho = (\text{Vol absorbido} / \text{Vol aparente}) = 0.6912735 \quad \text{en porcentaje} = 69.13\%$$

Prueba 3: Mojamos con agua corriente esponja medida hasta saturacion.
Calculamos volumen de agua absorbida y calculamos porosidad.

	dimension	valor	unidad
esponja	largo	6	cm
	ancho	3.65	cm
	alto	4.8	cm
	volumen	105.12	cm ³

	valor	unidad
conversiones	0.06	m
	0.0365	m
	0.048	m
	0.00010512	m ³

Pruebas de volumen de agua absorbido

prueba	valor	unidad
1	99	ml
2	99	ml
3	99	ml
promedio	99	ml

	valor	unidad
conversiones	0.099	l
	0.099	l
	0.099	l
	0.099	l

Equivalente= 1000 l por cada m³

Porosidad:

$$p = (\text{Vol absorbido} / \text{Vol aparente}) = 0.9417808 \quad \text{en porcentaje} = 94.18\%$$

Conclusion:

Como la esponja va a estar en suspension, optamos por el calculo de la **prueba 1= 88.89%**

5. DETERMINACION DE LA POROSIDAD DE LA ESPONJA.

ESQUEMA Y DISEÑO DE MODULO DHS PARA TRATAMIENTO D EFLUENTE DE UASB UNI-CITRAR

ESQUEMA

El sistema de tratamiento de efluente de uasb tipico es el que se muestra en el esquema 1
Consiste en modulo de esponjas donde pasa el efluente de sistema de uasb.

Para nuestro estudio
Consideramos dos modulos de dhs en serie
mas una recirculacion del agua tratada
que se mezcla con el efluente uasb antes de entrar
en los modulos de dhs

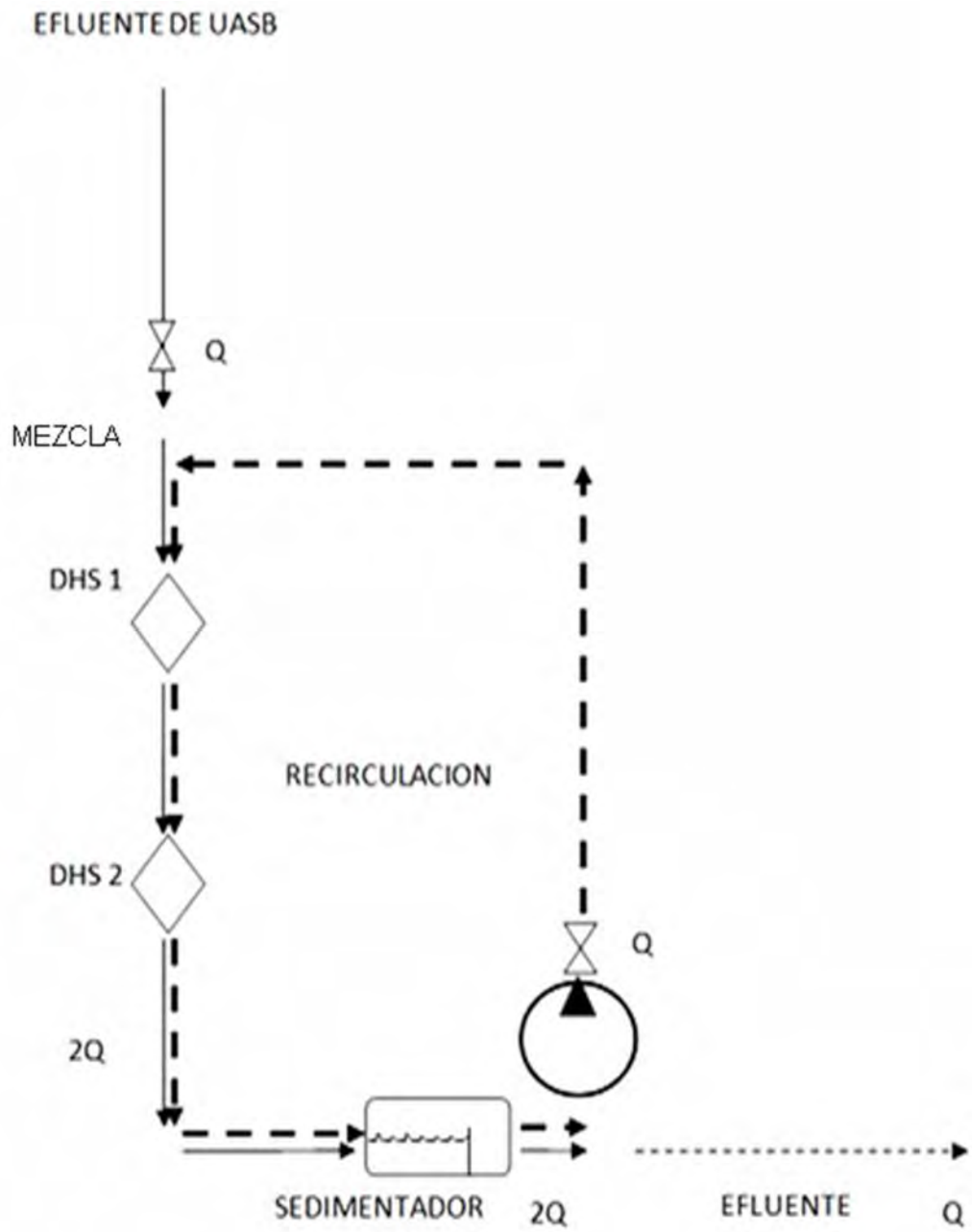
Los caudales se muestran en el esquema
al recircular el agua tratada reduce el caudal de diseño
a la mitad.

por lo que trata un caudal de	30.9479424 l/dia
o	0.00035819 l/s

El efluente del UASB esta contenido en un tanque
plastico cilindrico azul de 200 l. Recargado 2v por sem
con bomba hidraulica electrica disponible en Citrar para
mantenimiento y recarga de otros modulos
de pruebas.

El flujo de efluente es comunicado con mangueras
plasticas blandas y regulada con valvulas del mismo material.

6. ESQUEMA PARA CONSTRUIR EL DHS



7. CALCULO DE SEDIMENTADOR T TIEMPO DE RETENCION PARA SEDIMENTADOR.R

TIEMPO DE RETENCION-DISEÑO SEDIMENTADOR							
Caudal base=		7ml/10s=0.7ml/s		2.52		l/h	
Tabla de equivalencias:							
ml	lt	m3	seg	min	h	d	mes
0.7			1				
7			10				
21			30				
42			60	1			
1000	1		1428.57	23.8095	0.396825		
2520	2.52	0.00252	3600	60	1		
	5.04				2		
	60.48	0.06048			24	1	
	1814.4	1.8144				30	1

Diagramas de diseño

Sin recirculacion = Q		
Q(l/h)	tr(h)=Vol/Q	V(l)
2.52	2	5.04
2.52	0.40	1

Con recirculacion =2Q		
Q(l/h)	tr(h)=Vol/Q	V(l)
5.04	2	10.08
5.04	0.20	1

Calculo de Unidades fisicas de sedimentador		
unidades	volumen	cap comercial
1	10.08	20
2	5.04	10
3	3.36	4
4	2.52	3
6	1.68	2

Solucion: sedimentador (1) de 20l con rebose a 10.08 lt hacia recirculacion.

Nota 1: Valor Tabla 4.6. de "Información para diseño de sedimentado primario seguido por tratamiento secundario" ref. www.univo.edu.sv:8081/tesis/009799/009799_Cap4.pd

ANEXO 3 RESULTADOS

TEMPERATURA

Temperatura	DIAS	DIAS	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
			Efluente UASB	Mezcla	DHS1	Salida sedim.
08/07/2011	1	1				
25/07/2011	17	16	19.1	19.4	19.6	19.3
07/08/2011	13	29	18.2	18.3	18.4	18.4
07/08/2011	0	29	18.2	18.3	18.4	18.4
07/08/2011	0	29	18.2	18.3	18.4	18.4
08/08/2011	1	30	19.4	19.5	19.4	19.5
08/08/2011	0	30	16.1	16.3	15.9	15.7
09/08/2011	1	31	17.6	18.6	18	17.2
09/08/2011	0	31	18.4	18.8	18.8	18.1
10/08/2011	1	32	16.9	17.6	17.3	16.6
10/08/2011	0	32	17.4	17.7	17.4	17.3
11/08/2011	1	33	17.9	18	17.8	17.4
12/08/2011	1	34	16.8	17.7	17.8	17.1
12/08/2011	0	34	17.7	18	17.63	17.6
15/08/2011	3	37	19.2	19	18.7	19.1
16/08/2011	1	38	16.9	17.4	17.2	17.9
16/08/2011	0	38	17.3	17.8	17.5	17.5
17/08/2011	1	39	16.9	17.7	17.7	17.9
17/08/2011	0	39	17.5	18.5	18.4	17.9
19/08/2011	2	41	16.9	17.5	17.1	17.2
22/08/2011	3	44	16.2	16.6	16.4	16.3
22/08/2011	0	44	16.9	16.9	17.3	17.6
23/08/2011	1	45	17.2	17.2	17.4	17
24/08/2011	1	46	16.6	16.9	16.6	15.9
24/08/2011	0	46	16.1	16.3	15.9	15.7
25/08/2011	1	47	18.7	19	18.9	18.9
25/08/2011	0	47	18.7	19	18.9	18.9
26/08/2011	1	48	17.8	17.7	17.4	17.3
29/08/2011	3	51	16.8	16.9	16.9	16.9
29/08/2011	0	51	16.8	16.9	16.9	16.9
02/09/2011	4	55	17.3	17.4	17.2	17.4
02/09/2011	0	55	17.3	17.4	17.2	17.4
08/09/2011	6	61	17.5	17.6	18.1	18.1
12/09/2011	4	65	19.4	19.5	19.4	19.5
13/09/2011	1	66	21.4	21.2	21.3	21.4
14/09/2011	1	67	22.7	23	22.8	23.4
15/09/2011	1	68	18.7	18.5	18.7	18.4
16/09/2011	1	69	18.7	18.7	18.7	18.7
19/09/2011	3	72	20.3	20.2	20.4	20.3
20/09/2011	1	73	21.1	20.2	20.3	20.1
24/09/2011	4	77	21.3	21.3	21.3	21.3
27/09/2011	3	80	20.1	20.9	20.7	20.6
28/09/2011	1	81	19.5	19.5	19.5	19.5
29/09/2011	1	82	19.9	20.1	19.9	19.6
30/09/2011	1	83	21.4	21.4	21.4	21.4
03/10/2011	3	86	22.8	22.8	22.8	22.8
04/10/2011	1	87	22	22	22	22
07/10/2011	3	90	20.6	20.6	20.6	20.6
11/10/2011	4	94	20.1	20.1	20.1	20.1
12/10/2011	1	95	19.1	19.1	19.1	19.1
13/10/2011	1	96	18.5	18.7	18.7	18.7
18/10/2011	5	101	20.00	20.00	20.00	20.00
28/10/2011	10	111	23.4	23	23.5	23
03/11/2011	6	117	23.2	23.2	23.2	23.2
04/11/2011	1	118	22.3	22.3	22.3	22.3
08/11/2011	4	122	24	24	24	24
10/11/2011	2	124	24.6	24.6	24.6	24.6
11/11/2011	1	125	21.2	21.2	21.2	21.2
16/11/2011	5	130	23.00	23.00	23.00	23.00
28/11/2011	12	142	25	25	25	25
28/11/2011	0	142	24.00	24.00	24.00	24.00
29/11/2011	1	143	24.4	24.4	24.4	24.4
29/11/2011	0	143	24.40	24.40	24.40	24.40
01/12/2011	2	145	24.5	24.5	24.8	24.5
02/12/2011	1	146	24.7	24.7	24.7	24.7
03/12/2011	1	147	27.3	27.9	27.6	27.4
05/12/2011	2	149	25.70	25.70	25.70	25.70
06/12/2011	1	150	23.8	24.1	23.9	23.9
06/12/2011	0	150	28.8	28.7	28.6	28.5
09/12/2011	3	153	21.00	21.00	21.00	21.00
09/12/2011	0	153	24.5	24.5	24.5	24.5
13/12/2011	4	157	24.2	24.8	24.6	24.5
15/12/2011	2	159	24.2	24.8	24.1	24.3
16/12/2011	1	160	26.80	26.80	26.80	26.80
19/12/2011	3	163	28.70	28.70	28.70	28.70
20/12/2011	1	164	25.5	25.5	25.1	24.5
21/12/2011	1	165	27.32	27.32	27.32	27.32
22/12/2011	1	166	24.90	24.90	24.90	24.90
23/12/2011	1	167	25.1	25.1	25.1	25.1
27/12/2011	4	171	23	23	23	23
27/12/2011	0	171	24	24	23.8	23.9
28/12/2011	1	172	23	23	23	23
29/12/2011	1	173	26.7	26.7	26.7	26.7
30/12/2011	1	174	25	25	25	25
04/01/2012	5	179	28.6	28.6	28.6	28.6
05/01/2012	1	180	29.4	29.4	29.4	29.4
11/01/2012	6	186	26.3	26.9	27	26.8
12/01/2012	1	187	24.5	25.3	24.5	24.1
15/01/2012	3	190	27.8	28.3	28.7	28.8
17/01/2012	2	192	26.1	26	25.9	25.4
17/01/2012	0	192	28.4	29.1	29.3	28.2
18/01/2012	1	193	25.8	26.3	26	25.4
19/01/2012	1	194	24.9	25.8	24.9	24.5
19/01/2012	0	194	28.1	29.7	29.5	28.9
20/01/2012	1	195	27.4	27.6	27.6	27.6
23/01/2012	3	198	26.1	26.5	26.3	25.4
24/01/2012	1	199	25.5	25.5	25.4	25.4
24/01/2012	0	199	27	27.2	27.3	27.6
24/01/2012	0	199	28.3	28.7	28.4	28.1
25/01/2012	1	200	25.4	25.8	25.2	24.8
25/01/2012	0	200	28.3	28.7	28.8	27.8
26/01/2012	1	201	25.3	25.5	25.2	24.9
26/01/2012	0	201	28.8	28.9	29.3	28.8
30/01/2012	4	205	25	25.6	25.2	24.3
06/02/2012	7	212	26.2	26.1	26.1	25.5
06/02/2012	0	212	26.8	26.7	26.4	26.9
07/02/2012	1	213	25.1	25.5	25.3	24.9
07/02/2012	0	213	28	28.3	28.1	28
08/02/2012	1	214	26.1	26.2	26.3	25.9
08/02/2012	0	214	30.8	30.3	30.2	30.3
09/02/2012	1	215	27.5	27.6	27.8	27.2
10/02/2012	1	216	26	26.5	26	25.9
15/02/2012	5	221	27.2	27.1	22.4	22.4
15/02/2012	0	221	30.6	30.2	29.9	30.2
16/02/2012	1	222	27.1	26.9	27.3	26.9
17/02/2012	1	223	27.1	27	26.9	26.3
17/02/2012	0	223	28.1	28.8	28.7	28.1
20/02/2012	3	226	28.2	28.9	28.8	28.2
20/02/2012	0	226	30.3	30.6	30.7	30.4
21/02/2012	1	227	27.8	28.2	26.8	26.5
21/02/2012	0	227	30.5	30.6	30.5	30.2
22/02/2012	1	228	28.5	29.3	29.2	28
22/02/2012	0	228	28.9	28.8	28.9	28.9
23/02/2012	1	229	27.3	27.9	27.6	27.4
24/02/2012	1	230	27.2	27.2	27.2	27.1
24/02/2012	0	230	28.9	29.5	29.4	29.6
27/02/2012	3	233	26.4	26.4	25.9	25.8
29/02/2012	2	235	27.3	27.6	27.5	27
29/02/2012	0	235	29	30.4	29.8	29.5
01/03/2012	1	236	28.4	28.7	28.8	28.4
02/03/2012	1	237	30.21	29.6	29.7	30.3

PH

PH	DIAS	DIAS ACUM	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
			Effluente UASB	Mezcla	DHS1	Salida sedim.
08/07/2011	1	1				
25/07/2011	17	16	7.55	7.52	7.99	8.0
07/08/2011	13	29	7.81	7.73	7.92	7.8
07/08/2011	0	29	7.81	7.73	7.92	7.8
07/08/2011	0	29	7.81	7.73	7.92	7.8
08/08/2011	1	30	8.00	7.84	8.02	7.9
08/08/2011	0	30	8.01	8.04	8.22	8.2
09/08/2011	1	31	7.95	7.84	7.90	7.7
09/08/2011	0	31	7.72	7.87	7.92	7.6
10/08/2011	1	32	7.92	7.98	7.95	7.8
10/08/2011	0	32	8.00	7.94	8.12	8.1
11/08/2011	1	33	7.91	7.84	7.97	7.9
12/08/2011	1	34	7.80	7.94	8.06	8.1
12/08/2011	0	34	7.92	7.95	8.02	8.0
15/08/2011	3	37	7.52	7.79	8.19	8.0
16/08/2011	1	38	7.49	7.76	8.16	8.0
16/08/2011	0	38	7.76	7.99	8.14	8.0
17/08/2011	1	39	7.58	7.93	8.24	8.1
17/08/2011	0	39	7.82	7.93	8.25	8.2
19/08/2011	2	41	7.77	7.92	8.27	8.2
22/08/2011	3	44	7.59	8.17	8.31	8.3
22/08/2011	0	44	8.05	8.12	8.34	8.3
23/08/2011	1	45	8.17	8.19	8.27	8.3
24/08/2011	1	46	8.19	8.24	8.32	8.3
24/08/2011	0	46	8.01	8.04	8.22	8.2
25/08/2011	1	47	7.49	7.85	8.09	7.4
25/08/2011	0	47	7.49	7.55	8.09	7.4
26/08/2011	1	48	7.57	7.63	7.96	7.8
29/08/2011	3	51	7.95	7.85	8.04	7.8
29/08/2011	0	51	7.95	7.85	8.04	7.8
02/09/2011	4	55	7.83	7.87	8.05	8.0
02/09/2011	0	55	7.83	7.87	8.05	8.0
08/09/2011	6	61	7.86	7.67	7.88	7.5
12/09/2011	4	65	8.00	7.84	8.02	7.9
13/09/2011	1	66	7.85	7.62	7.83	7.6
14/09/2011	1	67	7.20	7.20	7.78	7.4
15/09/2011	1	68	7.43	7.37	7.94	7.5
16/09/2011	1	69	7.88	7.33	7.34	7.2
19/09/2011	3	72	7.23	7.17	7.64	7.2
20/09/2011	1	73	7.54	7.51	7.67	7.4
24/09/2011	4	77	7.31	7.20	7.61	7.4
27/09/2011	3	80	7.21	7.29	7.43	7.3
28/09/2011	1	81	7.52	7.47	7.18	7.3
29/09/2011	1	82	7.89	7.37	7.45	7.6
30/09/2011	1	83	7.35	7.33	7.54	7.3
03/10/2011	3	86	7.13	7.81	7.79	7.8
04/10/2011	1	87	7.48	7.57	7.70	7.5
07/10/2011	3	90	7.36	7.43	7.47	7.5
11/10/2011	4	94	7.31	7.15	6.59	6.3
12/10/2011	1	95	7.49	7.42	7.52	7.5
13/10/2011	1	96	7.51	7.59	7.46	7.6
18/10/2011	5	101	7.55	7.52	7.54	7.5
28/10/2011	10	111	7.55	7.74	7.72	7.2
03/11/2011	6	117	7.46	7.54	7.63	7.6
04/11/2011	1	118	7.86	7.82	7.93	8.8
08/11/2011	4	122	7.66	7.61	8.01	7.9
10/11/2011	2	124	7.79	7.64	7.44	6.8
11/11/2011	1	125	7.85	7.85	8.00	7.8
16/11/2011	5	130	7.71	7.95	8.16	8.1
28/11/2011	12	142	7.68	7.82	7.83	7.6
28/11/2011	0	142	7.68	7.82	7.83	7.6
29/11/2011	1	143	7.65	8.03	8.08	7.8
29/11/2011	0	143	7.85	8.03	8.08	7.8

01/12/2011	2	145	8.14	8.17	8.32	7.70
02/12/2011	1	146	7.95	8.08	7.97	7.71
03/12/2011	1	147	7.15	7.38	7.52	7.50
05/12/2011	2	149	7.56	7.60	7.58	7.46
06/12/2011	1	150	7.91	7.86	7.49	6.55
06/12/2011	0	150	7.40	7.35	7.52	7.37
09/12/2011	3	153	8.25	7.53	7.21	6.35
09/12/2011	0	153	8.25	7.56	7.21	6.35
13/12/2011	4	157	8.21	8.10	8.07	7.98
15/12/2011	2	159	7.96	7.14	7.43	7.29
16/12/2011	1	160	8.26	8.02	8.11	7.28
19/12/2011	3	163	8.17	7.77	7.77	7.82
20/12/2011	1	164	7.40	7.79	7.55	7.85
21/12/2011	1	165	7.46	7.61	7.88	7.88
22/12/2011	1	166	7.45	7.56	7.26	6.39
23/12/2011	1	167	7.80	7.78	7.99	7.79
27/12/2011	4	171	7.93	7.69	7.57	7.55
27/12/2011	0	171	7.93	7.69	7.57	7.55
28/12/2011	1	172	7.81	7.60	7.71	7.50
29/12/2011	1	173	7.24	7.29	7.15	6.43
30/12/2011	1	174	7.30	7.31	7.55	7.07
04/01/2012	5	179	7.28	7.26	7.50	7.38
05/01/2012	1	180	7.61	7.10	6.53	5.73
11/01/2012	6	186	7.39	7.61	7.66	7.39
12/01/2012	1	187	7.27	7.42	7.58	7.31
15/01/2012	3	190	7.17	7.11	7.10	7.00
17/01/2012	2	192	7.60	7.40	7.36	6.93
17/01/2012	0	192	7.12	7.05	7.15	6.49
18/01/2012	1	193	7.26	7.20	7.31	7.20
19/01/2012	1	194	7.26	7.24	7.27	6.86
19/01/2012	0	194	7.69	7.41	7.81	7.54
20/01/2012	1	195	7.23	6.93	6.55	6.59
23/01/2012	3	198	7.47	6.17	6.00	5.60
24/01/2012	1	199	7.60	7.40	7.60	7.00
24/01/2012	0	199	7.00	7.15	7.20	7.40
24/01/2012	0	199	7.17	7.43	7.68	6.95
25/01/2012	1	200	7.35	7.18	7.14	6.87
25/01/2012	0	200	7.38	7.44	7.70	7.57
26/01/2012	1	201	7.65	7.46	7.55	7.00
26/01/2012	0	201	7.69	7.80	7.56	6.86
30/01/2012	4	205	7.60	7.41	7.06	7.25
06/02/2012	7	212	7.03	7.29	7.48	7.13
06/02/2012	0	212	6.98	7.24	7.82	7.60
07/02/2012	1	213	6.89	7.18	7.74	7.21
07/02/2012	0	213	7.23	7.52	7.83	7.46
08/02/2012	1	214	7.68	7.72	7.91	7.30
08/02/2012	0	214	7.69	7.68	7.87	7.18
09/02/2012	1	215	7.11	7.35	7.56	6.95
10/02/2012	1	216	7.54	7.36	7.63	7.19
15/02/2012	5	221	6.95	7.37	7.69	7.12
15/02/2012	0	221	7.10	7.44	7.74	7.46
16/02/2012	1	222	7.34	7.65	7.75	7.56
17/02/2012	1	223	7.64	7.75	7.49	6.67
17/02/2012	0	223	6.93	7.05	7.57	6.68
20/02/2012	3	226	7.33	7.59	7.79	7.28
20/02/2012	0	226	7.19	7.51	7.78	7.24
21/02/2012	1	227	7.22	7.39	7.64	7.19
21/02/2012	0	227	6.50	7.03	7.53	7.45
22/02/2012	1	228	7.52	7.79	7.61	6.95
22/02/2012	0	228	7.44	7.78	7.55	7.15
23/02/2012	1	229	7.56	7.24	6.63	6.61
24/02/2012	1	230	7.41	7.56	7.37	6.63
24/02/2012	0	230	7.60	7.78	7.48	6.77
27/02/2012	3	233	7.50	7.78	7.37	5.98
29/02/2012	2	235	7.14	7.37	7.64	7.47
29/02/2012	0	235	6.96	7.53	7.71	7.45
01/03/2012	1	236	7.30	7.71	7.15	6.56
02/03/2012	1	237	7.53	7.88	7.69	7.19

CONDUCTIVIDAD

CONDUCTIV	DIAS	DIAS ACUMU	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
			Efluente UASB	Mezcla	DHS1	Salida sedim.
08/07/2011	1	1				
25/07/2011	17	18				
07/08/2011	13	31				
07/08/2011	0	31				
07/08/2011	0	31				
08/08/2011	1	32				
08/08/2011	0	32				
09/08/2011	1	33				
09/08/2011	0	33				
10/08/2011	1	34				
10/08/2011	0	34				
11/08/2011	1	35				
12/08/2011	1	36				
12/08/2011	0	36				
15/08/2011	3	39				
16/08/2011	1	40				
16/08/2011	0	40				
17/08/2011	1	41				
17/08/2011	0	41				
19/08/2011	2	43				
22/08/2011	3	46				
22/08/2011	0	46				
23/08/2011	1	47				
24/08/2011	1	48				
24/08/2011	0	48				
25/08/2011	1	49				
25/08/2011	0	49				
26/08/2011	1	50				
29/08/2011	3	53				
29/08/2011	0	53				
02/09/2011	4	57				
02/09/2011	0	57				
08/09/2011	6	63				
12/09/2011	4	67				
13/09/2011	1	68	1280	1240	1100	110
14/09/2011	1	69	1250	1210	1130	115
15/09/2011	1	70	1200	1190	1140	101
16/09/2011	1	71	1110	1060	1010	103
19/09/2011	3	74	1242	1162	1056	106
20/09/2011	1	75				
24/09/2011	4	79	940	830	980	90
27/09/2011	3	82	1081	973	911	108
28/09/2011	1	83	1080	940	890	86
29/09/2011	1	84	860	720	700	84
30/09/2011	1	85	1060	1010	980	89
03/10/2011	3	88	1094	1072	1104	113
04/10/2011	1	89				
07/10/2011	3	92	1131	1014	1011	99
11/10/2011	4	96	1020	911	911	89
12/10/2011	1	97	891	885	883	82
13/10/2011	1	98	1023	983	876	84
18/10/2011	5	103	1102.00	1061.00	1031.00	964.0
28/10/2011	10	113	1312	1041	1041	123
03/11/2011	6	119	1168	1091	1060	109
04/11/2011	1	120	950	1029	821	89
08/11/2011	4	124	1143	1070	976	96
10/11/2011	2	126	964	1039	889	97
11/11/2011	1	127	852	811	774	80
16/11/2011	5	132	981	1061	1021	104
28/11/2011	12	144	1384	1251	1181	126
28/11/2011	0	144	1384.00	1251.00	1181.00	1261.0
29/11/2011	1	145	1020	950	880	90
29/11/2011	0	145	1020.00	950.00	880.00	905.0

01/12/2011	2	147	1351	1374	1311	1140
02/12/2011	1	148	1380	1370	1302	1216
03/12/2011	1	149	1240	1025	992	1030
05/12/2011	2	151	1425.00	1286.00	1222.00	1311.00
06/12/2011	1	152	1321	1275	1124	1150
06/12/2011	0	152	969	926	750	648
09/12/2011	3	155	1439.00	1163.00	1121.00	1214.00
09/12/2011	0	155	1439	1161	1121	1204
13/12/2011	4	159	984	851	795	871
15/12/2011	2	161	985	710	845	828
16/12/2011	1	162	1075.00	1042.00	921.00	880.00
19/12/2011	3	165	1211.00	1021.00	991.00	971.00
20/12/2011	1	166	1270	1012	1065	1080
21/12/2011	1	167	1321	1041	1089	1164
22/12/2011	1	168	1250.00	1130.00	1011.00	1111.00
23/12/2011	1	169	1231	1090	1050	1086
27/12/2011	4	173	1300	1281	1232	1216
27/12/2011	0	173	1300	1281	1232	1210
28/12/2011	1	174	1365	1311	1250	1222
29/12/2011	1	175	1331	1170	1136	1131
30/12/2011	1	176	1270	1264	1198	1011
04/01/2012	5	181	1274	1139	1116	1044
05/01/2012	1	182	602	554	515	495
11/01/2012	6	188				
12/01/2012	1	189				
15/01/2012	3	192				
17/01/2012	2	194				
17/01/2012	0	194				
18/01/2012	1	195				
19/01/2012	1	196				
19/01/2012	0	196				
20/01/2012	1	197				
23/01/2012	3	200				
24/01/2012	1	201				
24/01/2012	0	201	1195	1293	1244	1096
24/01/2012	0	201	1210	1109	1081	1080
25/01/2012	1	202	1113	941	886	1062
25/01/2012	0	202	1217	1104	1052	1039
26/01/2012	1	203	1138	947	1048	1051
26/01/2012	0	203	1205	1188	1251	985
30/01/2012	4	207	1200	981	1035	1039
06/02/2012	7	214	976	931	856	721
06/02/2012	0	214	1141	1030	1017	1047
07/02/2012	1	215	1295	1080	1028	1953
07/02/2012	0	215	1177	1056	1000	1130
08/02/2012	1	216	1394	1142	1011	1019
08/02/2012	0	216	1212	1115	1013	992
09/02/2012	1	217	939	880	853	801
10/02/2012	1	218	875	842	762	756
15/02/2012	5	223	695	802	585	558
15/02/2012	0	223	1273	959	1096	835
16/02/2012	1	224	1033	921	1051	950
17/02/2012	1	225	1089	1027	964	883
17/02/2012	0	225	860	805	821	810
20/02/2012	3	228	1249	1085	1062	959
20/02/2012	0	228	1125	826	1201	1074
21/02/2012	1	229	1273	1196	1154	1115
21/02/2012	0	229	1318	1181	1153	1058
22/02/2012	1	230	1293	1110	1126	1075
22/02/2012	0	230	1267	1124	1136	1079
23/02/2012	1	231	645	528	695	539
24/02/2012	1	232	1004	881	766	709
24/02/2012	0	232	876	867	760	916
27/02/2012	3	235	891	921	769	720
29/02/2012	2	237	1116	904	977	888
29/02/2012	0	237	1117	926	871	926
01/03/2012	1	238	1029	1059	964	878
02/03/2012	1	239	876	1085	875	890

TURBIDEZ

Turbidez	DIAS	DIAS ACUMU	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
			Efluente UASB	Mezcla	DHS1	Salida sedim
08/07/2011	1	1				
25/07/2011	17	16	85	65	50	5
07/08/2011	13	29	205	86	13	1
07/08/2011	0	29	205	86	13	1
07/08/2011	0	29	205	86	13	1
08/08/2011	1	30	127	83	35	2
08/08/2011	0	30	106	53	41	1
09/08/2011	1	31	89	37	9	
09/08/2011	0	31	73	57	21	1
10/08/2011	1	32	66	65	18	
10/08/2011	0	32	111	57	34	2
11/08/2011	1	33	104	45	25	1
12/08/2011	1	34	72	60	71	3
12/08/2011	0	34	59	47	35	1
15/08/2011	3	37	52	32	55	5
16/08/2011	1	38	141	94	91	5
16/08/2011	0	38	163	81	76	3
17/08/2011	1	39	97	51	40	1
17/08/2011	0	39	113	86	70	4
19/08/2011	2	41	193	81	26	1
22/08/2011	3	44	312	55	6	
22/08/2011	0	44	127	150	106	10
23/08/2011	1	45	125	147	74	5
24/08/2011	1	46	162	100	39	1
24/08/2011	0	46	106	53	41	1
25/08/2011	1	47	175	181	50	11
25/08/2011	0	47	175	181	50	11
26/08/2011	1	48	197	179	108	6
29/08/2011	3	51	115	84	49	3
29/08/2011	0	51	115	84	49	3
02/09/2011	4	55	137	65	22	1
02/09/2011	0	55	137	65	22	1
08/09/2011	6	61	172	147	14	1
12/09/2011	4	65	127	83	35	2
13/09/2011	1	66	110	52	23	1
14/09/2011	1	67	132	76	20	2
15/09/2011	1	68	130	126	24	2
16/09/2011	1	69	192	72	26	2
19/09/2011	3	72	153	170	12	1
20/09/2011	1	73	99	82	17	
24/09/2011	4	77	178	146	39	
27/09/2011	3	80	188	68	11	
28/09/2011	1	81	114	19	10	1
29/09/2011	1	82	246	17	11	1
30/09/2011	1	83	175	139	23	1
03/10/2011	3	86	149	99	70	7
04/10/2011	1	87	222	99	51	4
07/10/2011	3	90	122	59	70	1
11/10/2011	4	94	128	79	24	1
12/10/2011	1	95	208	87	28	1
13/10/2011	1	96	133	128	26	1
18/10/2011	5	101	105	94	40	3
28/10/2011	10	111	174	206	57	1
03/11/2011	6	117	211	96	29	1
04/11/2011	1	118	122	49	22	
08/11/2011	4	122	151	48	16	1
10/11/2011	2	124	139	94	23	1
11/11/2011	1	125	157	79	23	
16/11/2011	5	130	129	86	38	
28/11/2011	12	142	146	46	14	
28/11/2011	0	142	146	46	14	
29/11/2011	1	143	164	75	19	
29/11/2011	0	143	164	75	19	

01/12/2011	2	145	127	113	14	5
02/12/2011	1	146	140	95	31	9
03/12/2011	1	147	119	62	27	11
05/12/2011	2	149	188	72	15	12
06/12/2011	1	150	167	144	12	6
06/12/2011	0	150	88	43	14	7
09/12/2011	3	153	78	25	7	6
09/12/2011	0	153	78	25	7	6
13/12/2011	4	157	160	39	10	5
15/12/2011	2	159	117	5	9	6
16/12/2011	1	160	126	83	13	7
19/12/2011	3	163	99	37	11	8
20/12/2011	1	164	136	17	39	13
21/12/2011	1	165	179	46	32	19
22/12/2011	1	166	127	122	17	10
23/12/2011	1	167	115	66	14	6
27/12/2011	4	171	108	46	50	10
27/12/2011	0	171	108	46	5	10
28/12/2011	1	172	73	62	24	10
29/12/2011	1	173	124	68	15	8
30/12/2011	1	174	219	129	17	12
04/01/2012	5	179	116	49	26	7
05/01/2012	1	180	89	44	8	6
11/01/2012	6	186	123	80	40	10
12/01/2012	1	187	101	41	23	10
15/01/2012	3	190	85	43	10	10
17/01/2012	2	192	132	17	13	9
17/01/2012	0	192	110	60	14	12
18/01/2012	1	193	104	56	21	14
19/01/2012	1	194	70	41	14	11
19/01/2012	0	194	61	42	12	50
20/01/2012	1	195	56	23	9	12
23/01/2012	3	198	36	22	33	16
24/01/2012	1	199	41	31	20	15
24/01/2012	0	199	135	115	68	27
24/01/2012	0	199	129	66	44	33
25/01/2012	1	200	131	36	18	10
25/01/2012	0	200	101	57	26	16
26/01/2012	1	201	107	45	18	12
26/01/2012	0	201	86	90	17	13
30/01/2012	4	205	49	20	25	17
06/02/2012	7	212	189	85	30	12
06/02/2012	0	212	159	117	60	49
07/02/2012	1	213	150	93	30	19
07/02/2012	0	213	174	89	35	10
08/02/2012	1	214	290	89	60	9
08/02/2012	0	214	172	119	29	9
09/02/2012	1	215	296	94	110	6
10/02/2012	1	216	536	90	70	8
15/02/2012	5	221	188	243	48	20
15/02/2012	0	221	153	168	48	10
16/02/2012	1	222	213	147	59	10
17/02/2012	1	223	90	88	38	9
17/02/2012	0	223	170	50	21	9
20/02/2012	3	226	115	59	54	8
20/02/2012	0	226	104	94	40	9
21/02/2012	1	227	113	98	11	4
21/02/2012	0	227	110	56	11	7
22/02/2012	1	228	89	115	10	5
22/02/2012	0	228	111	135	21	6
23/02/2012	1	229	207	40	36	6
24/02/2012	1	230	180	168	8	6
24/02/2012	0	230	195	143	10	7
27/02/2012	3	233	47	38	17	7
29/02/2012	2	235	139	81	38	14
29/02/2012	0	235	126	135	29	8
01/03/2012	1	236	126	145	25	7
02/03/2012	1	237	75	101	19	5

OXIGENO DISUELTO

OD	DIAS	DIAS ACUM	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
			Efluente	Mezcla	DHS1	Salida sedim
08/07/2011	1	1				
25/07/2011	17	18	3.65	3.16	6.07	6.0
07/08/2011	13	31	1.29	4.14	4.77	5.1
07/08/2011	0	31	1.29	4.14	4.77	5.1
07/08/2011	0	31	1.29	4.14	4.77	5.1
08/08/2011	1	32	4.25	5.53	6.53	6.1
09/08/2011	1	33	2.79	7.56	8.75	9.0
10/08/2011	1	34	5.73	7.18	8.57	8.8
11/08/2011	1	35	4.84	7.33	8.43	8.5
12/08/2011	1	36	6.83	7.46	7.73	7.9
15/08/2011	3	39	5.81	6.75	7.94	8.2
16/08/2011	1	40	8.91	8.2	8.18	8.1
17/08/2011	1	41	5.44	7.04	7.57	7.6
19/08/2011	2	43	6.25	6.53	8.5	8.5
22/08/2011	3	46	3.19	6.44	7.68	7.5
22/08/2011	0	46	6.31	5.92	7.2	7.3
23/08/2011	1	47	4.63	5.59	6.96	6.5
24/08/2011	1	48	5.12	6.23	6.37	5.7
24/08/2011	0	48	4.25	5.53	6.53	6.1
25/08/2011	1	49				
25/08/2011	0	49				
26/08/2011	1	50				
29/08/2011	3	53				
29/08/2011	0	53				
02/09/2011	4	57				
02/09/2011	0	57				
08/09/2011	6	63				
12/09/2011	4	67				
13/09/2011	1	68				
14/09/2011	1	69				
15/09/2011	1	70				
16/09/2011	1	71				
19/09/2011	3	74				
20/09/2011	1	75	0.3	0.57	2.64	3.4
24/09/2011	4	79	0.82	1.92	4.57	5.0
27/09/2011	3	82	0.65	2.44	2.66	3.4
28/09/2011	1	83	1.3	2.62	3.7	3.7
29/09/2011	1	84	0.93	3.2	3.07	3.7
30/09/2011	1	85	0.76	1.38	2.56	3.5
03/10/2011	3	88	0.35	2.48	2.32	3.5
04/10/2011	1	89	0.3	1.61	1.87	4.0
07/10/2011	3	92	0.28	0.7	0.7	3.1
11/10/2011	4	96	0.35	3.36	3.61	3.9
12/10/2011	1	97	0.43	0.41	3.04	4.1
13/10/2011	1	98	0.31	0.32	2.35	4.2
18/10/2011	5	103	0.17	0.25	2.77	3.9
28/10/2011	10	113	0.22	0.74	2.52	3.0
03/11/2011	6	119	0.12	1.36	2.06	2.9
04/11/2011	1	120	0.34	1.78	3.25	3.4
08/11/2011	4	124	0.25	1.9	1.31	3.7
10/11/2011	2	126	0.5	0.54	2.66	3.3
11/11/2011	1	127	0.3	0.89	2.61	3.2
16/11/2011	5	132	0.62	1.34	2.07	3.3
28/11/2011	12	144	0.17	1.69	1.98	2.7
28/11/2011	0	144	0.17	1.69	1.98	2.7
29/11/2011	1	145	0.2	0.68	2.25	2.8
29/11/2011	0	145	0.20	0.68	2.15	2.8
01/12/2011	2	147	1.16	0.38	3.21	3.4
02/12/2011	1	148	0.16	0.2	1.98	2.6
03/12/2011	1	149	0.22	0.95	4.16	4.1
05/12/2011	2	151	0.15	1.55	3.03	3.4
06/12/2011	1	152	0.24	0.25	5.99	6.6
06/12/2011	0	152	0.2	0.24	3.65	4.4

09/12/2011	3	155	0.24	1.93	4.56	5.24
09/12/2011	0	155	0.24	1.93	4.56	5.24
13/12/2011	4	159	0.29	3.75	3.89	4.09
15/12/2011	2	161	0.34	4.65	3.95	4.86
16/12/2011	1	162	0.21	0.49	3.46	4.94
19/12/2011	3	165	0.20	0.32	3.79	4.54
20/12/2011	1	166	1.08	2.3	2.53	3.6
21/12/2011	1	167	0.22	2.21	2.98	2.98
22/12/2011	1	168	0.24	0.39	2.99	5.15
23/12/2011	1	169	0.23	0.45	4.15	4.01
27/12/2011	4	173	0.26	1.59	4.61	4.15
27/12/2011	0	173	0.26	1.59	4.61	4.15
28/12/2011	1	174	2.07	3.2	5.4	6.89
29/12/2011	1	175	0.21	0.26	3.25	5.32
30/12/2011	1	176	0.23	0.28	3.08	5.47
04/01/2012	5	181	0.2	0.22	3.42	4.09
05/01/2012	1	182	0.19	0.82	3.94	5
11/01/2012	6	188	0.22	2.01	5.13	5.58
12/01/2012	1	189	0.29	3.93	5.22	5.62
15/01/2012	3	192	0.19	0.62	3.7	4.56
17/01/2012	2	194	0.75	2	5.11	5.03
17/01/2012	0	194	0.22	1.68	4.14	3.85
18/01/2012	1	195	0.21	2.04	4.43	5.29
19/01/2012	1	196	0.34	2.27	4.56	5.79
19/01/2012	0	196	0.21	0.29	3.1	3.53
20/01/2012	1	197	0.21	3.06	4.14	4.72
23/01/2012	3	200	0.21	3.6	4.84	5.84
24/01/2012	1	201	0.24	1.5	4.22	4.54
24/01/2012	0	201	0.67	1.06	2.74	4.4
24/01/2012	0	201	0.33	1.97	3.79	3.58
25/01/2012	1	202	0.21	3.48	4.64	5.6
25/01/2012	0	202	0.22	0.87	3.82	3.74
26/01/2012	1	203	0.22	3.22	4.73	4.62
26/01/2012	0	203	3.31	4.07	3.91	3.73
30/01/2012	4	207	0.2	5.31	4.46	5.84
06/02/2012	7	214	0.32	2.01	4.51	3.81
06/02/2012	0	214	0.21	0.21	3.49	2.04
07/02/2012	1	215	0.32	0.96	3.84	3
07/02/2012	0	215	0.2	1.57	3.77	1.22
08/02/2012	1	216	0.32	3.32	5.17	5.23
08/02/2012	0	216	0.19	0.2	3.89	3.13
09/02/2012	1	217	1.03	2.76	3.92	3.54
10/02/2012	1	218	0.68	2.62	4.63	3.36
15/02/2012	5	223	0.2	1.23	5.02	5.15
15/02/2012	0	223	0.64	0.74	2.98	3.09
16/02/2012	1	224	2.96	3.08	4.47	5.35
17/02/2012	1	225	2.4	3.62	4.45	4.29
17/02/2012	0	225	1.74	0.81	7.34	7.12
20/02/2012	3	228	0.2	3.05	4.21	3.68
20/02/2012	0	228	1.27	0.18	3.73	3.55
21/02/2012	1	229	0.21	0.26	4.42	3.04
21/02/2012	0	229	0.21	2.01	4.81	3.44
22/02/2012	1	230	0.21	0.21	4.19	3.48
22/02/2012	0	230	0.21	0.24	4.44	3.46
23/02/2012	1	231	2.29	3.44	4.61	4.66
24/02/2012	1	232	0.22	0.25	4.44	3.4
24/02/2012	0	232	0.2	1.7	4.78	3.22
27/02/2012	3	235	0.29	3.18	6.09	4.48
29/02/2012	2	237	0.39	1.4	4.37	3.1
29/02/2012	0	237	0.21	0.2	3.98	3.33
01/03/2012	1	238	0.35	2.15	5.31	3.4
02/03/2012	1	239	0.29	2.17	3.97	3.5

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

				Dias acumulados			DQO SOLUBLE	DQO NO SOLUBLE	DQO TOTAL
07/08/2011	08/07/2011	SEMANA 1	0	0	0				
25/7/2011	25/07/2011	SEMANA 3	17	17	17	A			143
						B			124
						C			94
						D			98
16/8/2011	16/08/2011	SEMANA 6	22.00	39.00	39	A			130
						B			104
						C			75
						D			77
19/8/2011	19/08/2011	SEMANA 7	3.00	42.00	42	A	89	0	89
						B	55	17	72
						C	382	19	401
						D	375	7	382
24/9/2011	24/09/2011	SEMANA 12	36.00	78.00	78	A			165
						B			165
						C			85
						D			102
29/9/2011	29/09/2011	SEMANA 13	5.00	83.00	83	A			276
						B			104
						C			210
						D			530
14/10/2011	14/10/2011	SEMANA 15	15.00	98.00	98	A			262
						B			190
						C			180
						D			50
11/04/2011	04/11/2011	SEMANA 17	21.00	119.00	119	A			54
						B			46
						C			10
						D			23
11/10/2011	10/11/2011	SEMANA 18	6.00	125.00	125	A			42
						B			118
						C			56
						D			32
16/11/2011	16/11/2011	SEMANA 19	6.00	131.00	131	A			190
						B			114
						C			56
						D			56
12/09/2011	09/12/2011	SEMANA 22	23.00	154.00	154	A	122	100	222
						B	62	50	112
						C	54	-9	45
						D	54	33	87
14/12/2011	14/12/2011	SEMANA 23	5.00	159.00	159	A	105	-3	102
						B	61	-5	56
						C	24	74	98
						D	66	-9	57
23/12/2011	23/12/2011	SEMANA 24	9.00	168.00	168	A	161	52	213
						B	107	35	142
						C	47	4	51
						D	37	12	49
27/12/2011	27/12/2011	SEMANA 25	4.00	172.00	172	A	91	12	103
						B	72	38	110
						C	45	8	53
						D	47	-12	35
01/06/2012	06/01/2012	SEMANA 27	10.00	182.00	182	A	83	90	173
						B	72	4	76
						C	41	-3	38
						D	31	2	33
02/07/2012	07/02/2012	SEMANA 31	32.00	214.00	214	A	128	158	286
						B	78	56	134
						C	43	36	79
						D	35	0	35
15/2/2012	15/02/2012	SEMANA 32	8.00	222.00	222	A	123	151	274
						B	58	156	214
						C	33	51	84
						D	33	0	33
21/2/2012	21/02/2012	SEMANA 33	6.00	228.00	228	A	82	82	164
						B	48	60	108
						C	45	14	59
						D	34	5	39
29/2/2012	29/02/2012	SEMANA 34	8.00	236.00	236	A	112	76	188
						B	78	42	120
						C	49	16	65
						D	37	1	38

Se descartan valores negativos por errores de procedimiento y se obtiene el siguiente depurado:

Días acumulados		DQO Soluble	DQO No soluble
42	A	89	0
	B	55	17
	C	382	19
	D	375	7
154	A	122	100
	B	62	50
	C	54	0
	D	54	33
159	A	105	0
	B	61	0
	C	24	74
	D	66	0
168	A	161	52
	B	107	35
	C	47	4
	D	37	12
172	A	91	12
	B	72	38
	C	45	8
	D	47	0
182	A	83	90
	B	72	4
	C	41	0
	D	31	2
214	A	128	158
	B	78	56
	C	43	36
	D	35	0
222	A	123	151
	B	58	156
	C	33	51
	D	33	0
228	A	82	82
	B	48	60
	C	45	14
	D	34	5
236	A	112	76
	B	78	42
	C	49	16
	D	37	1

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

DBO								
inicio	08/07/2011							
días transcurridos	81							
DBO	Días transcurridos	Días acumulados	A-Efluente UASB	B-Mezcla	C-Salida DHS1	D-Salida Sedimentador	Días acumulados	% DE REMOCION
27/09/2011	81	81	88.24	54.32	13.58	7.76	81	91.21
28/12/2011	92	173	140.33	58.45	12.9	2.1	173	98.50
02/01/2012	5	178	75.89	54.64	27.15	2.4	178	96.84
24/01/2012	22	200	137.62	51.85	24.77	9.14	200	93.36
10/02/2012	17	217	115.5	44.66	25.01	9.86	217	91.46
21/02/2012	11	228	63.39	37.94	20.59	6.66	228	89.49
27/02/2012	6	234	169.44	40.64	19.86	5.28	234	96.88
05/03/2012	7	241	69.04	37.85	19.49	6.17	241	83.70
PROM % REMOCION								92.68

CALCULOS DE PROMEDIOS Y DESVIACIONES STANDARD

	A	B	C	D
	137.62	51.85	24.77	9.14
	115.5	44.66	25.01	9.86
	63.39	37.94	20.59	6.66
	169.44	40.64	19.86	5.28
media	124.94	43.7725	22.5575	7.735
DS	34	6.051563847	2.711547836	2.13481459

Media Geométrica Punto A:

106.05 class	rangos	x	f	x^2	xf	(x^2)*f
35.33333333	1 63-98.33		80.665	1	6506.842225	80.665
	2 98.33-133.66		115.995	1	13454.84003	115.995
	3 133.66-169.444		151.552	2	22968.0087	303.104
Totales				4	499.764	65897.69966
Prom geom A=		124.941				
s^2 =		1152.228578				
s=		33.9444926				

Tasa de Remoción de DBO a la salida de la Primera y la Segunda Columna

Días acumulados	A-Efluente UASB	B-Mezcla	C-Salida DHS1	D-Salida Sedimentador	Tasa Efluente DHS1/Efluente UASB	Tasa Efluente DHS2/Efluente UASB
81	88.24	54.32	13.58	7.76	0.153898459	0.087941976
173	140.33	58.45	12.9	2.1	0.091926174	0.014964726
178	75.89	54.64	27.15	2.4	0.357754645	0.03162472
200	137.62	51.85	24.77	9.14	0.179988374	0.066414765
217	115.5	44.66	25.01	9.86	0.216536797	0.085367965
228	63.39	37.94	20.59	6.66	0.32481464	0.10506389
234	169.44	40.64	19.86	5.28	0.117209632	0.031161473
241	69.04	37.85	19.49	6.17	0.282300116	0.089368482

NITROGENO

NITRITOS										
Unidad: mg/l NO ₂ -N										
			CON NITRIVER				TIRA COLORIMETRICA			
FECHA	SEMANA	DIAS ACUM.	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D
12/06/2011	SEM 22	151	3	3	2	1	0	5	10	10
13/12/11	SEM 23	158	3	3	1	2	0	5	7	10
20/12/11	SEM 24	165	4	2	2	2	0	5	3	10
27/12/11	SEM 25	172	4	3	4	10	0	5	18	25
3/2/12	SEM 26	179	3	3	2	2	0	5	4	10
7/2/12	SEM 31	214	6	4	3	4				
15/2/12	SEM 32	222	5	7	2	3				
21/2/12	SEM 33	228	6	5	1	3				
29/2/12	SEM 34	236	6	4	2	1				
	PROM		6	5	2	3				
	DS		1	1	1	1				
NITRATOS										
Unidad: mg/l NO ₃ -N										
			CON NITRAVER				TIRA COLORIMETRICA			
FECHA	SEMANA	DIAS ACUM.	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D	A	B	C	D
12/06/2011	SEM 22	151	0	11	33	40	0	11	33	40
13/12/11	SEM 23	158	0	23	23	38	0	23	23	38
20/12/11	SEM 24	165	0	10	3.3	11	0	10	3.3	11
27/12/11	SEM 25	172	0	11	23	113	0	11	23	113
3/2/12	SEM 26	179	0	17	8	23	0	17	8	23
7/2/12	SEM 31	214	8.9	14.9	4.6	18				
15/2/12	SEM 32	222	8.6	34.4	18	68.1				
21/2/12	SEM 33	228	14.4	28.1	16.6	92.7				
29/2/12	SEM 34	236	8.2	9.8	3.6	6				
	PROM		10	22	11	46				
	DS		3	11	8	41				
AMONIACO										
Unidad: mg/l NH ₃ -N										
			CON VIALES							
FECHA	SEMANA	DIAS ACUM.	A	B	C	D				
3/2/12	SEM 26	179	44	37	26	24				
7/2/12	SEM 31	214	54	29	27	23				
15/2/12	SEM 32	222	46	46		8				
21/2/12	SEM 33	228	55	47	31	24				
29/2/12	SEM 34	236	33	25	16	15				
	PROM		47	37	25	18				
	DS		10	11	8	8				

COLIFORMES FECALES

datos	A(10-4)	A(10-5)	B(10-3)	B(10-4)	B(10-5)	C(10-2)	C (10-3)	C (10-4)	D(10-0)	D (10-1)
12/08/2011							15	1		
02/09/2011	37		114	21			27	26		20
23/09/2011	600	93	76	0			23	2	35	12
14/10/2011	48	5	57	2			85	7	300	200
15/12/2011	960	27		149	11		140	19		31
30/12/2011	97	73		70	16	280	76		15	11
02/01/2012	79	36		59	15	576	59		70	36
06/01/2012	253	74		8	45	350	41		270	2
08/02/2012	11	5		202	3	160	70		100	170
16/02/2012	14	6		101	3	175	274		***	145
27/02/2012	4	1		4	0	360	38		184	30
02/03/2012	55	3		58	4	345	34		445	48
vol m orig filtr	1.00E-04	1.00E-05	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-05	1.00E-02	1.00E-03	1.00E-04	1	1.00E-01

Criterios de selección de datos:

Todas las placas con menos de 25 uf Efectuar el registro como: $< 25 \times 1/d$; donde d es la primera dilución

Todas las placas con mas de 250 ufc

Menos de 100 colonias /cm²

Reportar como: $> \text{Número de colonias} \times 1/\text{la mayor dilución} \times \text{área de la placa}$

Mas de 100 colonias/cm²

Reportar como: $> 100 \times 1/\text{la mayor dilución} \times \text{área de la placa}$

Placas que contengan entre 25 – 250 colonias

$$N = \frac{\sum C}{[(1xn_1) + (0,1xn_2)] \times d}$$

N = Número de colonia por ml o gramo del producto

$\sum C$ es suma de todas las colonias en todas las placas contadas

n1= número de placas en la primera dilución contada

n2= número de placas en la segunda dilución contada

Area de pad= 18.09562 cm²

D=4.8cm

d = dilución de la cual se obtuvo los primeros recuentos

Area de placa= 19.635 m²

D=5cm

TABLA 1

1 ml de muestra

coli(ufc/100m	días	acum	A	B	C	D	Días Acum	Eficiencia
12/08/2011	1	35			<2.5E+6		35	
02/09/2011	21	56	3.70E+07	1.14E+07	4.80E+06	<2.5E+4	56	
23/09/2011	21	77	9.30E+06	7.60E+06	<2.5E+6	<2.5E+3	77	
14/10/2011	21	98	4.80E+07	5.70E+06	8.50E+06	2.00E+05	98	
15/12/2011	62	160	2.70E+08	1.49E+08	1.40E+07	3.10E+04	160	
30/12/2011	15	175	1.55E+07	7.00E+07	7.6E+6.	<2.5E+3	175	
02/01/2012	3	178	1.05E+08	5.90E+07	5.90E+06	9.64E+03	178	
06/01/2012	4	182	7.40E+08	4.50E+08	4.10E+06	>2.7E+4	182	
08/02/2012	33	215	<2.5E+7	2.02E+08	2.09E+06	2.45E+04	215	
16/02/2012	8	223	<2.5E+7	1.01E+08	1.75E+06	1.45E+05	223	
27/02/2012	11	234	<2.5E+7	<2.5E+7	3.80E+06	1.94E+04	234	
02/03/2012	4	238	5.50E+07	5.80E+07	3.40E+06	4.80E+04	238	

TABLA 2			VALORES DE LA TABLA 2 SON 1/100 DE LA TABLA 1						
100ml de muestra									
coli(ufc/100m)	días	acum	A	B	C	D	Días Acum	Eficiencia	
12/08/2011	1	35			<2.5E+4		35		
02/09/2011	21	56	3.70E+05	1.14E+05	4.80E+04	<2.5E+2	56		
23/09/2011	21	77	9.30E+04	7.60E+04	<2.5E+4	<2.5E+1	77		
14/10/2011	21	98	4.80E+05	5.70E+04	8.50E+04	2.00E+03	98		
15/12/2011	62	160	2.70E+06	1.49E+06	1.40E+05	3.10E+02	160		
30/12/2011	15	175	1.55E+05	7.00E+05	7.60E+04	<2.5E+1	175		
02/01/2012	3	178	1.05E+06	5.90E+05	5.90E+04	9.64E+01	178		
06/01/2012	4	182	7.40E+06	4.50E+06	4.10E+04	>2.7E+2	182		
08/02/2012	33	215	<2.5E+5	2.02E+06	2.09E+04	2.45E+02	215		
16/02/2012	8	223	<2.5E+5	1.01E+06	1.75E+04	1.45E+03	223		
27/02/2012	11	234	<2.5E+5	<2.5E+5	3.80E+04	1.94E+02	234		
02/03/2012	4	238	5.50E+05	5.80E+05	3.40E+04	4.80E+02	238		
VALORES DE LA TABLA 2 SON 1/100 DE LA TABLA 1									
DE LA TABLA 1 Y 2 EXTRAPOLAMOS LINEALMENTE PARA 10ML DE MUESTRA									
m= -0.01			De las tablas anteriores:						
b= 1.01			x=1, y=1; x=100, y=0.01						
			se cumple que:						
			y=-0.01x+1.01						
			si x=10 entonces y= 0.91						
			0						
10ml de muestra									
coli(ufc/100m)	días	acum	A	B	C	D	Días Acum	Eficiencia	
12/08/2011	1	35			<2.5E+6		35		
02/09/2011	21	56	3.37E+07	1.04E+07	4.37E+06	<2.5E+4	56		
23/09/2011	21	77	8.46E+06	6.92E+06	<2.5E+6	<2.5E+3	77		
14/10/2011	21	98	4.37E+07	5.19E+06	7.74E+06	1.82E+05	98		
15/12/2011	62	160	2.46E+08	1.36E+08	1.27E+07	2.82E+04	160		
30/12/2011	15	175	1.41E+07	6.37E+07	6.92E+06	<2.5E+3	175		
02/01/2012	3	178	9.56E+07	5.37E+07	5.37E+06	8.77E+03	178		
06/01/2012	4	182	6.73E+08	4.10E+08	3.73E+06	>2.7E+4	182		
08/02/2012	33	215	<2.5E+7	1.84E+08	1.90E+06	2.23E+04	215		
16/02/2012	8	223	<2.5E+7	9.19E+07	1.59E+06	1.32E+05	223		
27/02/2012	11	234	<2.5E+7	<2.5E+7	3.46E+06	1.77E+04	234		
02/03/2012	4	238	5.01E+07	5.28E+07	3.09E+06	4.37E+04	238		

10ml muestra. Convertimos valores "menor que" al valor base o valor "mas desventajoso" para fines graficos y de interpretacion.

coli(ufc/100m	días	acum	A	B	C	D	Días Acum	Eficiencia			
12/08/2011	1	35			2.28E+06		35				
02/09/2011	21	56	3.37E+07	1.04E+07	4.37E+06	2.28E+04	56	99.93243			
23/09/2011	21	77	8.46E+06	6.92E+06	2.28E+06	2.28E+03	77	99.97312			
14/10/2011	21	98	4.37E+07	5.19E+06	7.74E+06	1.82E+05	98	99.58333			
15/12/2011	62	160	2.46E+08	1.36E+08	1.27E+07	2.82E+04	160	99.98852			
30/12/2011	15	175	1.41E+07	6.37E+07	6.92E+06	2.28E+03	175	99.98382			
02/01/2012	3	178	9.56E+07	5.37E+07	5.37E+06	8.77E+03	178	99.99082			
06/01/2012	4	182	6.73E+08	4.10E+08	3.73E+06	2.46E+04	182	99.99635			
08/02/2012	33	215	2.28E+07	1.84E+08	1.90E+06	2.23E+04	215	99.902			
16/02/2012	8	223	2.28E+07	9.19E+07	1.59E+06	1.32E+05	223	99.42			
27/02/2012	11	234	2.28E+07	2.28E+07	3.46E+06	1.77E+04	234	99.9224			
02/03/2012	4	238	5.01E+07	5.28E+07	3.09E+06	4.37E+04	238	99.91273			

SOLIDOS

Valores en ppm												
	07/08/2011	12/08/2011	01/12/11	20/12/11	27/12/11	03/01/2012	09/01/2012	02/07/2012	09/2/12	21/2/12	29/2/12	
	08/07/2011	09/12/2011	13/12/2011	20/12/2011	27/12/2011	03/01/2012		07/02/2012	15/02/2012	21/02/2012	29/02/2012	
SEMANA	1	22	23	24	25	26		31	32	33	34	
	0	151.00	7.00	7.00	7.00	7.00		35.00	8.00	6.00	8.00	
Días acumulados	0	151.00	158.00	165.00	172.00	179.00		214.00	222.00	228.00	236.00	
Días acumulados	0	151	158	165	172	179		214	222	228	236	
SOLIDOS TOTALES												
A-Efluente UASB		616	512	956	1080	656		564	552	672	536	
B-Punto de mezcla		672	504	760	1220	628		516	556	676	472	
C-Salida DHS1		476	500	612	1316	596		392	484	572	488	
D-Salida Sedimentador		656	524	636	1376	584		512	432	604	516	
SOLIDOS DISUELTOS												
A-Efluente UASB		308	404	572	1080	596		460	500	532	512	
B-Punto de mezcla		488	436	524	1204	548		276	504	544	460	
C-Salida DHS1		456	468	492	1248	572		300	400	488	420	
D-Salida Sedimentador		244	440	516	1184	432		264	432	572	452	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS												
A-Efluente UASB		260	316	516	436	364		352	364	384	424	
B-Punto de mezcla		468	324	352	472	364		276	308	388	372	
C-Salida DHS1		432	392	104	484	348		292	276	340	344	
D-Salida Sedimentador		144	344	288	452	312		264	300	360	368	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES												
A-Efluente UASB		48	88	56	644	232		108	136	148	88	
B-Punto de mezcla		20	112	132	732	184		0	196	156	88	
C-Salida DHS1		24	76	52	764	224		8	124	148	76	
D-Salida Sedimentador		120	96	228	732	120		0	132	212	84	
SOLIDOS SUSPENDIDOS												
A-Efluente UASB		308	108	384	0	60		104	52	140	24	
B-Punto de mezcla		184	68	236	16	80		240	52	132	12	
C-Salida DHS1		20	32	120	68	24		92	84	84	68	
D-Salida Sedimentador		412	84	120	192	152		248	0	32	64	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS												
A-Efluente UASB		4	20	72	16	0		8	12	40	24	
B-Punto de mezcla		40	0	276	16	12		72	52	20	0	
C-Salida DHS1		-128	0	456	0	24		0	36	48	68	
D-Salida Sedimentador		192	12	0	32	80		112	0	32	64	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES												
A-Efluente UASB		304	88	312	0	60		96	40	100	0	
B-Punto de mezcla		144	64	0	0	68		168	0	112	12	
C-Salida DHS1		172	32	0	68	0		92	48	36	0	
D-Salida Sedimentador		364	72	120	160	72		136	0	0	0	
SOLIDOS FIJOS TOTALES												
A-Efluente UASB		264	336	588	452	364		360	376	424	448	
B-Punto de mezcla		508	324	628	488	376		348	360	408	372	
C-Salida DHS1		328	392	560	484	372		292	312	388	412	
D-Salida Sedimentador		436	356	288	484	392		376	300	392	432	
SOLIDOS VOLATILES TOTALES												
A-Efluente UASB		352	176	368	644	292		204	176	248	88	
B-Punto de mezcla		164	176	132	732	252		168	196	268	100	
C-Salida DHS1		148	108	52	832	224		100	172	184	76	
D-Salida Sedimentador		220	168	348	892	192		136	132	212	84	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES												
A-Efluente UASB		540	88	312	-80	88	96	40	100	-32	224.8	prom
B-Punto de mezcla		144	92	-40	-40	68	232	-132	112	40		
C-Salida DHS1		172	64	-336	68	-24	108	48	36	-44		
D-Salida Sedimentador		364	72	212	160	72	156	-28	-32	-4	175.2	
	154		164.5714286			102.6666667 ssv	0.796875			34 ssv	0.39534884	
			0.933333333			144.8888889 ss				86 ssv		

Se descartan valores por errores de procedimiento y se obtiene el siguiente depurado:

Días acumulados		Sólidos Fijos	Sólidos Volátiles	S. Disueltos	S. Suspendidos
151	A	264	352	308	308
	B	508	164	488	184
	C	328	148	456	20
	D	436	220	244	412
158	A	336	176	404	108
	B	324	176	436	68
	C	392	108	468	32
	D	356	168	440	84
165	A	588	368	572	384
	B	628	132	524	236
	C	560	52	492	120
	D	288	348	516	120
172	A	452	644	1080	0
	B	488	732	1204	16
	C	484	832	1248	68
	D	484	892	1184	192
179	A	364	292	596	0
	B	376	252	548	0
	C	372	224	572	0
	D	392	192	432	0
214	A	360	204	460	104
	B	348	168	276	240
	C	292	100	300	92
	D	376	136	264	248
222	A	376	176	500	52
	B	360	196	504	52
	C	312	172	400	84
	D	300	132	432	0
228	A	424	248	532	140
	B	408	268	544	132
	C	388	184	488	84
	D	392	212	572	32
236	A	448	88	512	24
	B	372	100	460	12
	C	412	76	420	68
	D	432	84	452	64

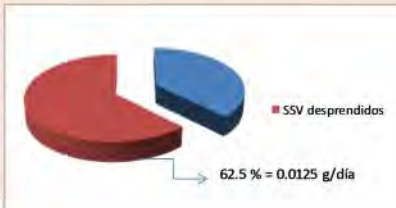
CALCULO DE GENERACION DE SOLIDOS SEDIMENTABLES

Calculo de la generación de Sólidos Sedimentables por el DHS						
Fecha de muestreo	Periodo de acumulación en el sedimentador (días)	Volúmen de sólidos sedim. En Imhoff en 1 hora (en 1 litro)	Volúmen total del recipiente del sedimentador (l)	Volúmen total de sólidos sedim. en el periodo de acumulacion en el sedimentador	Litros discurridos	mL/L
12/09/2011	7	5	1	5	427	0.0117096
24/09/2011	12	5	1	5	732	0.0068306
03-oct	6	6.2	1	6.2	366	0.01693989
15/10/2011	8	7	1	7	488	0.01434426
23/11/2011	14	12	1	12	854	0.01405152
13/12/2011	8	11	1	11	488	0.02254098
20/12/2011	7	20	1	20	427	0.04683841
09/01/2012	7	7.6	1	7.6	427	0.01779859
16/01/12	7	14	1	14	427	0.03278689
23/01/2012	7	20	1	20	427	0.04683841
30/01/12	7	2	10	20	427	0.04683841
06/02/2012	7	3.5	10	35	427	0.08196721
12/02/2012	6	6	10	60	366	0.16393443
19/02/12	7	13	10	130	427	0.30444965
PROM						0.05913349

Sedimentador de 10 lts

Intervalo de medición	Volúmen de SS (ml/l)
05 -12 Set 2011	0.011709602
12-24 Set 2011	0.006830601
27 Set - 3 Oct 2011	0.016939891
07 - 15 Oct 2011	0.014344262
09 - 23 Nov 2011	0.014051522
05-13 Dic 2011	0.022540984
14-20 Dic 2011	0.046838407
02 - 09 Ene 2012	0.017798595
10-16 Ene 2012	0.032786885
17-23 Ene 2012	0.046838407
24-30 Ene 2012	0.046838407
30 Ene - 06 Feb 2012	0.081967213
06 Feb - 12 Feb	0.163934426
12 - 19 Feb 2012	0.304449649

TASA DE GENERACION DE LODOS

TASA DE LODOS GENERADOS POR EL SISTEMA DHS				TASA DE LODOS DESPRENDIDOS DEL SISTEMA DHS			
Pxvss=	Yobs (Q) (So-S)			Tasa Sólidos sedimentados:			
				TSSed =	0.1493 ml/l		
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES				Generación de sólidos sedimentables:			
SSV afl=	111 mg/l			VSSed =	Tssed x Qd		
SSV efl=	103 mg/l			VSSed =	9.24167 ml/día		
Q=	0.06126 m ³ /d			Si D=	1.8 mg/ml		
				PSSed =	16.635006 mg/día Peso de sólidos sedimentados		
SSV afl=	0.00679986 Kg/día=	6.79986 g/d		TI = 0.75 x PSSedim x 10 ⁻³			
SSV efl=	0.00630978 Kg/día=	6.30978 g/d		TI =	1.25E-02 g /día Tasa de desprendimiento de lodos		
g SSV removido por día =	0.49008 g/d						
				SSV generados	0.02 g SSV/día	0.0075	
DQO afl=	228 mg/l			SSV desprendidos	0.0125 g SSV/día	0.0125	
DQO efl=	36 mg/l						
DQO rem=	192 mg/l	=	0.192 g/l				
Por día:	11.76192 g/d	=	gm DQO removido por día				
Calculo de Y:				Fracción de sólidos desprendidos del sistema DHS con respecto al total de sólidos generados			
Y=	g SSV removido por día /g DQO rem por día						
Y=	0.04166667						
Pxvss=	Yobs (Q) (So-S)						
Pxvss=	0.02 g/día						