

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“EVALUACIÓN, DIAGNOSTICO Y MEJORAMIENTO DE LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMESTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE
FLUJO SUBSUPERFICIAL EN EL AAHH OASIS - VILLA EL
SALVADOR”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

GALINDO YAURIS, VÍCTOR

RUIZ VASQUEZ, MARIA MERCEDES

LIMA, PERÚ

2007

DEDICATORIA

*La siguiente Tesis esta dedicada a:
Mis hijos Roberto y Liz Bony , mi esposa,
a mi madre, a mi padre en la etemidad
y mi familia en general. Del mismo modo
a mi compañera de tesis Maria por el
contagante dinamismo y amigos
de la FIA-UNI.*

Victor Galindo Yauris

*A mi madre Zelmira por ser simplemente
maravillosa, a mi padre Maximiliano por
su nobleza, a mis hermanitos Joseph,
Anita y Edson, por ser la alegría de mis
días; a mis queridos tíos Felipe y Emma; y
a mis grandes amigos, Carlos, Ivan y
Victor.*

María Mercedes Ruiz Vásquez

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a todas aquellas personas que nos apoyaron en el largo camino de nuestra investigación, gracias amigos por los consejos, los ánimos y las críticas.

A la ONG. Ecociudad en la persona del Sr. Luís Cortez Leandro, Director Ejecutivo, por la confianza depositada en nosotros al permitimos desarrollar nuestro proyecto de investigación, así mismo a los financiadores del proyecto: Fondo de las Américas-Perú (FONDAM) y a la Fundación AVINA.

A nuestro asesor el Ingeniero Arturo Zapata Payco, Jefe del Laboratorio de Ambiental de la Facultad de Ingeniería Ambiental, por su orientación y correcciones.

Al Ing. Michael Romani Jefe del Laboratorio de Contaminación Ambiental de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Federico Villarreal, por brindarnos las facilidades para el uso del laboratorio y por la orientación y apoyo durante el desarrollo de los parámetros.

Al joven "Moises" poblador del Asentamiento Humano Oasis por su apoyo invaluable durante las faenas nocturnas en la etapa de monitoreo.

A los ingenieros Ruddy Noriega, Guillermo León, Raul Madueño, Carlos Limachi, Vilma Yupanqui, Agustín Custodio, Alfredo Gilberti, Erick Concepción y Nislthson Nureña, a quienes acudimos en algún momento de la realización del estudio y nos brindaron su ayuda incondicional.

A nuestros amigos de la facultad de ingeniería ambiental por el precioso tiempo que compartimos en las aulas.

A nuestras familias por la gran paciencia, apoyo y también por la confianza depositada en nuestro trabajo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está basado en la evaluación de la capacidad depurativa del humedal de flujo subsuperficial ubicado en el A.A.H.H. Oasis de Villa en el distrito de Villa el Salvador, el humedal tiene un área de 81,25 m² y es componente de la planta piloto para el tratamiento de las aguas grises producidas por 66 viviendas⁽¹⁾; la concepción de la obra tuvo el objetivo de generar agua para riego de un área verde de 2680m².

El trabajo de investigación desarrollado consistió principalmente en el monitoreo periódico de la calidad del agua al ingreso y salida del humedal, con la finalidad de determinar su eficiencia.

Tras la realización de 10 campañas de monitoreo en un periodo de 19 meses, se logró una data histórica de los principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos, que permitieron finalmente la caracterización de las aguas así como la determinación de sus parámetros de funcionamiento reales.

Las macrófitas usadas en el humedal fueron los Papyrus, una planta ornamental que se arraiga en un sustrato de granulometría muy uniforme.

Las remociones promedio alcanzadas por el humedal en cuanto a los principales parámetros evaluados son los siguientes: DBO 85%, SST 96,7%, Nitrógeno Total 26,56%, DQO 84%, CF 94,92% y CT 96,89%.

El desempeño del sistema es bastante bueno excepto en la remoción de patógenos, no lográndose alcanzar la calidad esperada para no restringir su uso en el riego de áreas verdes, por esta razón se hace imprescindible la construcción de una unidad para la desinfección del efluente.

Este tipo de humedales se muestra como una tecnología ventajosa, pero debe de realizarse muchos estudios antes de considerar su diseño rutinario.

(1) La planta de tratamiento cuenta con dos humedales que trabajan en paralelo, la investigación se centró en el humedal de flujo subsuperficial tipo horizontal, el mismo que recibe aproximadamente la mitad del caudal total.

INDICE

	Pag.
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	01
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	03
2.1 HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUB SUPERFICIAL	03
2.1.1 COMPONENTES DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	04
2.1.1.1 Estructuras de Distribución y Recogida	04
2.1.1.2 Sustrato	04
2.1.1.3 Plantas	05
2.1.1.3.1 Principales Especies Usadas	05
2.1.1.3.2 Siembra y Crecimiento	07
2.1.1.3.3 Funciones de las Plantas en los Humedales Construidos	09
a. Efectos Físicos	09
b. Efectos Sobre Conductividad Hidráulica	10
c. Superficie para el Crecimiento de Microorganismos	10
d. Asimilación de Nutrientes	11
e. Reacciones Intercambio en las Raíces	11
2.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO	12
2.1.2.1 Tiempo de Retención	13
2.1.2.2 Área Superficial Requerida	14
2.1.2.3 Diseño Hidráulico	15
2.1.2.4 Relación de Aspecto	16
2.1.2.5 Carga de Sólidos Suspendidos en Zona de Entrada	17
2.1.2.6 Carga Orgánica	19

2.1.3	MECANISMOS DE REMOCIÓN DE LOS CONSTITUYENTES Y CINÉTICA DE TRATAMIENTO	19
2.1.3.1	Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO	20
2.1.3.1.1	Mecanismos de Eliminación	20
2.1.3.1.2	Evolución dentro del Humedal	22
2.1.3.1.3	Rendimiento	23
2.1.3.2	Materia en Suspensión	23
2.1.3.2.1	Mecanismos de Eliminación.	23
2.1.3.2.2	Evolución dentro del Humedal.	24
2.1.3.2.3	Rendimiento	25
2.1.3.3	Nitrógeno	25
2.1.3.3.1	Mecanismos de Eliminación	26
2.1.3.3.2	Evolución Dentro del Humedal	27
2.1.3.3.3	Rendimiento	29
2.1.3.4	Fósforo	30
2.1.3.4.1	Mecanismos de Eliminación	30
2.1.3.4.2	Evolución dentro del Humedal	32
2.1.3.4.3	Rendimiento	33
2.1.3.5	Microorganismos	33
2.1.3.5.1	Mecanismos de Eliminación	33
2.1.3.5.2	Evolución dentro del Humedal	34
2.1.3.5.3	Rendimiento	34
2.1.3.6	Metales	35
2.1.3.6.1	Mecanismos de Eliminación	35
2.1.3.6.2	Rendimiento	36

2.2	ASPECTOS LEGALES DEL RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA	36
2.2.1	ANTECEDENTES	36
2.2.2	REVISIÓN DE NORMATIVIDADES EXTRANJERAS	37
2.2.3	ASPECTOS LEGALES DEL RIEGO CON AGUA RESIDUAL EN PERÚ	40
2.2.4	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO	44
	CAPITULO 3: OBJETIVOS	45
3.1	OBJETIVO GENERAL	45
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	45
	CAPITULO 4: METODOLOGÍA	46
4.1	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	46
4.1.1	UBICACIÓN DE LA PLANTA	46
4.1.2	CONSIDERACIONES DE DISEÑO	46
4.1.3	DEL MANTENIMIENTO	49
4.2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	50
4.2.1	TRATAMIENTO PRIMARIO	51
4.2.2	TRATAMIENTO SECUNDARIO	52
	4.2.2.1 Estructuras de Entrada y Distribución	53
	4.2.2.2 Zona de los Lechos del Humedal	54
	4.2.2.3 Zona de Recolección y Estructura de Salida	55
	4.2.2.4 Plantas	56
4.2.3	ALMACENAMIENTO DEL AGUA REGENERADA Y ACTIVIDAD DE RIEGO	58
4.3	ESTUDIO EXPERIMENTAL REALIZADO	59
4.3.1	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	59

4.3.1.1	Puntos de Muestreo	59
4.3.1.2	Número de Campañas	60
4.3.1.3	Parámetros Estudiados	60
4.3.1.4	Muestreo	61
4.3.1.5	Del Procesamiento de las Muestras	63
4.3.1.6	Métodología	63
4.3.2	COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS LECHOS	65
4.3.3	ESTUDIO DEL MATERIAL GRANULAR	66
4.3.4	ESTUDIO HIDRÁULICO	67
4.3.6.1	Determinación de Caudales	67
4.3.6.2	Determinación del Factor Punta Horario	68
4.3.6.3	Determinación del Caudal Promedio Tratado por el Humedal	68
CAPITULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		69
5.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO DEL HUMEDAL	69
5.1.1	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	69
5.1.2	ESTUDIO DEL MATERIAL GRANULAR	70
5.1.3	EVOLUCIÓN DE LA VEGETACIÓN	73
5.1.4	ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES	75
5.1.5	ESTUDIO HIDRÁULICO DE LOS LECHOS	79
5.2	CAMPAÑAS DE MONITOREO	81
5.2.1	TEMPERATURA	81
5.2.2	pH	83
5.2.3	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	84
5.2.4	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	87
5.2.5	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	89
5.2.6	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	91

5.2.7	NITRÓGENO	92
5.2.8	FOSFATOS	95
5.2.9	COLIFORMES TOTALES Y FECALES	97
5.2.10	NEMATODOS	100
5.3	VERIFICACION DEL DISEÑO	100
5.4	ESTUDIO DE COSTOS	102
CAPITULO 6: CONCLUSIONES		104
CAPITULO 7: RECOMENDACIONES		109
CAPITULO 8: FUENTES DE INFORMACIÓN		111
CAPITULO 9: ANEXOS		115

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 2.1: Especies Emergentes para el tratamiento mediante Humedales.....	06
Cuadro 2.2: Características principales de las especies comúnmente presentes en humedales construidos flujo subsuperficial (adaptado de WRC, 1996)	07
Cuadro 2.3: Funciones generales de las plantas en un humedal construido de flujo subsuperficial (adaptado de Brix, 1997).	12
Cuadro 2.4: Presenta criterios representativos del diseño del proceso	13
Cuadro 2.5: Características usuales del medio granular	16
Cuadro 2.6: Comparación del comportamiento de algunos materiales que funcionan con diferentes tasas de carga de sólidos suspendidos	18
Cuadro 2.7: Valores max. permisibles para uso en riego agrícola	37
Cuadro 2.8: California (EUA).	38
Cuadro 2.9: Florida (EUA).	38
Cuadro 2.10: Francia (provisional).	39
Cuadro 2.11: Israel.	39
Cuadro 2.12: México.	39
Cuadro 2.13: Tunes.	40
Cuadro 2.14: Emiratos Árabes.	40
Cuadro 2.15: Egipto.	40
Cuadro 2.16: Clasificación De Los Cursos De Agua Y De La Zona Costera Dirección De Protección Del Medio Ambiente Ley General De Aguas D.L. No 17762 Y Sus Modificaciones Al Reglamento De Los Títulos I, Ii, Y Iii Según El Decreto Supremo No 007-33-S.A.	41 y 42
Cuadro 2.17: Recomendaciones de calidad microbiológica de aguas recicladas para riego. (OMS, 1989)	43
Cuadro 4.1 Consideraciones para el Diseño – Caudales.	47
Cuadro 4.2: Consideraciones para el Diseño	47
Cuadro 4.3: Dimensionamiento del Humedal Subsoperficial.	49
Cuadro 4.4: Procesos conformantes del Sistema de Tratamiento motivo de la Tesis.	50
Cuadro 4.5: Especificaciones del humedal subsuperficial.	53
Cuadro 4.6 Fechas de monitoreo y parametros evaluados en cada campaña. 61	

Cuadro 4.8 Preservantes químicos utilizados para la conservación de aguas residuales.	62
Cuadro 5.1: Valores medios de las temperaturas máxima, mínima y promedio de cada uno de los meses de realización del estudio.	69
Cuadro 5.2: Valores medios Humedad Relativa máxima y mínima.	70
Cuadro 5.3: Resultados del Ensayo Estandart.	72
Cuadro 5.4 Clasificación de la Macrofitas.	73
Cuadro 5.5: Evapotranspiración, valor puntual hallado en cada campaña de monitoreo.	77
Cuadro 5.6: Variación de Temperatura durante el periodo de monitoreo.	81
Cuadro 5.7: Variación del pH durante el periodo de monitoreo.	83
Cuadro 5.8: Variación de Conductividad durante el periodo de monitoreo. ...	84
Cuadro 5.9: Variación de Sólidos Disueltos durante el periodo de monitoreo.	85
Cuadro 5.10: Variación de Sólidos Suspendidos Totales durante el periodo de monitoreo.	87
Cuadro 5.12: Variación de la DBO5 durante el periodo de monitoreo.	89
Cuadro 5.13: Variación de la DQO durante el periodo de monitoreo.	91
Cuadro 5.14: Variación de Nitrógeno Orgánico durante periodo de monitoreo.	92
Cuadro 5.15: Variación de Nitrógeno Amoniacal durante periodo de monitoreo.	93
Cuadro 5.16: Variación de Fosfatos durante el periodo de monitoreo.	95
Cuadro 5.17: Variación de Coliformes Totales durante periodo de monitoreo.	97
Cuadro 5.18: Variación de Coliformes Fecales durante periodo de monitoreo.	98
Cuadro 5.19: Costos de construcción de la planta de tratamiento.	102
Cuadro 5.20: Costo anual de operación.	102
Cuadro 5.21: Costo total anual de funcionamiento del humedal.	103
Cuadro 5.22: Costo total por m ³ de agua servida tratada.	103
Cuadro 5.23: Costos totales por tratamiento e ingresos (US\$).	103

INDICE DE FIGURAS Y GRAFICOS

	Pag.
Figura 2.1- Esquema típico de un Humedal de Flujo Subsuperficial	03
Figura 2.2: Esquema típico de planta emergente	08
Figura 2.3 Procesos relacionados con los sólidos en suspensión en humedales de flujo subsuperficial (Kadlec, 1996).	24
Figura 2.4: Transformaciones del nitrógeno en humedales construidos.	26
Figura 2.5: Transformaciones del fósforo en humedales construidos.	31
Grafico 4.1: Esquema de Ubicación de los Puntos de Muestreo.	59
Gráfico 5.1: Resultados del Ensayo Granulométrico.	71
Figura 5.1: Proceso de Densificación del Cyperus Papyrus.	74
Gráfico 5.2: Curva de tendencia de caudales para el periodo de estudio.	76
Gráfico 5.3: Curva de tendencia de caudales para el periodo de estudio.	76
Gráfico 5.4: Tendencia de los caudales afluentes: máximos, mínimos y promedio para el periodo de estudio.	78
Gráfico 5.5: Tendencia de los caudales efluentes: máximos, mínimos y promedio para el periodo de estudio.	78
Gráfico 5.6: Evolución de la concentración de sales disueltas durante la prueba de trazador.	80
Gráfico 5.7: Variación de Temperatura durante el periodo de monitoreo.	82
Gráfico 5.8: Variación del pH durante el periodo de monitoreo.	83
Gráfico 5.9: Variación del Conductividad durante el periodo de monitoreo.	85
Gráfico 5.10: Variación de Sólidos Disueltos durante el periodo de monitoreo.	86
Gráfico 5.11: Variación de Sólidos Suspendidos Totales durante el periodo de monitoreo.	88
Gráfico 5.13: Variación de la DBO5 durante el periodo de monitoreo.	89
Gráfico 5.14: Variación de la DQO durante el periodo de monitoreo.	91
Gráfico 5.15: Variación de Nitrógeno Orgánico durante periodo de monitoreo.	93
Gráfico 5.16: Variación de Nitrógeno Amoniacal durante periodo de monitoreo.	94
Gráfico 5.17: Variación de Fosfatos durante el periodo de monitoreo.	96
Gráfico 5.18: Variación de Coliformes Totales durante periodo de monitoreo.	97
Gráfico 5.19: Variación de Temperatura durante el periodo de monitoreo.	98

INDICE DE FOTOS

	Pag.
Foto 4.1: Humedal de Flujo Subsuperficial en el Parque Oasis de Villa.	50
Foto 4.2: Construcción del Sedimentador.	51
Foto 4.3: Colocación de Geomembrana.	52
Foto 4.4: Material usado en la zona de ingreso y distribución.	54
Foto 4.5: Material del Usado en los lechos.	55
Foto 4.6: Estructura de recolección y Control de nivel de agua en Humedal....	56
Foto 4.7: Macrofitas acuáticas Cyperus Papyrus usada en humedal construido ..	57
Foto 4.8: Siembra de Papyrus, en Humedal Subsuperficial Oasis, y densidad de plantación.....	57
Foto 4.9: Vista inicial del área deportiva, Aspecto del Campo Deportivo al mes del arranque del sistema y Aspecto del Campo Deportivo en la Actualidad. . .	58
Foto 4.10: 1er Punto de Muestreo "Ingreso al Sedimentador".	60
Foto 4.11: 2do Punto de Muestreo "Ingreso al Humedal Subsuperficial" y 3er Punto de Muestreo "Salida del Humedal Subsuperficial".	60
Foto N° 9.1: Fase de construcción de colectores.	115
Foto N° 9.2: Fase de construcción conexión domiciliaria.	115
Foto N° 9.3: Fase construcción de sedimentador.	116
Foto N° 9.4: Fase construcción humedal de flujo tipo vertical.	116
Foto N° 9.5: Fase de instalación de papyrus en humedal de flujo tipo vertical	117
Foto N° 9.6: Papyrus instalado en humedal de flujo vertical.	117
Foto N° 9.7: Instalación de la Tubería de Ingreso al Humedal de Flujo Horizontal.	118
Foto N° 9.8: Tubería Recolectora de Agua Tratada, en Humedal De Flujo Horizontal.	118
Foto N° 9.9: Instalación del Material Granular (Grava) sobre el lecho del Humedal y tuberías de Inspección.	118
Foto N° 9.10: Instalación del Material Fino, sobre el lecho del Humedal. ...	118
Foto N° 9.11: Siembra del papyrus en el lecho del humedal flujo horizontal	119
Foto N° 9.12: Vista del Papyrus luego de seis meses de siembra.	119
Foto N° 9.13: Construcción del tanque de almacenamiento de agua tratada.	120

Foto N° 9.14: Arranque de la Planta de Tratamiento Ingreso al Desarenador-Sedimentador.	120
Foto N° 9.15: Monitoreo insitu en Efluente del Humedal de Flujo Horizontal.	121
Foto N° 9.16: Evaluación del Papyrus en el Humedal de Flujo Horizontal. ...	121
Foto N° 9.17: Vista del Área Regada, antes y después del Proyecto de Humedales de Flujo Horizontal y Vertical.	122
Foto N° 9.18: Situación Actual del Área Regada mediante Agua Tratada con los Humedales.	123
Foto N° 9.19: Inauguración de la Planta Piloto-Oasis de Villa.	123
Foto N° 9.20: Análisis Físico, Químico y Biológico en Laboratorio.	124
Foto N° 9.21: Análisis y Muestreo en Campo.	124
Foto N° 9.22: Limpieza de Sólidos y Lodos en el Sedimentador.	125
Foto N° 9.23: Lodos y Grasas Acumuladas en Sedimentador.	125
Foto N° 9.24: Operación y Mantenimiento de las unidades de ingreso y salida al Sedimentador.	125
Foto N° 9.25: Lodos que deben ser confinados o secados para fertilizantes.	126
Foto N° 9.26: Pozo Percolador de Lodos Provenientes del Sedimentador.	126

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

En América Latina las enfermedades infecciosas son una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en la población, especialmente en niños menores de cinco años. Esta situación es originada en parte por la escasa cobertura de tratamiento del agua residual doméstica, de solo 14%, y por la existencia de más de 500 000 has de cultivo regadas directamente con agua residual sin un tratamiento adecuado, lo que implica un alto riesgo de desinfección de enfermedades entéricas⁽¹⁾.

En el Perú se producen anualmente cerca de 1 000 millones de m³ de aguas residuales; de este volumen, solo el 19% es tratado (en Lima sólo el 5,5%), el 81% restante es descargado directamente en algún cuerpo de agua (río, lago o mar) o es usado en riego, estimándose que existen alrededor de 6 000 has. de terreno agrícola irrigadas con aguas residuales tratadas y sin tratar⁽²⁾

La temática de la escasez de agua es hoy en día uno de los principales problemas a nivel mundial; en países como el nuestro, esta carencia está asociada íntimamente con las altas incidencias de enfermedades gastrointestinales sobre todo en las zonas más pobres de nuestro país; actualmente, solo en Lima, existe un déficit de 185 Mm³ por año y se espera que para el año 2 025 el déficit bordee los 450 Mm³.

Al no existir una práctica generalizada del tratamiento de aguas residuales para su posterior reutilización, somos testigos y participes de cómo el agua potable es desperdiciada y/o mal aprovechada a diario en tareas cotidianas en las cuales la exigencia de la calidad de agua es inferior que para el consumo humano, labores como el riego de áreas verdes, la limpieza de calles, el uso en los tanques de los inodoros, entre otros son claros ejemplos de esta práctica.

(1) Sistemas Integrado de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial - CEPIS

(2) Ing. Guillermo León - SEDAPAL

Por otro lado el crecimiento urbano desordenado de Lima, ha utilizado desde siempre las tierras fértiles de sus valles y también las eriazas, para crecer de manera horizontal y no planificada acarreado serios problemas ambientales y sociales. Uno de estos problemas es la falta de áreas verdes urbanas, es muy sabido que la generación y mantenimiento de este tipo de áreas para recreación y oxigenación de la ciudad, está seriamente restringida en todo Lima, sobretodo en zonas urbano-marginales donde el principal problema no es solo la carencia económica para pagar un punto de agua para riego, sino que el abastecimiento del liquido elemento dificilmente logra satisfacer las necesidades elementales.

Específicamente en Villa el Salvador, uno de los distritos más populosos de Lima, la dotación de área verde por persona está alrededor de $1,5\text{m}^2$, siendo lo recomendado por la OMS $8,0\text{ m}^2/\text{habitante}$.

El propósito de la presente tesis es brindar un alcance de la experiencia obtenida a partir de la construcción y operación del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial, con fines de reutilización para el riego de áreas verdes en el distrito de Villa el Salvador, Lima, Perú.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

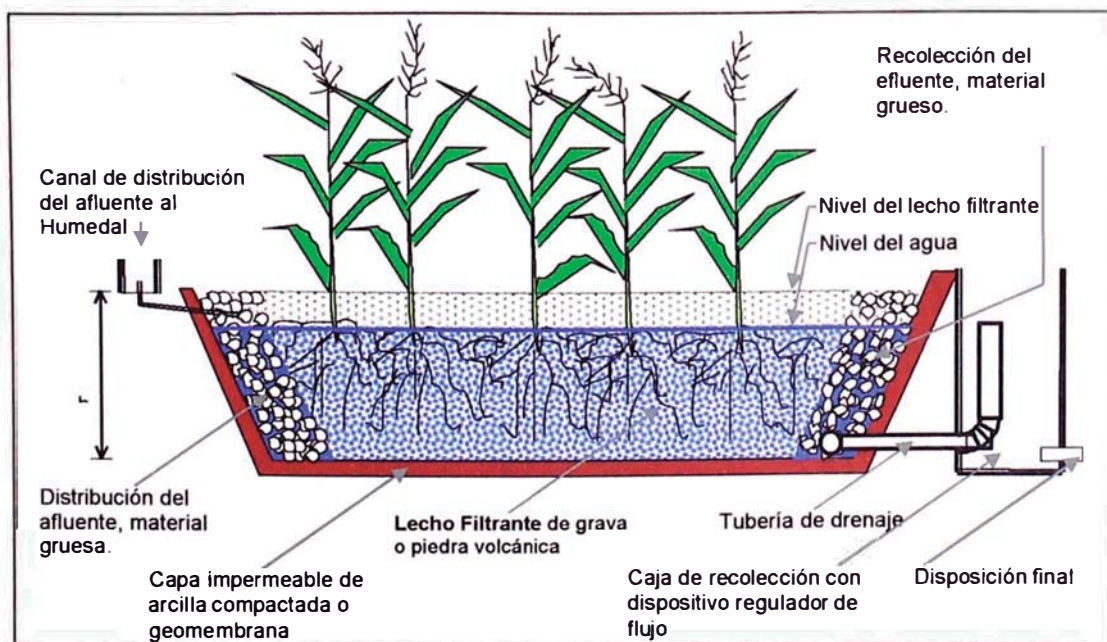
2.1 HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUB SUPERFICIAL

Existen dos tipos de Humedales de Flujo Subsuperficial: de flujo horizontal y de flujo vertical. Para efectos de la presente investigación se considerará en todo momento el variante horizontal, salvo indicación explícita.

Un Humedal de Flujo subsuperficial es un sistema constituido por plantas emergentes arraigadas en un substrato sobre el cual se producen diversos mecanismos físicos, bioquímicos y microbiológicos, similares a los producidos en los humedales naturales.

En un humedal de flujo subsuperficial el flujo circula a través del substrato sin permitirle llegar a la superficie, lo que imposibilita que la luz solar entre en contacto con el agua; al no ser posible la fotosíntesis, los mecanismos que propicien el transporte del oxígeno desde el exterior, su disolución en la masa de agua y su difusión dentro del lecho, son de gran importancia para el correcto funcionamiento del humedal.

Figura 2.1- Esquema típico de un Humedal de Flujo Subsuperficial



Fuente: Sucher y Holzer, Proyecto ASTEC – Austria (1 996)

2.1.1 COMPONENTES DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

2.1.1.1 ESTRUCTURAS DE DISTRIBUCIÓN Y RECOGIDA

Las estructuras de distribución y recogida son necesarias para controlar el ingreso y salida del agua que se trata en el humedal.

El sistema de entrada es diseñado de manera que el flujo afluyente fluya uniformemente distribuido a lo largo de la zona de entrada. El equipo característico que se usa para la distribución del afluyente consta de tuberías de entrada, tuberías perforadas, o vertederos en "V". Normalmente el ingreso del agua en el medio granular no se realiza de forma directa, sino que existe una pequeña zona rellena con grava de gran tamaño (50 a 100 mm), cuya función es evitar la acumulación en la superficie del agua y permitir una distribución homogénea en toda la profundidad del lecho.

Las estructuras de recogida, cumplen la función de recolectar uniformemente el agua tratada, los sistemas de recolección más comunes en los humedales de flujo subsuperficial son tuberías perforadas instaladas en el fondo de los lechos y rodeadas de grava de características similares a la utilizada en la zona de entrada. Esta tubería finalmente conduce el agua a vertederos de altura graduable, que permiten realizar un control del nivel de agua dentro del lecho.

2.1.1.2 SUSTRATO

El sustrato sirve como soporte para el crecimiento de microorganismos y de las plantas, en él se realizan procesos físicos, químicos y biológicos.

La principal característica a exigir del sustrato es una adecuada permeabilidad, la cual debe ser suficiente para permitir el paso del agua a través del mismo, este hecho obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente gravas finas y bien gradadas con tamaños medios entre 3 a 32 mm, y con muy pocos finos, que permitan una permeabilidad alta en estado compactado, una compresibilidad despreciable y una gran facilidad para su colocación en el lecho.

En ocasiones se coloca una capa superficial de grava fina de 76 a 150 mm de espesor que sirve para el enraizamiento inicial de la vegetación y se mantiene seca en condiciones normales de operación.

2.1.1.3 PLANTAS

2.1.1.3.1 PRINCIPALES ESPECIES USADAS

La experiencia ha demostrado, que el desarrollo de diferentes especies vegetales en los humedales artificiales no ha dado buenos resultados, debido a que la composición típica del agua residual favorece el crecimiento de determinadas especies; es así que en la mayoría de las ocasiones los humedales se plantan con una única especie o a lo sumo dos o tres especies diferentes (A. Piriz, 2000).

El cuadro 2.1 muestra una relación de las especies emergentes más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales (J. Lara, 1999):

Cuadro 2.1: Especies Emergentes para el tratamiento mediante Humedales

Familia	Nombre Latino	Nombres Comunes más Usuales	Temperatura, °C		Máxima Salinidad Tolerable	pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	Carex sp.	-	14 - 32			5 - 7,5
	Eleocharis sp.	-				
	Scirpus lacustris L. (*)	Junco de laguna	18 - 27		20	4 - 9
Gramíneas	Glyceria fluitans (L.) R. Br.	Hierba del Maná				
	Phragmites australis (Cav.) Trin. Ex Steudel (*)	Carrizo	12 - 23	10 - 30	45	2 - 8
Idiraceas	Iris pseudacorus L.	Lirio amarillo, espadaña fina				
Juncaceas	Juncus sp.	Juncos	16 - 26		20	5 - 7,5
Tifáceas	Thypha sp. (*)	Eneas, Aneas, Espadañas	10 - 30	12 - 24	30	4 - 10

(*) Comúnmente usadas.

Fuente: ICT/UPC

Como puede apreciarse existe una amplia variedad de plantas adaptadas a vivir en las condiciones de suelo permanentemente saturado que presentan los humedales. El carrizo (*Phragmites australis*) es la especie más común en los humedales europeos gracias a su gran tolerancia, y a sus distintas condiciones climáticas y su rapidez de crecimiento. En Estados Unidos se prefiere el uso de los juncos (*Scirpus lacustris*) y la espadaña (*Typha latifolia*). (A. Píriz, 2 000)

Cuadro 2.2: Características principales de las especies comúnmente presentes en los humedales construidos de flujo subsuperficial (adaptado de WRC, 1996).

Especie	Temperatura Ambiental Optima	Velocidad de Crecimiento	Espaciado Normal (m)	Profundidad Radicular (m)
Phragmites Australis	12-33	Muy Rápida	0,6	>0,6
Scirpus Lacustris	16-27	Moderada	0,3-0,6	0,6-0,9
Typha Latifolia	10-30	Rápida	0,6	0,3-0,4

2.1.1.3.2 SIEMBRA Y CRECIMIENTO

En la actualidad se utilizan plantas o rizomas procedentes de semillas germinadas en viveros; para ello debe de asegurarse que las plantas jóvenes hayan desarrollado un buen sistema radicular que les permita extenderse rápidamente. Los rizomas horizontales de las plantas colonizan la totalidad del humedal; y pueden crecer hacia abajo únicamente en los tres primeros años, durante los cuales la humedad y la fluctuación del nivel de saturación del lecho favorecen la penetración en profundidad de los mismos. Estos rizomas viven entre 3 y 7 años y de ellos brotan las raíces más gruesas y profundas. Los rizomas verticales crecen hacia arriba desde los horizontales formando nuevos brotes, y son los responsables de densificar el crecimiento aéreo de las plantas en las zonas ya colonizadas. Viven alrededor de 3 años y de ellos brotan raíces delgadas que forman una densa trama en la superficie de la zona saturada por el agua. (A. Piriz, 2 000).

Numerosos estudios han concluido que disminuir el nivel de agua de forma regular durante el crecimiento de las plantas ayuda a la penetración de los rizomas en el lecho, especialmente si éste es de gravas, gracias a la creación de condiciones aeróbicas en las capas inferiores y a la reducción de las toxinas. Kickuth proponía disminuir el nivel por debajo de 0,4 m de la superficie del lecho a partir del primer mes después de la construcción.

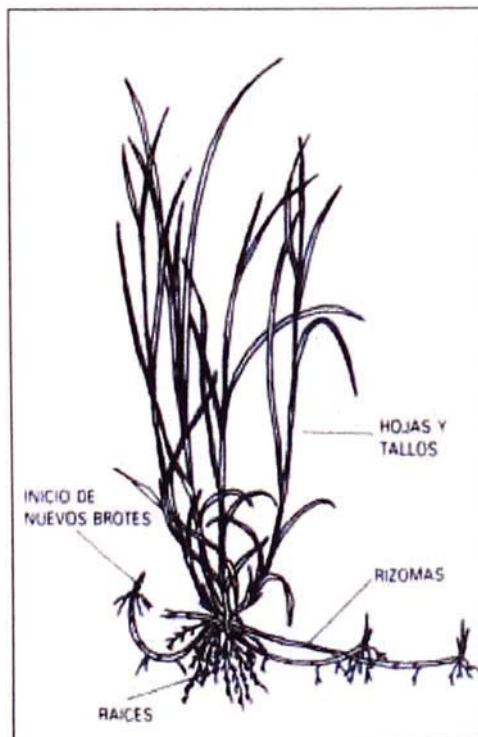


Figura 2.2: Esquema típico de planta emergente

2.1.1.3.3 FUNCIONES DE LAS PLANTAS EN LOS HUMEDALES CONSTRUIDOS

Las funciones de las plantas en los humedales principalmente han estado relacionadas con el aporte de oxígeno a la zona radicular y el aumento del área superficial para el crecimiento biológico en la zona de las raíces. El transporte real de oxígeno hacia la zona radicular y luego a la columna de agua es limitado (Brix, 1993). Las raíces también liberan sustancias orgánicas a medida que se degradan, lo cual sostiene la desnitrificación.

Diversos estudios indican que los rendimientos de sistemas carentes de vegetación son mucho menores al de los sistemas provistos de ésta, y a su vez la eficiencia de estos últimos varía en función del tipo de especie plantada y de la profundidad radicular que presente.

a. Efectos Físicos

Las plantas tienen un papel importante en la estabilización del medio granular, dado que el arraigamiento y densificación del conjunto de raíces impide la formación de canales erosivos cuando circula el agua.

La presencia de vegetación en los humedales distribuye y reduce la velocidad del agua (Pettecrew y Kalff, 1992; El Somes et al., 1996). Esto crea condiciones favorables para la sedimentación de sólidos suspendidos, reduce el riesgo de erosión y resuspensión de partículas, y aumenta el tiempo de contacto entre el agua y la planta.

En lugares con temperaturas extremas, tienen una función importante, la cual es amortiguar las variaciones de los parámetros ambientales, principalmente la temperatura. Durante el invierno las hojas y tallos muertos permanecen tendidas sobre el lecho, formando una cubierta que protege el interior de las bajas temperaturas, de los riesgos de helada y de la nieve en las zonas de intenso frío. Mientras que en verano, las plantas impiden que llegue al suelo la totalidad de los rayos solares, logrando mantener una temperatura inferior dentro del medio granular. (Haslam, 1 971a; Haslam, 1 971b; Brix, 1 994).

b. Efectos Sobre la Conductividad Hidráulica

La creencia que las raíces y rizomas ayudan a aumentar la conductividad hidráulica debido a las macroporosidades creadas gracias a su presencia, ha quedado atrás desde que diversos estudios en diferentes partes del mundo han arrojado resultados contradictorios en referencia a la capacidad de las plantas para crear y mantener estas macroporosidades.

c. Superficie para el Crecimiento de Microorganismos

Las raíces y rizomas que se desarrollan dentro del medio granular representan un soporte físico capaz de albergar el crecimiento de bacterias y protozoos. Sobre él se forma una biopelícula que favorece la eliminación de contaminantes gracias a la existencia de diversos procesos microbiológicos.

d. Asimilación de Nutrientes

Las plantas que viven en los humedales necesitan nutrientes para desarrollar sus actividades de crecimiento y reproducción, y los obtienen principalmente a través de su sistema radicular. De esta manera contribuyen a la remoción de un pequeño porcentaje de nutrientes del sistema, Brix determinó una capacidad de asimilación de 30 a 150 Kg de P/haxaño y de 200 a 2 500 Kg de N/haxaño.

e. Reacciones de Intercambio en las Raíces

Las plantas, que viven en medios saturados, desarrollan la capacidad de transportar oxígeno a sus raíces, liberando finalmente parte de este oxígeno al medio; según Brix, 1994, Christensen et al, gran parte del oxígeno aportado por transferencia directa es tomado por las mismas plantas.

En referencia a la disponibilidad de oxígeno en la superficie de las raíces, algunas publicaciones estiman un rango de 5 a 45 g $O_2/m^2 \times d$ de área superficial de humedal. La demanda de oxígeno de la DBO del agua residual y otras materias orgánicas presentes en el agua pueden utilizar gran parte de este oxígeno disponible, pero basados en los datos de remoción de amoníaco en Santee se tiene suficiente oxígeno en las raíces para asegurar la nitrificación.

Además de oxígeno, las raíces son capaces de liberar otras sustancias al medio granular que las rodea; según Brix, estudios realizados en

Alemania, demuestran que algunas especies comúnmente utilizadas liberan antibióticos a través de sus raíces. Estos antibióticos podrían favorecer la eliminación de bacterias como los coliformes, sólidos suspendidos, Salmonella y los enterococos del agua que pasa a través de las raíces.

Cuadro 2.3: Funciones generales de las plantas en un humedal construido de flujo subsuperficial (adaptado de Brix, 1997).

Propiedad	Proceso	Efecto
Tejido Aéreo	Influencia de microclima	Aislamiento de temperatura
	Almacenamiento de nutrientes	Eliminación de nutrientes
	Estética	Apariencia agradable
Raíces y Rizomas	Estabilización de la superficie	Disminuye la erosión
	Aporte de oxígeno	Facilita la degradación de la materia orgánica y promueve los procesos de nitrificación
	Nutrientes	Asimila los nutrientes
	Excreción de antibióticos	Elimina patógenos
Raíces y Tejidos Aéreos Muertos	Descomposición del suelo	Fuente de carbono para las bacterias desnitrificantes

2.1.2 CRITERIOS DE DISEÑO

No existe consenso universal referente al modelo hidráulico que más se ajusta al desempeño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, pese a que en la actualidad los diseños se basan en la consideración de una cinética de primer orden con flujo pistón, este modelo ha demostrado no ajustarse a la realidad, ya que normalmente se desarrollan canales de flujo preferencial; por ejemplo, se ha encontrado, a partir de medidas con trazadores, que se puede utilizar una cascada de cuatro a seis reactores de mezcla completa en serie para modelar el desempeño actual de los humedales artificiales diseñados como reactores de flujo de pistón.

Siendo conservadores en cuanto a las consideraciones de diseño, a continuación se presenta un resumen de los principales criterios que

debe tomarse en cuenta para diseñar un humedal subsuperficial bajo el modelo de un reactor de flujo pistón y cinética de primer orden:

Dentro de los criterios importantes del diseño están el tiempo de retención, el área superficial requerida, las tasas de carga de DBO y sólidos.

Cuadro 2.4: Presenta criterios representativos del diseño del proceso:

Elemento	Unidad	Valor
Tiempo de retención	d	3-4(DBO), 6-10(N)
Tasa de carga de DBO	kg/ha.d	< 112
Tasa de carga de la entrada de SST	kg/m ² .d	1,25
Profundidad del agua	m	0,30-0,61
Profundidad del Medio	m	0,46-0,76

**La calidad esperada del efluente se basa en una carga de DBO igual o menor que 100 lb/ac.d*

Fuente: Adaptado de Crites-Tchobanoglous (2 000)

2.1.2.1 Tiempo de Retención:

El tiempo de retención variará en función a la concentración del parámetro que desee removerse, éste se determina usando la ecuación 2.1.

$$t = \frac{-\ln(C_e/C_o)}{K_t} \quad (2.1)$$

$$K_t = K_{20}(1,06)^{(t-20)}$$

Donde:

Co: Concentración de DBO en el Afluente (mg/L)

Ce: Concentración de DBO en el Efluente (mg/L)

t: Temperatura del día mas frío del mes frío del más crudo invierno registrado en los últimos 100 años (°C)

K₂₀: Constante de reacción de primer orden a 20°C, d⁻¹

$K_{20}=1,104 \text{ d}^{-1}$ para DBO

$K_{20}=0,678 \text{ d}^{-1}$ para Nitrógeno (J. Lara, 1 999)

2.1.2.2 Área Superficial Requerida:

El tiempo de retención hidráulica en el humedal puede ser expresado mediante la siguiente ecuación:

$$t = \frac{nLWd_w}{Q} \quad (2.2)$$

Donde:

L: Largo de la celda del humedal (m)

W: Ancho de la celda del humedal (m)

d_w : Profundidad de la celda del humedal (m)

n: porosidad, porcentaje expresado como decimal.

Q: Caudal medio a través del humedal (m^3/d)

Es entonces posible determinar directamente el área superficial del humedal combinando las ecuaciones (2.1) y (2.2):

$$A_s = LW = \frac{Q \ln(C_o/C_e)}{K t d_w n} \quad (2.3)$$

Donde:

A_s : Área superficial del humedal (m^2)

El contaminante que requiera la mayor área para su remoción, será el factor limitante en el diseño y controlará el tamaño del humedal.

2.1.2.3 Diseño Hidráulico

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del sistema, por esta razón el fondo debe tener pendiente, suficiente para permitir un drenaje completo cuando sea necesario y una salida de altura variable con el nivel de agua.

La pérdida de cabeza a través de los humedales de flujo subsuperficial puede calcularse a partir de la ley de Darcy:

$$At = d_w W = \frac{Q}{KS} \quad (2.4)$$

At : Área de la sección transversal de la zona de entrada (m)

K*: Permeabilidad o Conductividad Hidraulica (m/d)

S** :Pendiente expresada como decimal (pérdida por fricción)

* Debe afectársele el 10% por seguridad

** Para lechos con pendiente se debe utilizar la pendiente de fondo "S" (0-1%)

Al utilizar la ecuación 2.4 el valor medido de k debe usarse cuando esté disponible y multiplicarlo por un factor de 10% para explicar el crecimiento de raíces y tubérculos. En ausencia de datos medios se deben emplear valores del cuadro 2.5 multiplicados por 10%. Para lechos con pendiente, se debe utilizar la pendiente del fondo, la cual puede variar de 0 a 1 por ciento o más. Cuando se usa un lecho plano y el gradiente se controla con un vertedero para el rebose, se debe utilizar 0,001 para S. (Crites-Tchobanoglous, 2 000)

Cuadro 2.5: Características usuales del medio granular

Medio	Tamaño Efectivo D10	Porosidad (n)	Conductividad Hidráulica (m/día)
Arena Mediana	1	0,30	499,87
Arena Gruesa	2	0,32	999,74
Arena Pedregosa	8	0,35	4998,72
Grava Mediana	32	0,40	9997,44
Grava Gruesa	128	0,45	99974,40

Adaptado de Crites-Tchobanoglous (2 000)

2.1.2.4 Relación de Aspecto

La relación largo-ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. En teoría grandes relaciones largo:ancho 10:1 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tienen el inconveniente de que en la parte alta se desbordan debido al incremento en la resistencia al flujo causado por la acumulación de residuos de vegetación. Comúnmente se utilizan relaciones de aspecto de 2:1 a 4:1 (Reed et al., 1995). Los cortocircuitos pueden ser minimizados con una cuidadosa construcción y mantenimiento del fondo del humedal, con el uso de múltiples celdas, y con la intercalación de zonas abiertas (sin vegetación) para la redistribución del flujo.

Las dimensiones de la superficie de un humedal de flujo subsuperficial se pueden determinar usando la ecuación 2.5. Las relaciones de aspecto deben determinarse en combinación con la ley de Darcy (ecuación 2.4).

$$RA = \frac{L}{w} \quad (2.5)$$

Donde:

w = ancho del humedal (m)

L = longitud de humedal (m)

RA = relación de aspecto, largo/ancho

2.1.2.5 Carga de Sólidos Suspendidos en la Zona de Entrada

Si se utiliza una relación de aspecto mayor que 4:1, la carga de sólidos del afluente puede ser motivo de preocupación. Para evitar el atascamiento de la zona de entrada con sólidos suspendidos, los valores de la carga de sólidos en la entrada deben verificarse. Experiencias en Australia han llevado a la recomendación de que el límite de SST en la zona de entrada no debe exceder 0,128 Kg/m³.día (Bavor et al., 1989), en donde el área utilizada en el cálculo de la tasa de carga es el área de la sección transversal de la zona de entrada. La tasa de carga de sólidos suspendidos en la zona de entrada se puede calcular de la siguiente manera:

$$L_{SST} = \frac{CM}{At} \quad (2.6)$$

Donde:

L_{SST}: Carga de sólidos suspendidos

CM: Carga másica del constituyente (Kg/d)

At: Área de la sección transversal de la zona de entrada (m²)

*Cuadro 2.6: Comparación del comportamiento de algunos materiales que funcionan con diferentes tasas de carga de sólidos suspendidos**

Material	Tamaño usual De la partícula, mm	Tasa de carga nominal de SST, g/m ² .d	Desempeño
Arena	0,17	5 10 30	Obstrucción en >5 años Obstrucción en 50 días Obstrucción en < 10 días
	0,40	10 30 70	Obstrucción en >0,5 años Obstrucción en 35 días Obstrucción en 10 días
	0,68	20 40 80	Obstrucción en >0,5 años Obstrucción en 50 días Obstrucción en 20 días
Grava	5-10 (entrada) 5-10(w/g) 40 (entrada) 40 (entrada - primaria)	40 200 18 80-160	Infiltración por + 3 años Obstrucción en 3 meses Infiltración por + 3 años Infiltración por + 1 año
Roca	9-25	13-464 [†]	Obstrucción en 11 meses Infiltración por + 17 meses, pobre remoción de SST Infiltración por + 14 meses, pobre remoción de SST
	10-50	113-629 [†]	
	63-127	102 [‡]	

* De Bavor y Schulz (1 993)

[†] Representa cargas con 50 mg/L de sólidos de algas.

[‡] Representa cargas con 69 mg/L de sólidos de algas.

Notas. Las tasas de carga fueron las calculadas para aplicarse por metro cuadrado de superficie disponible para la infiltración. Los datos para los filtros de arena y roca se adaptaron de Middlebrooks et al. (1982). Los filtros de grava estaban en Eudora, Kansas, California y Missouri. Las áreas superficiales se calcularon a partir de las tasas de carga volumétrica y cálculos sobre la superficie abierta en el diseño ilustrado. El tamaño de la grava en la Interfase agua/grava se denomina a/g.

2.1.2.6 Carga Orgánica

Como regla general, la tasa de carga orgánica (TCO) no debe exceder a 110 kgDBO/Ha.d, así se deben mantener las condiciones aerobias cerca de la superficie del agua y los olores deben reducirse; estas tasas no deben excederse en la práctica con efluentes primarios aplicados a 50 mm/d;. La tasa de carga orgánica debe verificarse por medio de la siguiente expresión:

$$L_{org} = \frac{10C_o d_w n}{t} \quad (2.7)$$

Donde:

L_{org} = tasa de carga orgánica (kg DBO/ha.d)

C_o = concentración de DBO en el afluente (mg/L)

d_w = profundidad del flujo (m)

n = porosidad

t = tiempo de retención (d)

2.1.3 MECANISMOS DE REMOCIÓN DE LOS CONSTITUYENTES Y CINÉTICA DE TRATAMIENTO

Es muy difícil separar los procesos de remoción y transformación de los constituyentes presentes en un agua residual, debido a que en estos sistemas ambos ocurren simultáneamente. Es aún más complicado dar una definición de los mecanismos de remoción de los constituyentes individuales, ya que un constituyente puede estar presente en varias formas, las cuales pueden variar con el grado de tratamiento. (Crites-Tchobanoglous -2 000)

2.1.3.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO – DBO

2.1.3.1.1 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN

La DBO₅ es el parámetro más usado para el diseño de humedales artificiales por constituir su remoción el principal objetivo de la mayoría de plantas de tratamiento, sobre todo de aguas residuales domésticas.

Existen aún incertidumbres sobre la explicación de los mecanismos que permiten reducir la DBO₅ en los lechos del humedal. Por una parte, la materia orgánica asociada a los sólidos en suspensión quedará retenida, así habrá una reducción de la DBO₅ asociada a los sólidos a medida que las partículas chocan o se adhieren a la superficie de las plantas y del relleno. Los mecanismos de degradación de la materia orgánica disuelta se producen gracias a la presencia de los microorganismos que forman la biopelícula. En este sentido se asume que los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aerobios y anaerobios, aunque resulta difícil cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos. (A. Piriz, 2 000)

La degradación aerobia de la materia disuelta se realiza gracias a la presencia de las bacterias aerobias heterótrofas; la reacción fundamental que tiene lugar es la siguiente:



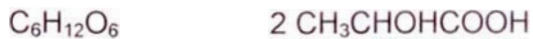
Un aporte insuficiente de oxígeno a este grupo de bacterias reducirá enormemente su desarrollo, pasando a predominar entonces la degradación anaerobia.

La degradación anaerobia es un proceso con diversas fases que ocurre en las zonas del humedal con ausencia de oxígeno disuelto. El proceso es realizado por bacterias heterótrofas de tipo anaeróbico estricto o facultativo. En una primera fase los productos obtenidos en la fermentación son ácidos grasos como el ácido acético y el láctico, alcoholes y gases.

Fermentación Acética:



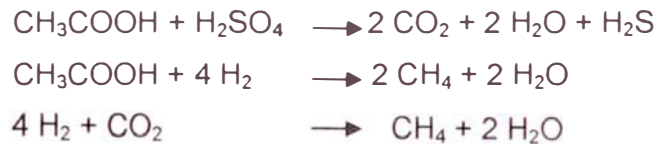
Fermentación Láctica:



Fermentación Alcohólica:



El ácido acético es el primero en formarse en la mayoría de las ocasiones; a partir de éste las bacterias anaerobias sulfato-reductoras y las formadoras de metano empiezan a actuar. Mientras que las bacterias que forman los ácidos son capaces de adaptarse a diversas condiciones ambientales, las responsables de la metanogénesis únicamente actúan en condiciones de pH entre 6,5 y 7,5. Las reacciones correspondientes a esta segunda fase son las siguientes:



La degradación anaerobia es más lenta que la aerobia y predomina en condiciones de ausencia de oxígeno disuelto y cuando se tiene cargas orgánicas altas.

2.1.3.1.2 EVOLUCION DENTRO DEL HUMEDAL

Como se mencionó en el ítem 2.2 el diseño de un humedal en función de la DBO_5 se obtiene mediante un modelo hidráulico de flujo pistón con una cinética de primer orden.

Un factor importante a considerar es la denominada concentración de fondo C^* , la cual representa la DBO_5 que se obtendría teóricamente para tiempos de permanencia muy elevados, supone por tanto un límite del proceso de depuración. Este límite está asociado a la actividad biológica que se desarrolla en el humedal, pues influye en la reducción de la DBO_5 al aportar materia orgánica al sistema. Parece ser que la concentración de fondo no es completamente independiente de la concentración de materia orgánica del agua afluente, sino que depende débilmente de la misma según muestra la siguiente ecuación de regresión (Kadlec, 1 996):

$$C^* = 3,5 + 0,053 \cdot C_o \quad (2.8)$$

$$0 < C_o < 200 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

Una posible explicación de esta dependencia radica en que un agua residual con mayor carga orgánica contendrá una cantidad de nutrientes superior, que estimulan la aparición de un ciclo bioquímico global en el humedal de mayor envergadura. (A. Píriz, 2 000)

2.1.3.1.3 RENDIMIENTO

Los rendimientos de reducción de DBO_5 que ofrecen habitualmente estos sistemas se encuentran alrededor del 85%, humedales en Centro América, específicamente en Masaya, Nicaragua han demostrado tener una eficiencia alrededor del 97%.

Estudios realizados por Vymazal (1 999) en la República Checa han demostrado que el rendimiento medido como un porcentaje de la concentración afluente puede resultar impreciso, dada la capacidad de amortiguamiento que tienen estos sistemas, provocando que humedales cuya DBO_5 afluente pequeña presenten aparentemente porcentajes de eliminación menores debido a que la diferencia afluente-efluente es menor; por ello las normativas europeas contemplan límites en función del valor concreto obtenido en el efluente y también en función de los porcentajes de reducción.

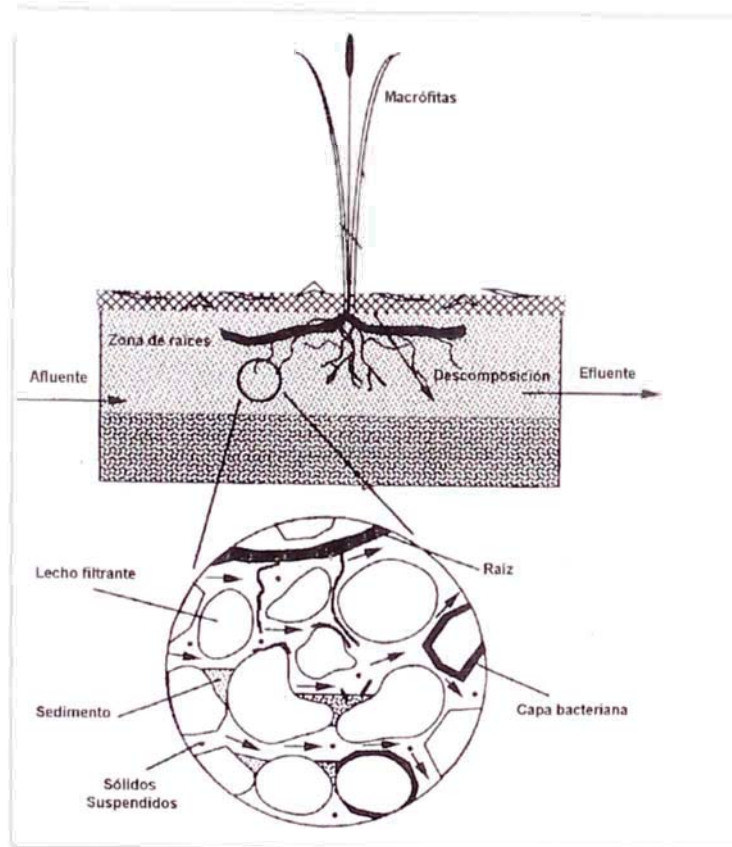
2.1.3.2 MATERIA EN SUSPENSIÓN

2.1.3.2.1 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN

Los fenómenos que habitualmente se presentan en un humedal subsuperficial son la adsorción,

sedimentación, choques con otras partículas, coagulación y filtración.

Figura 2.3 Procesos relacionados con los sólidos en suspensión en humedales de flujo subsuperficial (Kadlec, 1996).



2.1.3.2 EVOLUCIÓN DENTRO DEL HUMEDAL

La evolución de los sólidos suspendidos en el humedal se estudia según modelos de flujo en pistón.

Análogamente a la DBO_5 la remoción de sólidos en suspensión se da en los primeros metros del humedal, creándose, por lo tanto, una distribución irregular de los sólidos retenidos, de tal forma que su concentración es mayor en las zonas cercanas a la entrada, esto genera flujo superficial en una porción del trayecto. Al

parecer, la obstrucción es el resultado de cargas altas de sustancias orgánicas y sólidos en la zona de entrada del lecho

2.1.3.2.3 RENDIMIENTO

Los rendimientos de remoción de sólidos suspendidos se encuentran en el intervalo 85-95%, estudios hechos por Tanner & Sukias (1995) determinaron una deposición del orden de 5 Kg/m².año en raíces y rizomas.

Anomalías en el comportamiento del humedal, como una velocidad excesiva, pueden ocasionar el arrastre y resuspensión de partículas, de aquellas retenidas en los poros o en la biopelícula. La muerte y descomposición de los organismos que habitan en el humedal, ocasionan un aumento de SST en el efluente.

2.1.3.3 NITROGENO

El nitrógeno dentro del humedal puede presentarse asociado tanto a partículas sólidas como a compuestos disueltos. El nitrógeno orgánico está formado principalmente por compuestos tales como proteínas, aminoácidos y urea. El nitrógeno inorgánico se presenta en forma de amoníaco, nitritos y nitratos. La proporción relativa de cada uno de ellos depende del tipo de agua residual y del tratamiento que haya recibido antes de su llegada al humedal.

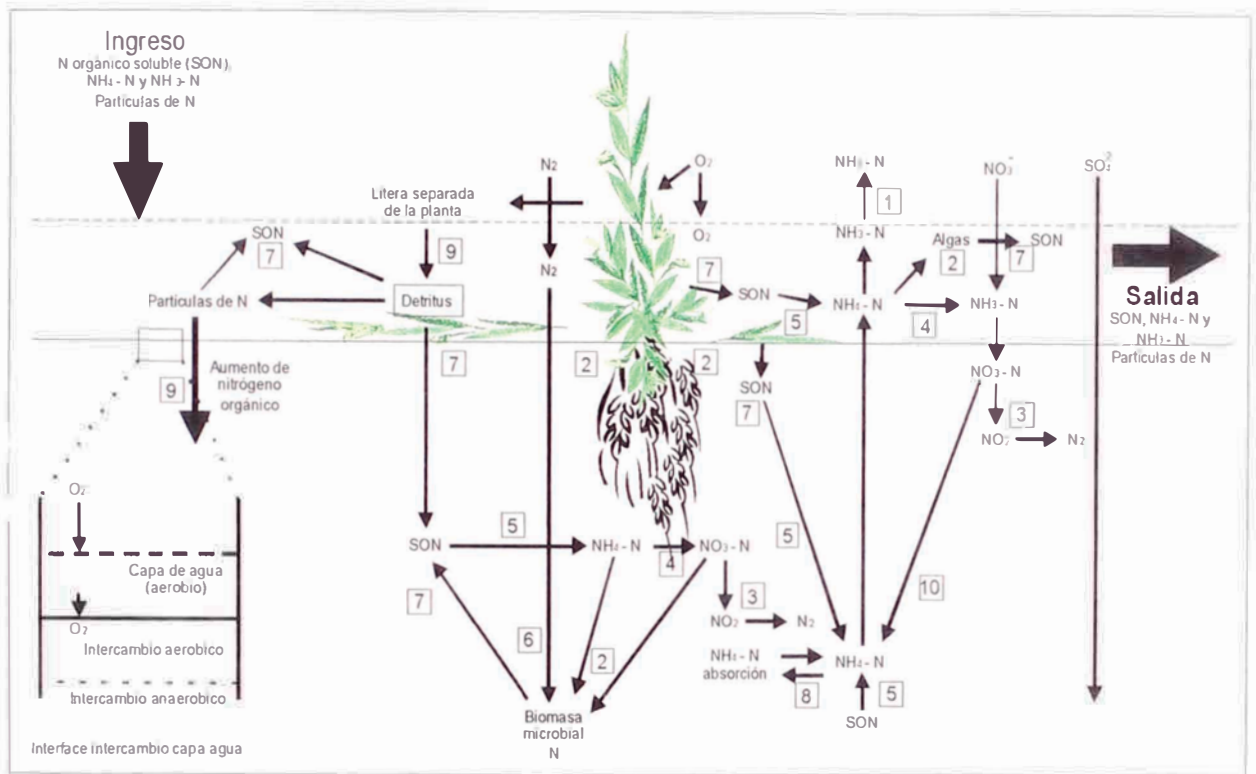


Figura 2.4: Transformaciones del nitrógeno en humedales construidos. 1) volatilización, 2) asimilación por plantas y microorganismos, 3) desnitrificación, 4) nitrificación, 5) mineralización, 6) fijación, 7) descomposición, 8) adsorción, 9) sedimentación y 10) reducción a amoníaco (Reddy et al., 1997).

2.1.3.3.1 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN

Existen diversos mecanismos de remoción de nitrógeno, dependiendo del estado en que se encuentre; entre los mas comunes tenemos la retención de nitrógeno asociada a los sólidos suspendidos, la asimilación, nitrificación, desnitrificación, difusión de sustancias disueltas y, con mayor dificultad, la volatilización del amoníaco.

La amonificación es el primero de los pasos en la mineralización del nitrógeno orgánico. Abarca un conjunto de procesos bioquímicos complejos, que conllevan una liberación de energía utilizada en

algunos casos por los microorganismos para su crecimiento, incorporando entonces el amoníaco directamente en la biomasa. Otros factores importantes en este proceso son la temperatura y el pH, produciéndose en óptimas condiciones a temperaturas elevadas y con pH entre 6,5 y 8,5.

La nitrificación es el principal proceso capaz de eliminar amoníaco en los humedales, oxidándolo de forma secuencial a nitritos y a nitratos, para ello se requiere oxígeno libre, la suficiente alcalinidad y la temperatura adecuada. Las bacterias nitrificantes, responsables del proceso, necesitan oxígeno en una proporción cercana a los 4,3 g de O₂ por cada gramo de nitrógeno amoniacal oxidado, por consiguiente, no se encuentran presentes en cantidades significativas en los sistemas muy cargados (carga de DBO > 10 kg/m².d) o en sistemas recién construidos con cubrimiento vegetal incompleto.

La existencia de zonas anaeróbicas dentro del humedal propician el proceso de desnitrificación, mediante el cual el nitrato pasa a actuar como aceptor de electrones a causa de la ausencia de oxígeno y se obtiene finalmente nitrógeno gas, el cual escapa al medio ambiente; para ello se requiere adicionalmente una fuente de carbono y condiciones y temperatura adecuadas.

2.1.3.3.2 EVOLUCIÓN DENTRO DEL HUMEDAL

El modelo matemático es el de flujo pistón y cinética de primer orden. La determinación del

periodo de retención y el área, en todos los casos serán determinados con las ecuaciones considerara la ecuación 2.1, 2.3, y 2.4.

El régimen de flujo subsuperficial es casi anaerobio, excepto a pocas pulgadas de la superficie y de los lugares aerobios cercanos a las raíces de las plantas, por lo que es posible la nitrificación y la desnitrificación.

➤ **Amoniaco:**

Se debe asumir que todo el nitrógeno Kjeldahl (NTK) que entra al sistema se convierte en amoniaco y su remoción vía nitrificación considera valores $\theta=1,06$ y $K_{20}=1,07 \text{ d}^{-1}$, la eficiencia se mide en base a la concentración de amoniaco en el afluente y efluente.

➤ **Nitratos:**

El modelo de diseño recomendado para estimar la remoción de nitratos vía desnitrificación es el que considera valores de $K_{20}=1,00 \text{ d}^{-1}$.

La concentración de nitratos en el afluente usada en la ecuación es la diferencia entre las concentraciones de entrada y salida determinadas para los objetivos de remoción en la etapa de nitrificación; así mismo como dicha ecuación determina el amoniaco que queda en el sistema después de la nitrificación en el humedal, sería

conservador asumir que la diferencia (C_o-C_e) está disponible como nitrato.

2.1.3.3.3 RENDIMIENTO

Aunque los humedales de flujo subsuperficial tienen la capacidad para desnitrificar el nitrógeno presente en forma de nitrato, lo que limita la remoción de nitrógeno es la etapa de nitrificación.

Los porcentajes de remoción dependen de las características del afluente, sobre la base de la experiencia en el campo con sistemas de flujo subsuperficial se puede precisar que el potencial de remoción del nitrógeno puede tomar varios años en desarrollarse, por lo menos se requieren dos o tres etapas del crecimiento de las plantas y sistemas de raíces para desarrollar suficiente vegetación que soporte la nitrificación microbiana y así alcanzar el equilibrio.

Experiencias en la Planta de Tratamiento UNITRAR Lima Perú reportaron una eficiencia promedio de remoción de nitrógeno total del orden del 18%, mientras que en Masaya Nicaragua se reportaron remociones alrededor del 35%.

La asimilación de nitrógeno por parte de las plantas es alrededor de 200 a 2 500 Kg de N/ha por año, esta cantidad representa de 10% a 15% de lo recibido en el afluente (Brix, 1 997).

Respecto a la eliminación de amoníaco, en ocasiones se han llegado a obtener efluentes con

concentraciones mayores que la correspondiente al afluente (Reed *et al.*, 1995), indicando una producción neta durante el tratamiento en el humedal. Se cree que el origen de este amoníaco es la descomposición anaeróbica del nitrógeno orgánico acumulado en el lecho en forma de partículas.

Cuando los tiempos de retención superan 6 a 7 d, se puede esperar una concentración de nitrógeno total en el efluente de cerca de 10 mg/L, suponiendo que la concentración de nitrógeno en el efluente es de 20 a 25 mg/L.

2.1.3.4 FOSFORO

En las aguas residuales el fósforo presente se encuentra casi en su totalidad como fosfato (PO_4^{3-}) en forma de ortofosfatos, fosfatos condensados y fosfatos asociados a moléculas orgánicas. Las principales fuentes de procedencia de este fósforo son los detergentes, los residuos de alimentos o de procesos industriales y los excedentes del uso en zonas agrícolas.

2.1.3.4.1 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN

Los mecanismos de remoción del fósforo son muy similares a los del nitrógeno, entre los principales se cuentan la retención, asimilación por parte de los microorganismos y de las plantas en sus tejidos, la mineralización de los restos de vegetación y del fósforo orgánico, sedimentación, adsorción intercambios iónicos.

En la Figura 2.5, se aprecia que el fósforo inorgánico, procedente del agua residual o de la mineralización del fósforo orgánico, puede

precipitar o ser adsorbido gracias a la presencia de hierro y aluminio en suelos ácidos o de minerales de calcio y magnesio en suelos alcalinos. Estos procesos están regulados por el pH, el potencial redox, la superficie de adsorción disponible y la temperatura.

El fósforo orgánico que no se mineraliza puede ser liberado como fósforo disuelto, pues los precipitados insolubles pueden lixiviar si las condiciones del agua se modifican.

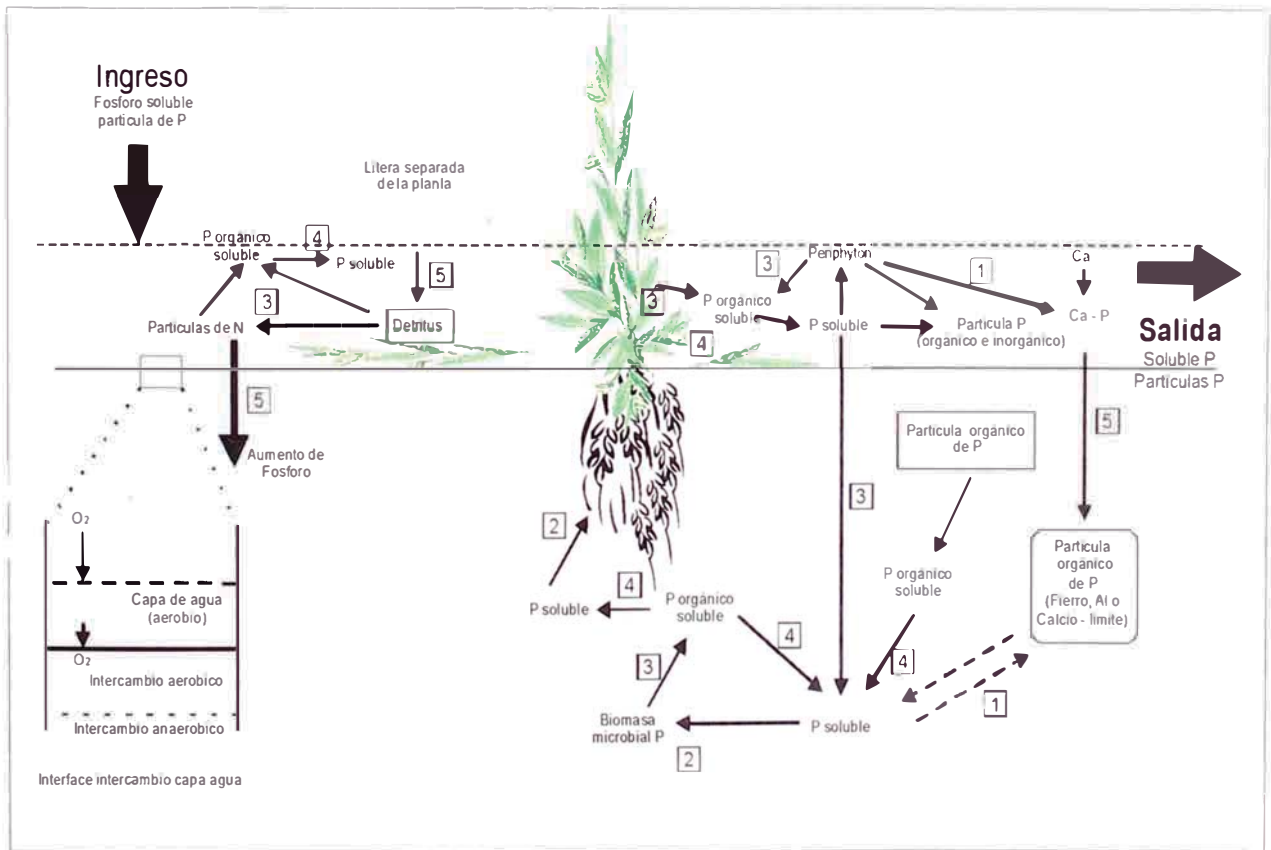


Figura 2.5: Transformaciones del fósforo en humedales construidos. 1) Adsorción, precipitación y disolución, 2) asimilación por plantas y microorganismos, 3) descomposición, 4) mineralización y 5) sedimentación (Reddy et al., 1997).

2.1.3.4.2 EVOLUCIÓN DENTRO DEL HUMEDAL

Basándose en los datos de North American Data Base, Kadlec ha propuesto una constante de primer orden igual a 10m/año para estimar la remoción de fósforo en un sistema de humedales artificiales, pese a que este modelo fue hallado partiendo de la evaluación a un humedal de flujo superficial es válido para uno de flujo subsuperficial ya que depende del área superficial y no de las reacciones que ocurren en dicha área. (A. Piriz, 2000)

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_p/CH) \quad (2.9)$$

Donde:

C_e : Concentración de fósforo en el Efluente (mg/L)

C_o : Concentración de fósforo en el Afluente (mg/L)

K_p : Constante de primer orden 10m/año <-> 2,74cm/d

CH: Carga hidráulica promedio anual (cm/d)

$$A_s = \frac{(b)(Q)\ln(C_o/C_e)}{K_p} \quad (2.10)$$

A_s : Área superficial requerida (m²)

b: Factor de conversión 100cm/m

Q: Caudal promedio diario (m³ /d)

2.1.3.4.3 RENDIMIENTO

El rendimiento de eliminación de fósforo es muy variable de humedal a humedal, los estudios realizados indican que los porcentajes de eliminación oscilan entre el 30% y el 40% (Leady, 1 997).

Las plantas son capaces de asimilar cantidades considerables de los nutrientes existentes en el agua que circula por los lechos; se han estimado unos intervalos de 30 a 150 Kg de P/ha. (Brix, 1 997)

Experiencias en la Planta de Tratamiento UNITRAR Lima Perú reportaron una eficiencia promedio de remoción de fósforo total del orden del 12%, mientras que en Masaya Nicaragua se reportaron remociones alrededor del 27%.

2.1.3.5 MICROORGANISMOS

2.1.3.5.1 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN

Los principales mecanismos de remoción de patógenos son la predación, sedimentación, excreción de antibióticos por parte de las plantas y decaimiento natural. Los factores químicos que ayudan a la eliminación de bacterias son la oxidación, la adsorción y la exposición a compuestos tóxicos procedentes de otros mecanismos realizados en el humedal.

2.1.3.5.2 EVOLUCIÓN DENTRO DEL HUMEDAL

La eliminación de coliformes fecales en los humedales construidos se ajusta a modelos de flujo pistón con cinética de primer orden.

Aunque la eliminación de bacterias indicadoras de la contaminación fecal no se contempla como objetivo del tratamiento en el humedal, la experiencia indica que el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar provocan una reducción del número de bacterias. Los procesos físicos incluyen la filtración, sedimentación y la influencia de la temperatura. Los mecanismos biológicos incluyen la generación de antibióticos (antibiosis), proceso por el cual ciertas especies de bacterias y hongos excretan sustancias inhibitoras creando condiciones ambientales que impiden a sus competidores vivir en la misma área.

2.1.3.5.3 RENDIMIENTO:

Los rendimientos de eliminación de microorganismos está alrededor de 90 a 95% lo cual en la mayoría de casos representa la disminución de 2 o lo sumo 3 unidades logarítmicas (Ottová et al., 1997) Para una concentración de afluente alrededor de 10^6 CF/100 mL, un 95% de rendimiento equivaldría a una reducción de aproximadamente 1,3 unidades logarítmicas; se produce por tan o un descenso del 20% en unidades logarítmicas, lo que evidencia que la eliminación no es tan elevada como el porcentaje de reducción señala. (A. Piriz, 2 000).

De acuerdo a estudios realizados por Green *et al.* (1997) los humedales que actúan como tratamiento terciario realizan una mayor eliminación de bacterias y más rápidamente que en los que se realiza un tratamiento secundario, la diferencia se debe a las condiciones de oxígeno relativas a cada uno de los sistemas.

2.1.3.6 METALES

2.1.3.6.1 MECANISMOS DE ELIMINACIÓN

Mientras algunos metales son requeridos por la plantas en cantidades mínimas (trazas) como bario, berilio, boro, cromo, cobalto, cobre, yodo, hierro, magnesio, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, azufre, y cinc; pueden resultar tóxicos a concentraciones altas. Otros metales que no tienen ningún papel biológico conocido pueden ser tóxicos incluso a concentraciones muy bajas entre ellos: arsénico, cadmio, mercurio y plata. (Gersberg *et al.*, 1984; Crites *et al.*, 1997).

Se espera que la remoción de los metales pesados sea muy parecida a la del fósforo, aunque en la actualidad hay muy pocos datos disponibles sobre los mecanismos de remoción. Estos mecanismos incluyen la adsorción, la sedimentación, la precipitación química y la asimilación vegetal. Así como con el fósforo, los metales pueden ser liberados durante ciertas épocas del año, generalmente en respuesta a los

cambios en el potencial de óxido reducción dentro del sistema.

2.1.3.6.2 RENDIMIENTO

La remoción de metales depende del tiempo de retención, las concentraciones de los metales en el afluente y de la especie química en la que se encuentra el metal.

Los datos sobre la remoción de metales de las aguas residuales municipales en humedales de flujo subsuperficial son limitados. En los sistemas de drenaje de minas ácidas es significativa la remoción de hierro y manganeso.

2.2 ASPECTOS LEGALES DEL RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA

2.2.1 ANTECEDENTES

En el Perú existe la practica generalizada de reaprovechamiento de aguas residuales domésticas municipales, sin embargo, la inexistencia de un efectivo programa de fiscalización que exija el cumplimiento de los objetivos de calidad plasmados en los proyectos aprobados por la DIGESA hace ineficaz cualquier intento por cumplir con lineamientos en post de garantizar la preservación de la salud de la población; esto claro, en el mejor de los casos, ya que la mayoría de las veces, la misma falta de claridad en los lineamientos, la inexistencia de sanciones y la falta de recursos propician el uso indiscriminado de aguas sin tratar, ejemplos claros son las áreas de cultivo en los distritos de San martin y el Callao.

Lógicamente las directrices de calidad de agua para riego establecidas en base a la aceptación de los cultivos agrícolas, son

mucho más laxas que las establecidas en función a la salud pública.

Cuadro 2.7: Valores max. permisibles para uso en riego agrícola

Parámetro	Valores Máximos para Uso Agrícola
PH	6,5 - 8,5
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	2000
DBO ₅ (mg/L)	120
DQO (mg/L)	200
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	120
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	1,0E+03
Huevos de Helmintos (N/1000mL)	1

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

2.2.2 REVISIÓN DE NORMATIVIDADES EXTRANJERAS

La tendencia normativa de muchos lugares sigue siendo la aplicación de los antiguos estandartes de California (EUA), considerados los más estrictos del planeta; aunque poco a poco, van ganando aceptación las normas de Engelberg/ Banco Mundial/ OMS.

A continuación y a manera referencial se presenta cuadros resúmenes de las principales exigencias normativas en los diferentes lugares donde se realiza legalmente la aplicación:

Cuadro 2.8: California (EUA):

California (EUA)	TRATAMIENTO	CRITERIOS	TIPO DE RIEGO
		Primario	-
	Secundario y desinfección	2,2 coliformes/ 100 mL	Conreos de consumo en crudo (riego en superficie)
		23 coliformes/ 100 mL	Campos de golf, cementerios, parques (no contacto del público con el agua residual).
	Secundario, coagulado, filtrado y desinfectado.	23 coliformes/ 100 mL	Conreos de consumo en crudo (riego por aspersión).
		2,2 coliformes / 100 mL	Parques, patios de escuelas, zonas de diversión donde hay contacto del público con el agua residual.

Cuadro 2.9: Florida (EUA):

Florida (EUA)	CONDICIONANTES	CRITERIOS
	Pendiente < 5 %, Control de la escorrentía. Zona de riego a 45 m de la zona residencial y a 60 m de agua potable. Reducir la formación de aerosoles en el riego por aspersión, Realizar controles del agua residual depurada. No tiene que haber conexiones con tuberías de agua potable. Cerrar la zona de riego para evitar el acceso. En la zona tiene que haber señales de advertencia en zonas de acceso público.	DBO ₅ < 20 mg/L SST < 5 mg/L CF < 0/ 100 mL Cloro residual 1 mg/L Aplicación 5 mm/ semana Pozos de control Zonas amortiguadoras en la zona de riego con acceso público. Sistemas alternativos de eliminación.

Cuadro 2.10: Francia (provisional):

Francia	TRATAMIENTO	CRITERIOS	TIPO DE RIEGO	TIPO DE VEGETACIÓN
(provisional)	-	-	localizado	Cereales industriales Forrajes, Fruteros, Bosques y Zonas verdes.
	Lagunaje (Tiempo de retención 8-10 idas)	< o = a 1 huevo de nemátodo/L.	Aspersión (limitando la propagación de aerosoles).	Fruteros, Cereales, Forrajes, viveros, zonas verdes no accesibles.
	Lagunaje (Tiempo de retención 20-30 idas)	<= 1 huevo de nemátodo/L. <= 1000 CF/ 100 mL.	Aspersión a baja presión. Zanjas	Fruteros, pasto, hortalizas, legumbres.
	Terciario más desinfección. Lagunaje (Tiempo de retención 20-30 días)	<= 1 huevo de nemátodo/L. <= 200 CF/ 100 mL	Aspersión a baja presión	Zonas verdes de acceso al público.

Cuadro 2.11: Israel:

	TRATAMIENTO	CRITERIOS	CONDICIONANTES	TIPO DE VEGETACIÓN
Israel	-	DBO ₅ 60 mg/L SS 50 mg/L	300 m zona residencial. 30 m carretera.	Algodón, cereales, azúcar, forrajes.
	-	DBO ₅ 35 mg/L SST 20 mg/L OD 0,5 mg/L	250 m zona residencial. 25 m carretera.	Olivos, cítricos, plataneros, nogal, almendros y cacahuets.
	Cloro: 60' contacto	DBO ₅ 35 mg/L SST 20 mg/L OD 0,5 mg/L 250 CF/ 100 mL	-	Vegetales pelados y cocinados. Campos de fútbol. Campos de golf
	Filtración Cloro: 120' contacto	DBO ₅ 15 mg/L SST 15 mg/L OD 0,5 mg/L 12 CT/ 100 mL	-	Todo tipo de conreos, vegetales de consumo en crudo Parques.

Cuadro 2.12: México:

	TRATAMIENTO	TIPO DE VEGETACIÓN
México	Almacenaje con retención de algunos meses	No riego de conreos de consumo crudo.
	Secundario	Riego de parques públicos. Zonas verdes de las carreteras.

Cuadro 2.13: Túnez:

Túnez	OBLIGACIONES	PROHIBICIONES
	Presencia de zona amortiguadora a carreteras y agua potable Presencia de advertencias en la zona de riego	<p>Pasto en las zonas regadas.</p> <p>Contaminación de cursos de agua potable o acuíferos.</p>

Cuadro 2.14: Emiratos Árabes:

Emiratos Árabes	USO DEL AGUA	PROHIBICIÓN
	Agricultura	Riegos de conreos de consumo crudo.

Cuadro 2.15: Egipto:

Egipto	USO DEL AGUA	PROHIBICIÓN
	Agricultura	<p>Riego de conreos de hortalizas</p> <p>Riego de frutas (excepto cítricos).</p> <p>Alimentar ganado de producción de leche.</p>

Fuente: Salgot, M, 1994.

2.2.3 ASPECTOS LEGALES DEL RIEGO CON AGUA RESIDUAL EN PERU

Los requisitos de calidad son definidos por el Ministerio de Salud a través de la Dirección general de salud Ambiental (DIGESA), la Ley General de Aguas (Ley N° 17722/DS N° 007-83-SA) establece límites máximos y mínimos en función al uso de los cuerpos de agua, las aguas residuales tratadas o no deberán ocasionar un impacto tal que no sobrepasen los valores establecidos en el reglamento de la ley. En el cuadro 2.16 se señala la clasificación existente y se indican los valores límites correspondientes a cada una de ellas.

Cuadro 2.16: CLASIFICACIÓN DE LOS CURSOS DE AGUA Y DE LA ZONA COSTERA
DIRECCIÓN DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE LEY GENERAL DE AGUAS D.L. No 17762 Y SUS MODIFICACIONES AL
REGLAMENTO DE LOS TÍTULOS I, II, Y III SEGÚN EL DECRETO SUPREMO No 007-33-S.A.

DENOMINACIÓN	CURSOS DE AGUA						AGUA MARÍTIMA						EXPRESADO	
	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI		
Aluminio	—	—	—	—	1,00	-1	—	—	—	1,00	1,00	+1	—	mg/L como AL
Arsénico	0,10	0,10	0,10	0,20	1,00	0,01	0,05	0,10	0,10	0,20	1,00	0,01	0,05	mg/1 como AS*
Bario	0,10	0,10	—	0,50	+0,50	—	0,10	0,10	—	0,50	+0,50	—	—	mg/1 como Ba
Cadmio	0,01	0,01	0,05	—	0,0002	0,004	0,10	0,10	0,05	—	0,0002	0,004	—	mg/l como CD*
Cianuro	0,20	0,20	41	—	0,005	0,005	0,20	0,20	+1	—	0,005	0,005	—	mg/l como CN*
Cobalto	—	—	—	0,20	+0,20	—	—	—	0,20	0,20	+0,20	—	—	mg/1 como CO
Cobre	1,00	1,00	0,50	3,00	+0,01	—	1,00	1,00	0,50	3,00	+0,01	—	—	mg/1 como CU"
COLOR COLOR	0	0	10	20	30	+30	—	0	5	20	30	30	+30	UNIDAD DE
Cromo Hexa	0,05	0,05	1,00	5,00	0,05	0,05	0,05	0,05	1,00	5,00	0,05	0,05	0,05	mg/1 como CR*
COLIFORMES TOTALES	8,8	20 000	5 000	5 000	5 000	1 000	20 000	8,8	20 000	5 000	5 000	1 000	20 000	NMP/100 ml**
COLIFORMES FECALES	0	4 000	1 000	1 000	1 000	200	4 000	0	4 000	1 000	1 000	200	4 000	NMP/100 ml"
Oxígeno Diuelto	3	3	3	3	3	5	4	3	3	3	3	5	4	mg/1 como O.D.
D.B.O.	5	5	15	10	10	10	5	5	15	10	10	10	10	mg/1 como D.B.O.
Fenoles ,OH*	0,0005	0,001	0,001	+0,001	—	0,002	0,002	0,0005	0,001	+0,001	—	0,002	0,002	mg/1 como CfiHs
Hierro	0,30	0,30	1,00	—	—	—	0,30	0,30	1,00	—	—	—	—	mg/1 como Fe
Fluoruros	1,50	1,50	1,50	2,00	—	—	—	1,50	1,50	2,00	—	—	—	mg/1 como F

	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	
Litio	—	—	—	5,00	+5,00	—	—	—	5,00	5,00	+5,00	—	mg/l como Li
Magnesio	—	—	—	1,50	—	—	—	—	—	—	—	—	mg/l como Mg
Manganeso	0,10	0,10	0,50	—	—	—	0,10	0,10	—	—	—	—	mg/l como Mn
Material Ext. en Hexano													
(grasas)	1,50	1,50	1,50	0,50	0,00	No Perc.	—	1,50	1,50	1,50	0,50	0,00	No Perc. —
mg/l*													
Mercurio	0,002	0,002	0,002	0,01	—	0,0001	0,0002	0,002	0,002	0,01	—	0,0001	0,0002 mg/l como Hg*
Nitrato	0,01	0,01	0,10	—	—	—	0,01	0,01	0,01	—	—	—	mg/l como N*
Níquel	0,002	0,002	0,002	0,50	0,002	—	0,002	0,002	0,002	0,50	0,002	—	mg/l como Ni*
p.H.	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	—	6-9	6-9	6-9	6-8,5	6-8,5	—	
Plata	0,05	0,05	0,05	—	—	—	0,05	—	0,95	—	—	—	mg/l como Ag
Plomo	0,05	0,05	0,10	—	0,01	0,03	0,05	0,05	0,10	—	0,01	0,03	mg/l como pb*
P.C.B.	0,001	0,001	+0,001	—	0,002	0,002	0,001	0,001	+0,001	—	0,002	0,002	mg/l como PCB
Selenio	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,005	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,05	mg/l como Se*
Sólidos Flotantes	0,00	0,00	0,00	0,00	Peq. Cant Moder.	—	Peq. Cant Moder.	—	0,00	0,00	0,00	Peq. Cant Moder.	—
Sólidos Suspendedos	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	+100	—	mg/l
Sulfates	—	—	—	4,00	—	—	—	—	—	—	—	—	mg/l SO
Sulfuros	0,001	0,002	0,002	+0,005	—	0,002	0,002	0,001	0,002	+0,005	—	0,002	0,002 mg/l como X*
Zinc	5	5	25	—	0,020	**	5	5	25	—	0,020	44	mg/l como Zn

*Sustancias Potencialmente Peligrosas

**Entendido como valor máximo en 80% de 5 ó más muestras mensuales.

I. Aguas de abastecimiento doméstico con simple desinfección.

II. Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento equivalente a procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración aprobado por el Ministerio de Salud.

III. Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.

IV. Aguas de Zonas Recreativas de contacto primario (baños y similares).

V. Aguas de Zonas de Pesca de mariscos Bivalvos.

VI. Aguas de Zona de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial.

Desafortunadamente nuestra legislación no establece objetivos de calidad acordes a cada uso en riego y menos para cada tipo de cultivos; ante este vacío legal, el Ministerio de Salud a través de la Dirección general de salud Ambiental (DIGESA) utiliza como criterio de aprobación de proyectos de aprovechamiento de aguas residuales para riego las directrices sanitarias de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Cuadro 2.17: Recomendaciones de calidad microbiológica de aguas recicladas para riego. (OMS, 1989)

Categoría	Uso	Grupo expuesto	Nemátodos (huevos/L) (a),(b)	Coliformes fecales por 100 mL (c)	Tratamiento Necesario
A	Riego de cultivos para consumo en fresco, campos de deporte, parques públicos.	Trabajadores, Consumidores, Usuarios	Inferior o igual a 1	inferior o igual a 1000 (c)	Estanques de estabilización diseñados para conseguir calidad microbiológica o tratamiento equivalente.
B	Riego de cereales, fruteros, forrajes y cultivos industriales. (d)	Trabajadores	Inferior o igual a 1		Estanques de estabilización con un tiempo de retención hidráulico de 8-10 días o sistema que permita una reducción equivalente de nemátodos y coliformes.
C	Riego localizado de los cultivos del apartado B cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Nadie			Pretratamientos necesarios para la tecnología de riego; al menos decantación primaria.
* Las recomendaciones tienen que ser modificadas cuando las condiciones particulares locales, tanto técnicas como socioculturales, ambientales o epidemiológicas, lo aconsejen.					
(a): <i>Ascaris Trichuris</i> sp., <i>Anquilostomo</i> (b): Durante el período de riego. (c): Tiene que tomarse un valor más exigente (inferior o igual a 200 mg/L) en el caso de riego de jardines públicos en los que las personas puedan tener contacto directo con el agua. (d): En el caso de árboles fruteros el riego ha de parar dos semanas antes de la recolección, rechazando los frutos caídos al suelo. No tiene que utilizarse para aspersión.					

En el caso del riego de áreas verdes donde el público tiene acceso directo, el peligro potencial para la salud pública puede ser mayor que el que presenta el riego de verduras consumidas

crudas (CEPIS 1990), en conclusión se hace necesaria la introducción de normas nacionales revisadas, estrictas y acordes con la realidad, para la eliminación de huevos de helmintos, pero más laxas en lo que respecta a las concentraciones bacterianas, esto incrementará la protección de la salud pública de un público mayor y, al mismo tiempo, permitiría establecer metas factibles de alcanzar tanto en sentido tecnológico como económico.

2.2.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA RIEGO

Dentro de las directrices sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas para riego la OMS recomienda el número de huevos de helmintos por litro igual o menor a 1 mientras que el número más probable de coliformes fecales en 100 mL debe ser menor o igual a 1000.

Sin embargo los especialistas recomiendan que es conveniente establecer una directriz más estricta en cuanto a la calidad de aguas para riego de las áreas verdes de contacto directo con el público, de acuerdo a ellos debiera considerarse 200 coliformes fecales por 100 mL como límite en efluentes empleados para tal fin. (CEPIS 1990)

La directriz recomendada para riego puede cumplirse sólo por medio de tratamiento biológico secundario, seguido de desinfección efectiva; éste proceso por lo general, no es eficaz para eliminar los huevos de helmintos dado su tamaño, densidad e inmunidad a la desinfección, siendo el proceso más adecuado para su remoción la sedimentación, la cual se logra eficientemente en lagunas de estabilización dado su prolongado periodo de retención hidráulica.

CAPITULO 3: OBJETIVOS

2.1.- Objetivo General

El objetivo principal es evaluar la capacidad depuradora del Humedal Artificial de flujo subsuperficial perteneciente al sistema de tratamiento de las aguas residuales grises del AAHH Oasis de Villa el Salvador.

2.2.- Objetivos Específicos

Proporcionar, una secuencia metodológica que permita la optima evaluación de los parámetros en estudio.

Brindar una fuente de información detallada, reunida en el presente estudio, para futuras consultas y un modelo base que sirva de apoyo a futuras investigaciones.

Estudiar la factibilidad técnico-económica del modelo en estudio, y evaluar la posibilidad de replica para zonas con similares características

CAPITULO 4

METODOLOGÍA

4.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

4.1.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA:

El proyecto piloto está ubicado en el AA.HH. Oasis de Villa en el distrito de Villa el Salvador, su diseño fue concebido para el tratamiento de las aguas residuales grises generadas por 66 viviendas y su posterior reutilización en el riego de un área verde de 2 680 m² (Ver Plano P-01)

4.1.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Al tratarse de un sistema que sería administrado por la comunidad y autosostenido económicamente, se procuró evitar los costos de desinfección final tratando solamente las aguas grises; para ello se consideró adicionalmente a la planta el diseño del sistema de redes que permitirían su recolección; se creyó que eliminando la carga orgánica y microbiológica descargada por el inodoro se obtendría un afluyente con una concentración baja en coliformes fecales, de tal manera que el parámetro de diseño dominante sería la DBO₅.

Esta consideración que no se ajustó a la realidad no pudo ser advertida previamente al diseño, ya que en aquel entonces el AA.HH. Oasis de Villa no contaba con sistemas de saneamiento básico, de tal manera que permitiera la caracterización de sus aguas previamente.

La obra (redes y la planta de tratamiento) fue ejecutada paralelamente a las obras de redes secundarias de agua y desagüe realizadas por Sedapal.

El cálculo del caudal de aguas grises fue estimado en base a un porcentaje de 70% referido al caudal de contribución total al alcantarillado, estas y otras consideraciones de diseño se resumen en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Consideraciones para el Diseño – Caudales

Parámetro	Valor
Nº Casas	66
Densidad poblacional	5 hab/casa
Población	330 hab
Dotación	80 L/hab/día
Factor punta horario supuesto	1,8
Porcentaje contribución al desagüe	80%
Porcentaje de aguas grises asumido	70%
Caudal de Contribución al desagüe	0,44 L/s
Caudal de aguas residuales grises	0,31 L/s
Volumen diario tratado por la planta	26,61 m ³

Los valores del cuadro 4.2, fueron asumidos para la remoción de DBO₅ mediante un humedal de flujo subsuperficial:

Cuadro 4.2: Consideraciones para el Diseño

Parámetro	Valor
DBO Afluente	150 mg/L (*)
DBO Efluente	20 mg/L (**)
Porosidad del medio	0,36
Conductividad hidráulica supuesta	10 000 m ³ /m ² .d
Temperatura del mes más frío	17 °C
Profundidad del agua	0,45 m

(*) Valor tomado como referencia de Metcalf & Eddy (1 991)

(**) Valor asumido del cuadro 2.9: Límites Florida (EUA)

Los objetivos de calidad buscados ($DBO_5=20\text{mg/L}$) tras el paso del agua por el humedal corresponden a los valores referenciales del cuadro 2.9 del Capítulo 2, referido a las exigencias normativas en el Estado de Florida (EUA) en acorde con las condicionantes aplicables previstas en aquel entonces para la etapa de funcionamiento; se tomó ésta referencia y no la Ley General de Aguas Clase III (la cual establece para el efluente una DBO_5 inferior o igual a $15\text{ mgO}_2/\text{L}$) debido al mayor área que demanda ésta última. A nuestro criterio es innecesaria la reducción de la DBO_5 , a tal nivel cuando se trata de un efluente para riego, pues este factor no resulta limitante, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) establece un valor límite de 120 mg/L (Ver cuadro 2.7)

Es importante recalcar, que las recomendaciones de la OMS se basan en límites aplicados a Nemátodos (≤ 1 huevos/litro) y a Coliformes Fecales (≤ 1000 NMP/100mL); consideraciones que por las razones expuestas anteriormente se creyeron cubiertas.

El cálculo del humedal subsuperficial se realizó bajo el modelo conservativo de una hidráulica de flujo pistón con cinética de primer orden. Se utilizaron las formulas 2.1, 2.3 y 2.4 del Capítulo 2. El dimensionamiento se llevó a cabo considerando la reducción de DBO_5 , y los resultados arrojados se resumen a continuación⁽¹⁾:

(1) El dimensionamiento del humedal fue realizado para el tratamiento del caudal total generado por las 66 viviendas bajo un régimen subsuperficial.

Cuadro 4.3: Dimensionamiento del Humedal Subsuperficial

Parámetros	Valor
Superficie	358,00 m ²
Numero de lechos	2
Largo de cada lecho	30,00 m
Ancho de cada lecho	6,00 m
Medio granular	Grava Mediana
Pendiente	1%
Profundidad medio granular (promedio)	0,75 m

A manera experimental la dirección de la ONG Ecociudad, decidió que el primer lecho funcionara con flujo vertical; teniéndose inicialmente un sistema secundario conformado por dos humedales de flujo subsuperficial funcionando en serie: el primero de flujo vertical y el segundo de flujo horizontal.

El funcionamiento de la planta comenzó en el mes de junio del año 2 004, al cabo de 5 meses, se presentaron algunos desperfectos en el humedal vertical, por cuestiones implícitas a la configuración escogida para su construcción; es así que en el mes de noviembre luego de realizadas las correcciones y el mantenimiento respectivo al sistema, se dividió el flujo desempeñándose desde entonces el sistema con ambos humedales en forma paralela, en donde cada uno trabajando, con aproximadamente el 50% del caudal total. (Gráfica 4.1). En el Plano P-05 se aprecia la distribución actual de las unidades de la planta.

4.1.3 DEL MANTENIMIENTO:

El mantenimiento del sistema estuvo basado principalmente en la limpieza de lodos del sedimentador, en la práctica se realizó en febrero (2005), septiembre (2005) y mayo (2006), trabajos rutinarios como la ciega de plantas y la limpieza de los

humedales, también constituyeron parte del mantenimiento. La siega de las plantas se realizó aproximadamente cada 4 meses.

Foto 4.1: Humedal de Flujo Subsuperficial en el Parque Oasis de Villa.



4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Para efectos de la investigación se realizó el monitoreo del sistema comprendido por las siguientes unidades:

Cuadro 4.4: Procesos conformantes del Sistema de Tratamiento motivo de la Tesis.

Tratamiento	Unidad
Primario	Sedimentador
Secundario	(*)Humedal Subsuperficial Flujo Horizontal.

() De aquí en adelante se hará referencia a este tipo de humedal como "Humedal Subsuperficial" únicamente.*

4.2.1 TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario está conformado por un sedimentador rectangular de concreto armado de dimensiones 4,0x2,0x1,80 m., con inclinación de fondo de 5 % y un periodo de retención hidráulico teórico de 9,5 horas.

La unidad esta provista de un sistema de extracción de lodos conformado por una válvula tipo compuerta de 100mm que permite el desfogue del flujo hacia el pozo percolador ubicado al final de parque, el periodo de limpieza está establecido cada 6 meses.

Al ingreso de la unidad se ha implementado un compartimiento que hace las veces de un desarenador, al advertir la gran acumulación de arenas en la estructura de entrada de la planta, esta sub unidad es limpiada cada 10 días y los lodos son destinados al pozo percolador.

Foto 4.2: Construcción del Sedimentador.



4.2.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Conformado por un humedal artificial de flujo subsuperficial construido con una pendiente de 1% y taludes laterales 1:1,7. El lecho del humedal tiene una profundidad de 0,75 m, con un borde libre de 0,05 m y está conformado por material gravoso sobre el cual se arraigan los papyrus.

Para evitar pérdidas de agua por filtración y posible contaminación de la napa freática, el terreno natural se ha cubierto con una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de 0,75 mm de espesor y Resistencia a la Rotura de 20N/mm. (Ver Anexos)

Foto 4.3: Colocación de Geomembrana



En el cuadro 4.5 se resumen las principales características físicas del humedal subsuperficial construido:

Cuadro 4.5: Especificaciones del humedal subsuperficial.

Parámetros	Valor
Superficie	81,25 m ²
Numero de lechos	1
Largo promedio del lecho	12,50 m
Ancho promedio del lecho	6,50 m
Medio granular	Grava Ø N°4-3/8"
Pendiente del fondo de lecho	1%
Profundidad promedio del medio granular	0,75 m

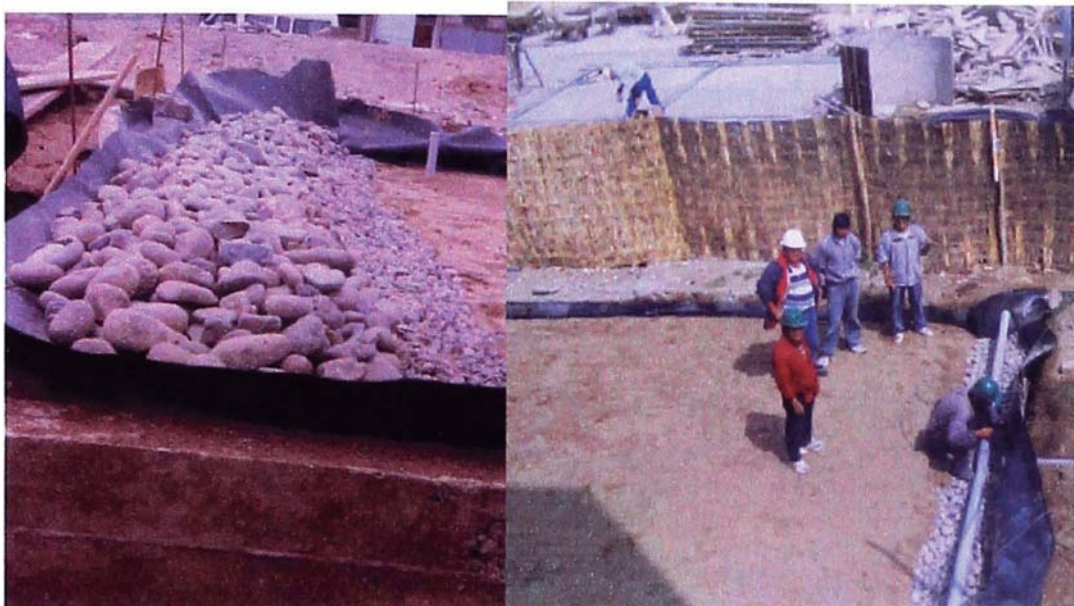
El área del humedal corresponde al área disponible luego de la distribución arquitectónica de espacios.

4.2.2.1 ESTRUCTURAS DE ENTRADA Y DISTRIBUCIÓN

Conformada por una tubería de PVC 100mm de diámetro ubicada a lo ancho de la unidad, la tubería tiene orificios de 5mm espaciados cada 5cm. La granulometría del material conformante de la zona de distribución está dada por gravas de 2" a 4" (50 a 100mm).

La tubería se encuentra ubicada a aproximadamente 0,10m por encima de la superficie del agua y cubierto con gravas, aunque es muy sabida la recomendación de mantener el flujo libre al ingreso, se prefirió, para el caso en especial no se tratara así a fin de evitar la posible exposición de los niños que concurren al parque.

Foto 4.4: Material usado en la zona de ingreso y distribución



4.2.2.2 ZONA DE LOS LECHOS DEL HUMEDAL

El agua, tras su infiltración, pasa al lecho propiamente dicho conformado por un substrato de grava seleccionada, con una capa de 0,15m de arena en la superficie colocada para el arraigamiento inicial de las plantas, y por la cual no discurre el agua.

Foto 4.5: Material del Usado en los lechos



4.2.2.3 Zona de Recolección y Estructura de Salida

Al final del lecho se encuentra la zona de recolección, en la cual se dispuso grava de granulometría similar a la colocada en la zona de ingreso; en el fondo del lecho, se ubica la tubería PVC de recolección del agua tratada de 100mm de diámetro también con orificios de 5mm. espaciados cada 5 cm.

Fuera del lecho se ubica la caja que contiene el dispositivo de control de nivel, una tubería PVC de 100mm con capacidad de giro de 90°, la cual permite controlar fácilmente el nivel del agua dentro de los lechos, así como drenarlos completamente en el caso de ser necesario realizar alguna operación de mantenimiento.

Foto 4.6: Estructura de recolección y Control de nivel de agua en Humedal



4.2.2.4 Plantas

Las plantas seleccionadas fueron los Papyrus (*Cyperus Papyrus*), se escogió ésta planta ornamental a manera de investigación ya que pertenecía a la familia de las Ciperáceas, ampliamente usadas en sistemas de tratamiento similares.

El *Cyperus papyrus*; es una macrofita acuática emergente oriunda de Egipto, es alta, robusta y sin hojas. Puede llegar a medir hasta 4m. Crece en terrenos anegados, lagos poco profundos y riachuelos. Se desarrolla muy bien en zonas con clima de desierto tropical y subtropical, a temperaturas de 20 a 30 °C y pH desde 6 hasta 8.5. Su propagación es por división de las reservas

radiculares durante los meses de primavera y verano; además, en condiciones favorables, produce semillas fértiles.

Foto 4.7: *Macrófita acuática Cyperus Papyrus usada en el humedal construido.*



Foto 4.8: *Izquierda: Siembra de Papyrus, en Humedal Subsuperficial Oasis, Derecha: Se aprecia la densidad de plantación.*



4.2.3 Almacenamiento del Agua Regenerada y Actividad de Riego

El agua tratada se almacena en un sistema de almacenamiento de 18m³, para luego ser usada en el riego del área verde de 2680m², correspondiente al campo deportivo del asentamiento humano. El riego se realiza por aplicación directa al terreno, con una frecuencia de una vez por semana en invierno y tres veces por semana en verano.

Foto 4.9: (1) Vista inicial del área deportiva. (2) Aspecto del Campo Deportivo al mes del arranque del sistema. (3) Aspecto del Campo Deportivo a los dos meses del arranque. (4) Aspecto del Campo Deportivo en la Actualidad.



El campo deportivo fue sembrado con Grass Bermuda.

4.3 ESTUDIO EXPERIMENTAL REALIZADO

Las evaluaciones se realizaron dentro del periodo enero del 2 005 a julio del 2 006.

4.3.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Las muestras se tomaron, preservaron y analizaron en base a las técnicas descritas en el manual de Métodos Standard 20th. Edición 1998.

4.3.1.1 PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo fueron los siguientes:

- Ingreso al Sedimentador.
- Ingreso al Humedal Subsuperficial.
- Salida del Humedal Subsuperficial.

Grafico 4.1: Esquema de Ubicación de los Puntos de Muestreo

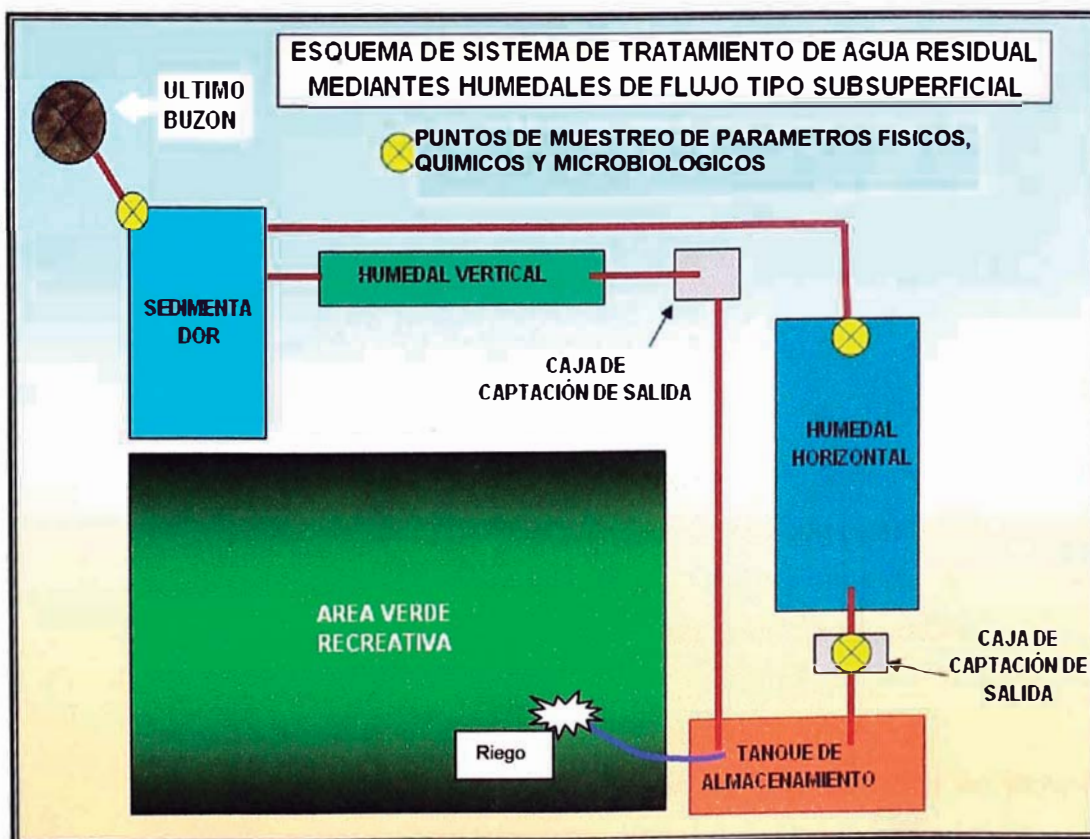


Foto 4.10: 1^{er} Punto de Muestreo "Ingreso al Sedimentador"



*Foto 4.11: Izquierda: 2^{do} Punto de Muestreo "Ingreso al Humedal Subsuperficial"
Derecha: 3^{er} Punto de Muestreo "Salida del Humedal Subsuperficial"*



4.3.1.2 NÚMERO DE CAMPAÑAS

Denominaremos campañas, a cada faena de un día, en la cual se tomaron muestras compuestas en los tres puntos mencionados en el ítem anterior. En todo el periodo de estudio se realizaron 10 campañas.

4.3.1.3 PARÁMETROS ESTUDIADOS

La relación de los parámetros evaluados y las fechas de cada campaña se muestran en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6 Fechas de Monitoreos y Parámetros Evaluados en cada Campaña.

ENSAYOS	ENERO 2005	MARZO 2005	MAYO 2005	JULIO 2005	SEPTIEMBRE 2005	DICIEMBRE 2005	FEBRERO 2006	ABRIL 2006	JUNIO 2006	JULIO 2006
DBO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DQO				X	X	X	X		X	X
FOSFATOS	X		X	X	X	X		X	X	X
N. ORG. TOTAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
N. AMONIACAL	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CONDUCTIVIDAD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
T°	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SST	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CT	X	X				X	X		X	X
CF	X	X				X	X		X	X
ALCALINIDAD									X	

4.3.1.4 MUESTREO

El muestreo generalmente se iniciaba a las 8:00 horas; las muestras fueron compuestas, obtenidas durante el muestreo en un periodo de 8 horas, salvo en los meses de diciembre del 2005 y febrero del 2006 donde se tomaron muestras en periodos de 6 y 5 horas respectivamente.

Las muestras se extrajeron en recipientes de plástico limpios y frascos de vidrio de diferentes capacidades de acuerdo al tipo de parámetro a ensayar, todos ellos debidamente etiquetados.

En todas las campañas de monitoreo se determinó *In situ* los siguientes parámetros: pH, conductividad, temperatura y sólidos disueltos.

Las muestras compuestas fueron llevados inmediatamente terminada la jornada de muestreo al laboratorio a ser ensayados.

Adicionalmente a la refrigeración y dependiendo del parámetro se preservó también con reactivos químicos, los cuales se resumen el cuadro siguiente:

Cuadro 4.8 Preservantes químicos utilizados para la conservación de aguas residuales.

Tipo	Parámetro	Tipo de envase	Preservante
Fisicoquímico	Acidez	Frasco Plástico	Refrigerar a 4° C
	Alcalinidad (CO^{-3} y HCO^{-3})		
	Alcalinidad Total		
	Color		
	Conductividad		
	Fosfato		
	Hierro divalente		
	Nitrito		
	pH		

	Sólidos Disueltos Totales		
	Sólidos Sedimentables		
	Sólidos Suspendedos Totales		
	Sólidos totales		
	Sulfato		
	Turbidez		
Parámetro orgánico	Aceites y Grasas	Frasco Vidrio Ámbar	HCL a pH<2 aprox. 20 gotas/litro de muestra
Nutrientes	Fósforo Total Nitrógeno Amoniacal Nitrógeno Total orgánico Orto fosfato	Frasco Plástico	Refrigerar a 4° C H2SO4 a pH<2; aprox. 10 gotas/litro de muestra Refrigerar a 4° C
Orgánico	DQO	Frasco plástico	H ₂ SO ₄ 10gotas/250mL
	DBO ₅	Vidrio/plstico	Refrigerar a 4° C
	Sulfuros	Frasco plastico	Acetato de cinc aprox. 40 gotas/litro y NaOH (6N) hasta pH > 9

4.3.1.5 DEL PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

4.3.1.6 MÉTODOLÓGÍA

La metodología usada para la determinación de los parámetros fue tomada de los procedimientos métodos Standard para análisis de agua y aguas residuales APHA-AWWA-WPCF, estos se resumen a continuación:

➤ **PH**

APHA-AWWA-WEF 4500-H⁺ B: 1998; 20TH Ed.
Método electrométrico.

➤ **TEMPERATURA**

APHA-AWWA-WEF 4500-H⁺ B: 1998; 20TH Ed.
Métodos de campo.

➤ **CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**

APHA-AWWA-WEF 2510-A: 1998; 20TH Ed.
Conductividad Eléctrica.

➤ **ALCALINIDAD**

EPA METED 310.1 Alkalinity Titration Method.
Método de titulación

➤ **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**

APHA-AWWA-WEF 2540-D: 1998; 20TH Ed.
Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C

➤ **NITRÓGENO AMONIAICAL**

APHA-AWWA-WEF 4500- NH₃-D: 1998; 20 th Ed.
Amonia Selective Electrode Method.

➤ **NITRÓGENO ORGANICO TOTAL**

APHA-AWWA-WEF 4500-Norg-B: 1998; 20 th Ed.
Macro-Kjeldahl Method.

➤ **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO**

APHA-AWWA-WEF 5210-B: 1998; 20 th.
Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5 Day BOD
Tes.

➤ **DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO**

APHA-AWWA-WEF 5220-B: 1998; 20 th. Chemical Oxygen Demand (DQO). Open Reflux Method.

➤ **FOSFATOS**

APHA-AWWA-WEF 4500-P-E: 1998; 20 th. Ed Phosphorus. Ascorbic Acid Meted

➤ **COLIFORMES TOTALES**

APHA-AWWA-WPCF.9221B / Standard method for the examination of water and wastewater 20a Ed. (punto 1 y 2) 1998. Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Techniques.

➤ **COLIFORMES FECALES**

APHA/AWWA-WPCF 9221E Standard Method for the examination of water and wastewater 20^a. Ed.(Punto 1) , 1998, Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure.

➤ **NEMATODES**

APHA-AWWA-WPCF, Part 10550B / 20Th /1998 / Collection and processing techniques for Nemátodes.

4.3.2 COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS LECHOS

El estudio del comportamiento hidráulico de los lechos se realizó en dos oportunidades; la primera utilizando como trazador Rhodamina WT, que se aplicó de manera puntual en una concentración al 10% no obteniéndose resultado alguno, ya que la Rhodamina fue absorbida en gran medida que no pudo ser

determinada por el método de detección utilizado (colorimétrico).

En una segunda instancia, se utilizó como trazador sal común o cloruro de sodio, es sabida de la variabilidad de este parámetro en las aguas residuales, pero se decidió su utilización por encontrarse cierta tendencia predecible en los valores de concentración de sales en el efluente; el estudio consistió en la inyección puntual de 6 000 g de sal común, disueltos en 54 litros de agua (11,11%) y la toma de muestras cada hora a lo largo de 18 días de monitoreo; la concentración de las sales se realizó con el Conductímetro HANNA-HI-98129, en el mismo campo. El peso del trazador usado en cada caso se calculó mediante la fórmula siguiente.

$$P = \frac{VKCo}{I \cdot 10^3} \quad (4.1)$$

Donde:

- P: Peso del trazador a añadir al reactor (kg)
- V: Volumen del reactor (m³)
- K: Constante de Corrección (*)
- Co: Concentración del trazador (mg/L)
- I: Grado de Pureza del trazador.

Tras la experiencia con la Rhodamina WT, la formula 4.1 se utilizó de manera referencial para la sal común, el principio fue elevar la concentración de sales hasta valores mucho mayores a los registrados históricamente, tratando de no sobrepasar los límites de salinidad para no perjudicar a las plantas.

4.3.3 Estudio del Material Granular

Se realizó el análisis granulométrico de una muestra representativa del material utilizado en la constitución del lecho del humedal.

Las determinaciones fueron realizadas por el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, el procedimiento fue realizado en base a la Norma ASTM D 422.

Así mismo se determinó el Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso de acuerdo a la norma ASTM C-127.

De los datos anteriores se procedió a calcular la Porosidad del Material según la siguiente relación:

$$n = 100 \frac{V_w}{V_T} \quad (4.2)$$

Donde:

n: Porosidad del medio granular, en %.

V_T : Volumen total de medio granular usado en el ensayo.

V_w : Volumen de agua añadida al medio granular hasta su saturación Completa.

4.3.4 Estudio Hidráulico

4.3.6.1 Determinación de Caudales:

El sistema de tratamiento no cuenta con mecanismos que permitan medir los caudales de forma directa. Los caudales de agua residual se estimaron a partir de la determinación horaria de los volúmenes por unidad de tiempo.

Se realizó la medición de caudales al ingreso y salida del humedal, en todas las campañas de monitoreo; el trabajo consistió en el aforo horario durante un periodo de 18 horas, usualmente desde las de 7:00 hasta las 24:00 horas; salvo en las campañas correspondientes a los meses de diciembre del 2005 y febrero del 2006, en las cuales se tomaron 8 y 6 horas respectivamente

De los resultados obtenidos se determinará finalmente los caudales Promedio, Máximo y Mínimo Horarios representativos para el periodo total de estudio.

4.3.6.2 Determinación del factor punta horario (K_2)

Se calculó tomando el cociente del máximo consumo horario registrado y el valor medio.

4.3.6.3 Determinación del Caudal Promedio Tratado por Humedal

El caudal medio de agua residual que nos permitirá calcular las cargas contaminantes y corregir el diseño se calculó de la siguiente manera:

$$QP = \frac{Qa + Qe}{2} \quad (4.3)$$

Donde:

QP: Caudal Promedio que pasa por el lecho del Humedal (L/s)

Qa: Caudal Afluente (L/s)

Qe: Caudal Efluente (L/s)

CAPITULO 5:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

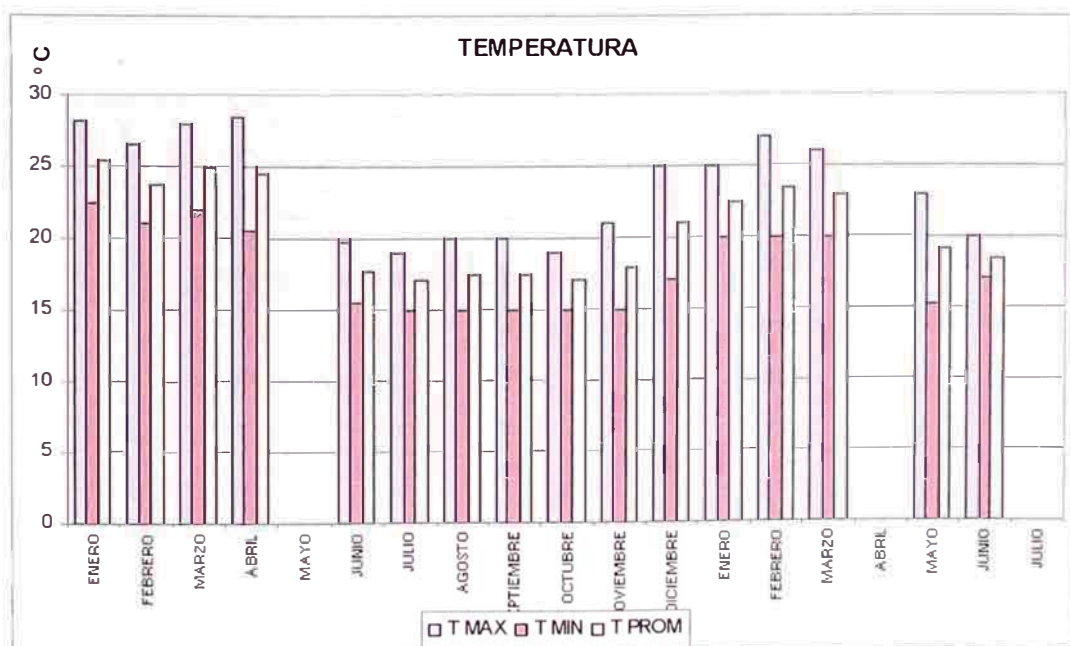
Los resultados que se presentan en este capítulo son los obtenidos durante el estudio realizado en el humedal construido de flujo subsuperficial del AAHH. Oasis de Villa el Salvador en el periodo comprendido entre enero del 2005 y julio del 2006.

5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE FUNCIONAMIENTO DEL HUMEDAL

5.1.1 Características Ambientales

En los Graficos N° 5.1 y 5.2 se resume la información meteorológica facilitada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI; estos datos fueron los reportados por la Estación Pantanos de Villa ubicado en Villa el Salvador.

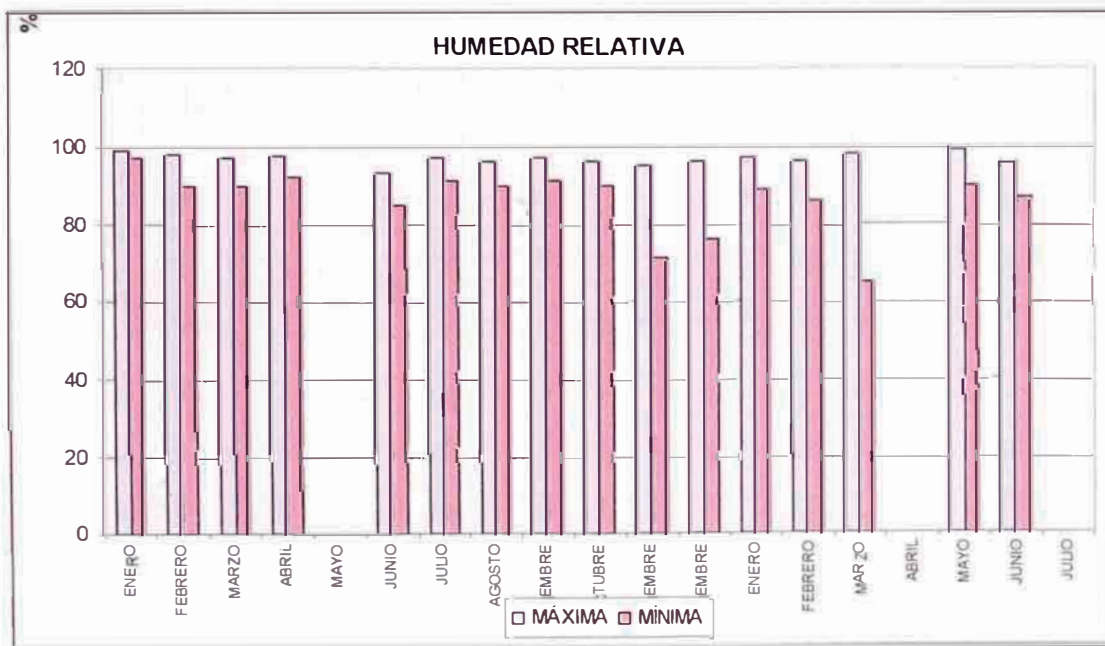
Cuadro 5.1: Valores medios de las temperaturas máxima, mínima y promedio de cada uno de los meses de realización del estudio.



Los datos faltantes son los correspondientes a los meses de mayo del 2005, abril del 2006 y julio del 2006. Sin embargo de acuerdo a los valores históricos, estos promedios se encuentran dentro de los valores habituales.

Así mismo el cuadro 5.2 resume los valores máximos y mínimos de Humedad Relativa, registrados por la misma estación para el periodo comprendido entre los meses de enero del 2005 y julio del 2006 a excepción de los meses faltantes mencionados anteriormente.

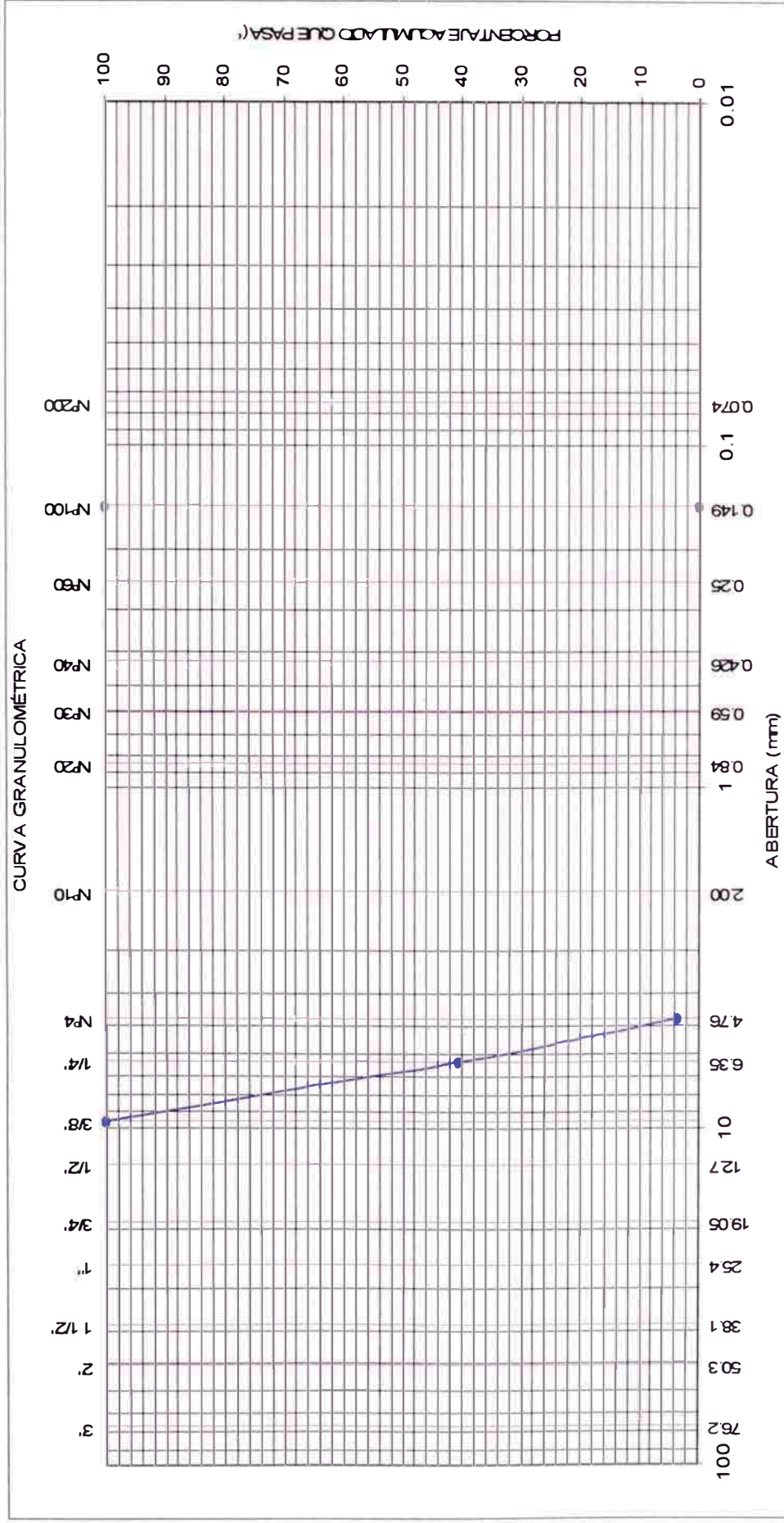
Cuadro 5.2: Valores medios Humedad Relativa máxima y mínima.



5.1.2 Estudio del Material Granular

En el gráfico 5.1 se presentan los resultados del ensayo Granulométrico.

Gráfico 5.1: Resultados del Ensayo Granulométrico



El cuadro 5.1 recoge los parámetros calculados a partir del Ensayo Estandart de suelos (Ver anexo)

Cuadro 5.3: Resultados del Ensayo Estandart

Parámetro	Valor
D ₁₀	5,00 mm
D ₃₀	5,90 mm
D ₆₀	7,25 mm
C _u =D ₆₀ /D ₁₀	1,45
C _c =D ₃₀	0,96
Porosidad	34,9 %

De acuerdo al análisis granulométrico puede asegurarse que el material constituyente del lecho es bastante uniforme, ya que el 96,4% queda retenido entre el tamiz 3/8" y N° 4.

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el material está considerado como GP Grava Pobre o mal gradada, con predominio de los tamaños 3/8" y N° 4 y pocos finos. Se trata por tanto de un material de porosidad considerable en estado compactado y compresibilidad muy baja. Este material resulta poco afectado por la humedad, no se modifican por efectos de las heladas y son estables al flujo del agua.

La porosidad del material resulta 34,9%, el valor está por debajo del asumido para el diseño, esto tendrá implicancias en la sollicitación del área superficial y transversal. Así mismo con los datos obtenidos podemos estimar el valor aproximado de la conductividad hidráulica del medio, interpolando valores del cuadro 2.5 (Capítulo 2) se obtiene el valor 4865,42 m/día, que es un valor muy por debajo de los 10 000 m/día usados en el diseño, lo cual tiene incidencia directa sobre la relación de aspecto y la pérdida de cabeza en el sistema. Ambos factores, porosidad y conductividad evidencian la utilización de un material más fino que el planteado en el diseño.

Aunque la capa de arena gruesa de 0,15m de espesor, se encuentra por encima del tirante de agua del sistema, no teniendo influencia en los parámetros hallados anteriormente; tiene importancia en la medida que su presencia haya sido uno de los factores causantes de la incipiente colmatación del lecho.

En forma genérica los parámetros evaluados cumplen con las recomendaciones bibliográficas como por ejemplo: D₁₀ mayor que 0,3 mm y un coeficiente de uniformidad mucho menor que 4 Brix (1 996).

5.1.3 Evolución de la Vegetación

En el siguiente cuadro se presentan las características de la planta escogida para el tratamiento:

Cuadro 5.4 Clasificación de la Macrofito

Reino	Plantae
Sub reino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Cyperaceae
Género	Cyperus L.
Especie	Cyperus papyrus L.

Fuente: Natural Resources Conservation Service

No se presentaron problemas referentes a adaptación de las plantas, los Papyrus se desarrollaron en forma normal; esto indica que el agua suministrada no contenía elementos tóxicos ni inhibidores. La siembra se realizó utilizando plantas pequeñas, la

densidad de cobertura inicial fue de 3 und/m², se plantó a una separación aproximada de 0,60m, tomando en consideración las recomendaciones de la EPA (0,30m a 1,00m).

En las siguientes imágenes se aprecia el proceso de densificación de las macrofitas a lo largo del estudio.

Figura 5.1: Proceso de Densificación del Cyperus Papyrus.



- (1): Densidad de plantación al inicio de funcionamiento del sistema Junio 2004
- (2): Densidad de plantación a Septiembre del 2004
- (3): Densidad de plantación a Enero del 2005
- (4): Densidad de plantación a Julio del 2006

Actualmente la profundidad radicular es de 0,40 m con una altura de 1,55 m en promedio y una densificación total en toda el área superficial del humedal.

El proceso de crecimiento de las plantas generó un aspecto interesante que resaltar y que en definitiva tiene influencia sobre la

hidráulica del sistema; se refiere al gran grosor que adquieren los tallos y raíces; en la totalidad de los casos se ha encontrado raíces muy robustas, donde se diferencian dos componentes, el primero conformado por raíces finas muy tupidas de crecimiento horizontal y que forman un volumen apreciable bastante compacto; mientras que el segundo componente está conformado por raíces verticales, las cuales son un poco más gruesas y más largas que las anteriores pero escasas; aunque no exista consenso universal a cerca del efecto de las plantas sobre la conductividad hidráulica, podemos intuir que este tipo de plantas podría crear flujos preferenciales en el lecho del humedal, disminuyendo por consiguiente el periodo de contacto entre las raíces y el agua.

La profundidad alcanzada por las raíces de los Papyrus, es en promedio 0,40m valor por debajo de lo esperado, se sabe que estas plantas en condiciones óptimas alcanzan profundidades radiculares del orden de los 0,50m; esto puede tener explicación en que no se reguló el nivel de agua durante la etapa de crecimiento, como lo recomienda la bibliografía.

Por otro lado, al ser los Papyrus sembrados a partir de plantas pequeñas, fue inevitable la inclusión de mala hierba y algunas otras plantas, dentro del humedal; esto no representa un problema grave ya que rutinariamente son retiradas del humedal durante la operación de limpieza.

5.1.4 Estimación de los Caudales

La planta de tratamiento no cuenta con dispositivos de medición de caudal; no obstante en todas y cada una de las campañas de monitoreo fueron también evaluados los caudales afluente y efluente al humedal.

Cada conjunto de datos corresponde al aforo horario durante un periodo de 18 horas, usualmente desde las de 7:00 hasta las 24:00 horas; salvo en las campañas correspondientes a los meses

de diciembre del 2005 y febrero del 2006, en las cuales se tomaron 8 y 6 horas respectivamente.

Gráfico 5.2: Curva de tendencia de caudales para el periodo de estudio

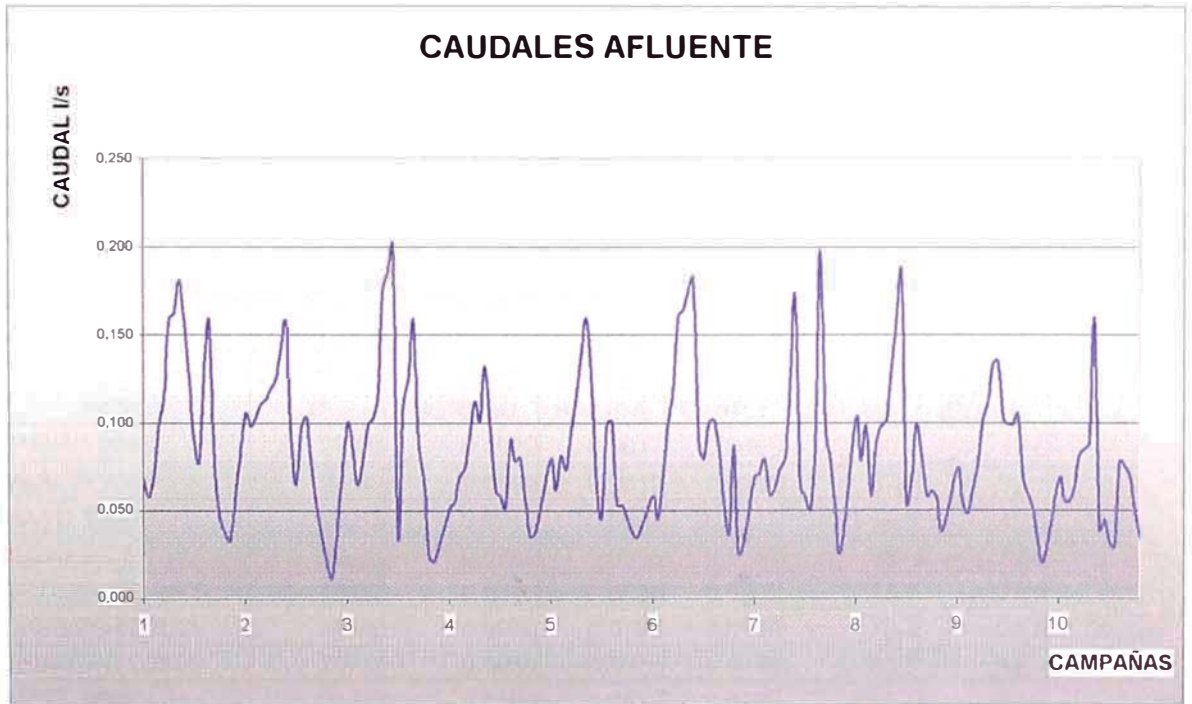
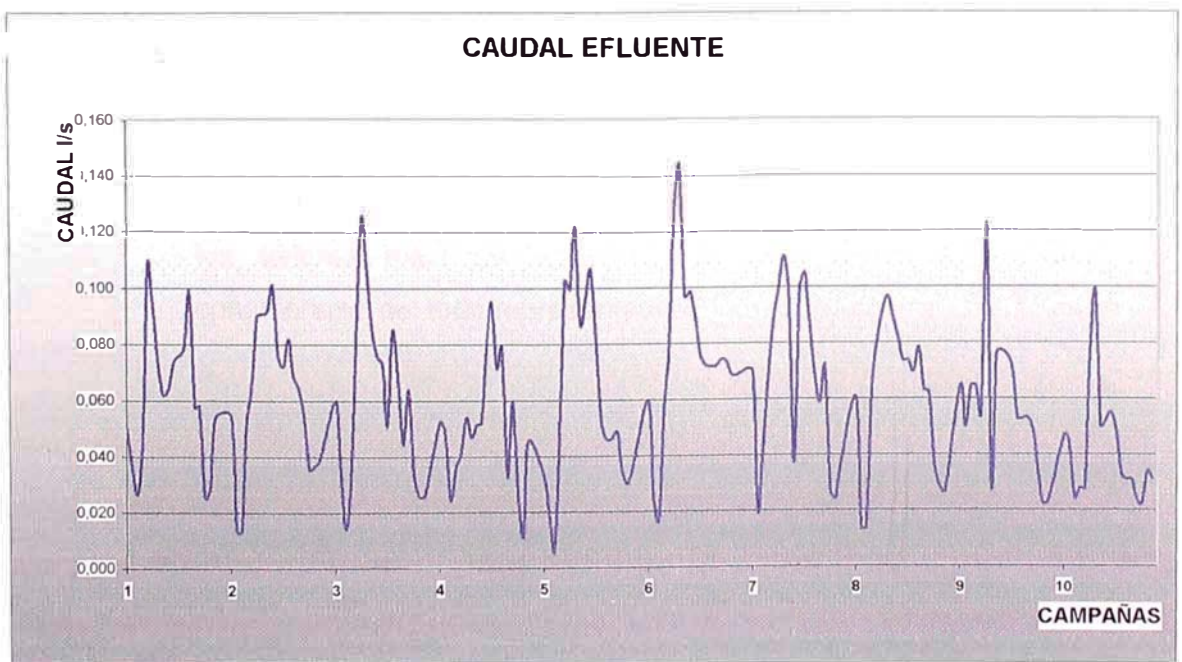


Gráfico 5.3: Curva de tendencia de caudales para el periodo de estudio



El patrón bimodal de comportamiento para el caudal indica que se presenta dos picos, el primero ocurre entre las 11:00 y las 15:00 horas y el segundo entre las 19:00 y las 20:00 horas. Esto es debido a que en la mayoría de las familias ambos cónyuges trabajan y con ello el patrón bimodal se acentúa.

Así mismo es posible obtener, solo a manera referencial, el valor de evapotranspiración para cada campaña de muestreo; el cual se presenta a continuación:

Cuadro 5.5: Evapotranspiración, valor puntual hallado en cada campaña de monitoreo.

MESES	T°	Q(L/s)			% CAUDALES	
		INGRESO	SALIDA	EVAPO	SALIDA	EVAPO
ENERO 2005	27,06	0,1022	0,0617	0,0405	60,4	39,6
MARZO 2005	24,58	0,0899	0,0610	0,0288	67,9	32,1
MAYO 2005	22,83	0,1018	0,0603	0,0415	59,2	40,8
JULIO 2005	20,33	0,0740	0,0503	0,0237	68,0	32,0
SETIEMBRE 2005	19,49	0,0810	0,0608	0,0202	75,1	24,9
DICIEMBRE 2005	26,30	0,0959	0,0760	0,0199	79,2	20,8
FEBRERO 2006	25,12	0,0830	0,0670	0,0160	80,7	19,3
ABRIL 2006	21,61	0,0895	0,0612	0,0283	68,4	31,6
JUNIO 2006	19,93	0,0794	0,0573	0,0221	72,2	27,8
JULIO 2006	19,81	0,0633	0,0421	0,0212	66,5	33,5

Es importante precisar que existieron limitaciones durante el aforo del afluente al humedal; debido a las dimensiones de la estructura existente que no permitió la colocación de recipientes de volúmenes mayores a los 2 litros de capacidad; por consiguiente los valores máximos obtenidos en este punto no pueden considerarse del todo representativos.

Gráfico 5.4: Tendencia de los caudales afluentes: máximos, mínimos y promedio para el periodo de estudio.

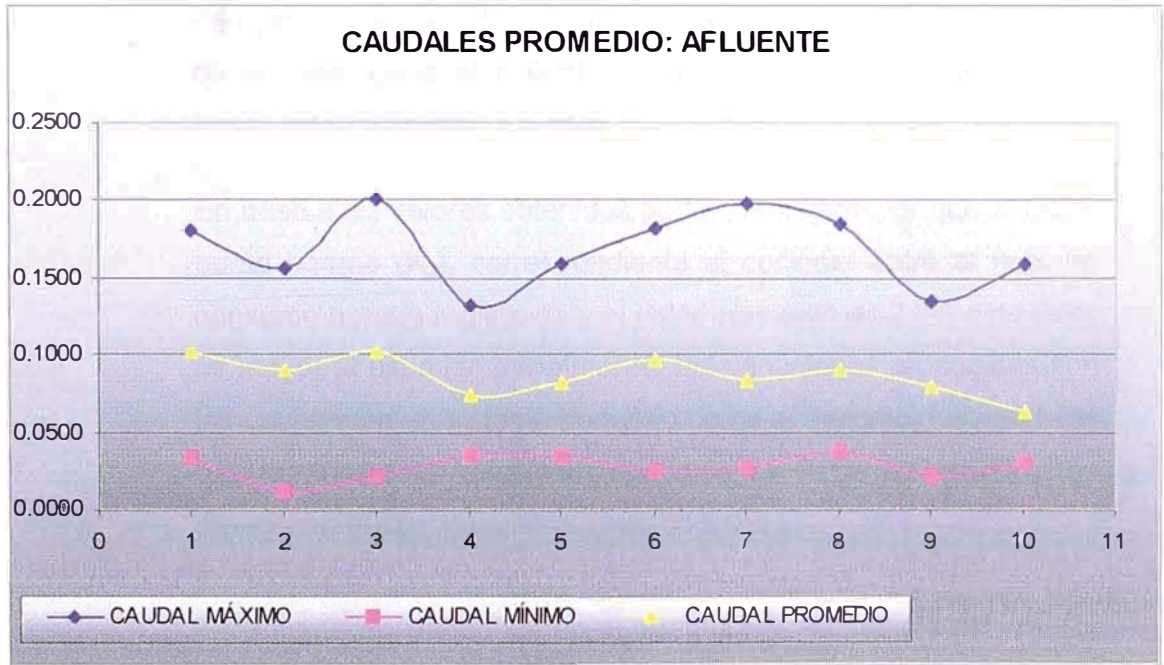
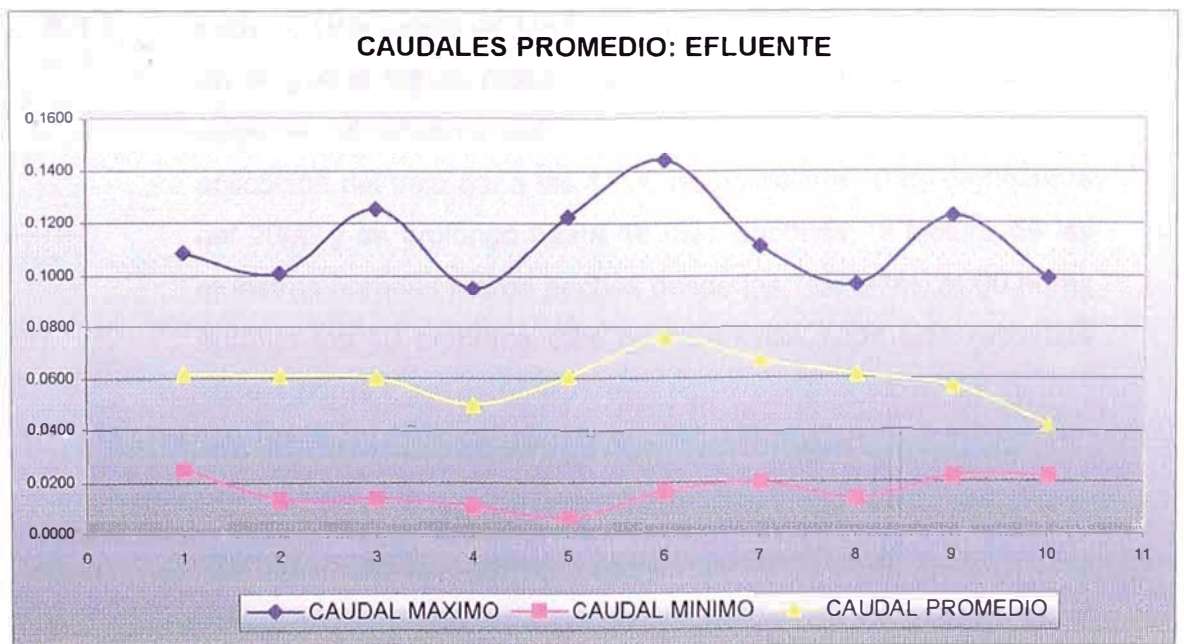


Gráfico 5.5: Tendencia de los caudales efluentes: máximos, mínimos y promedio para el periodo de estudio.



Los caudales mínimos determinados, son solo los correspondientes a los valores comprendidos dentro del periodo de muestreo (7:00 a 24:00); sin embargo, es sabido que en horas de la madrugada el caudal baja considerablemente llegando a tomar valores cercanos a cero.

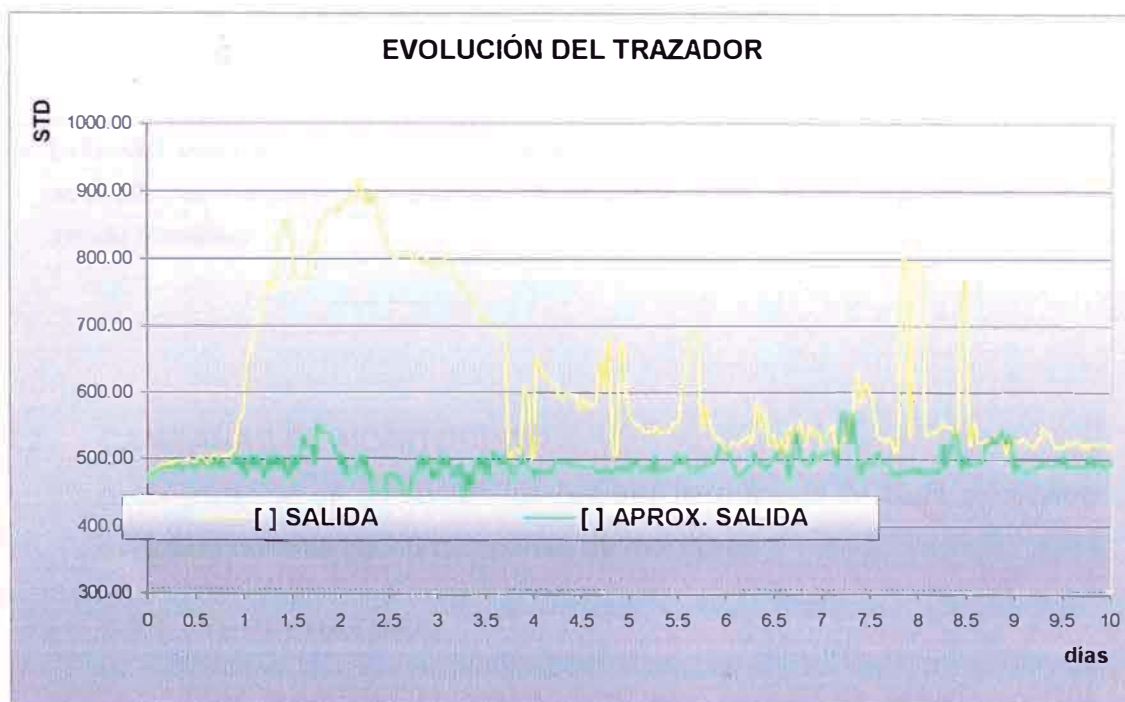
En base a los valores obtenidos podemos determinar que el factor punta horario (K_2), correspondiente al cociente entre el máximo consumo horario registrado y el valor promedio es 2,34; este valor es mayor al asumido inicialmente, las variaciones producidas son las usuales en un sistema pequeño como el descrito; los caudales pico horarios están asociados con la descarga de los lavaderos de ropa y con el consumo en duchas de baño.

Finalmente apoyándonos en el cuadro 5.5, es posible estimar el caudal horario promedio de agua residual que nos permitirá a su vez, calcular las cargas contaminantes, este puede determinarse como el promedio de los caudales promedios del afluente y efluente, obteniéndose así el valor de 0,0729 L/s.

5.1.5 Estudio Hidráulico de los Lechos

En el gráfico 5.6 se muestra la evolución de la concentración de sales en el efluente del humedal; la prueba se inició con la aplicación del trazador a las 14:30 horas del día 10 de septiembre del 2006 y se prolongó hasta 18 días después; la lectura de las muestras horarias fueron hechas desde las 7:00 a las 24:00 horas durante los 10 primeros días de monitoreo y los días restantes cada 4 horas.

Gráfico 5.6: Evolución de la concentración de sales disueltas durante la prueba de trazador.



La concentración de sales disueltas promedio en el efluente (—) está calculada a partir de los datos de la concentración del afluente.

La prueba presentó dos limitaciones, la primera radicó en que la planta no cuenta con una unidad de regulación que permita mantener un caudal constante, se comentó anteriormente que en horas de la noche el caudal prácticamente es cero, por lo que resultó imposible otorgar a los resultados de la prueba un peso estadístico; la segunda limitación consistió en la determinación de sales totales disueltas como indicador de la concentración de la sal utilizada como trazador, obviamente en la determinación de campo se incluyeron sales de origen diferente al aplicado para la prueba; así mismo se consideró que la concentración de sólidos disueltos en el humedal era función de la concentración de sólidos disueltos en el afluente⁽¹⁾, siendo esta una aproximación muy grosera. Sin embargo creemos que las grafica 5.6 puede brindarnos información acerca del comportamiento hidráulico del humedal en condiciones normales, podemos por ejemplo apreciar que después del séptimo día todavía se presentan

concentraciones altas de manera puntual; esto denota la existencia de flujos preferenciales y zonas muertas.

(1) La concentración de sólidos disueltos en efluente fue determinada a partir de la concentración en el afluente + 50ppm. (valor promedio de las desviaciones halladas en la etapa previa al estudio hidráulico)

5.2 CAMPAÑAS DE MONITOREO

A continuación se presentan los cuadros resúmenes de cada parámetro evaluado durante las 10 campañas de monitoreo.

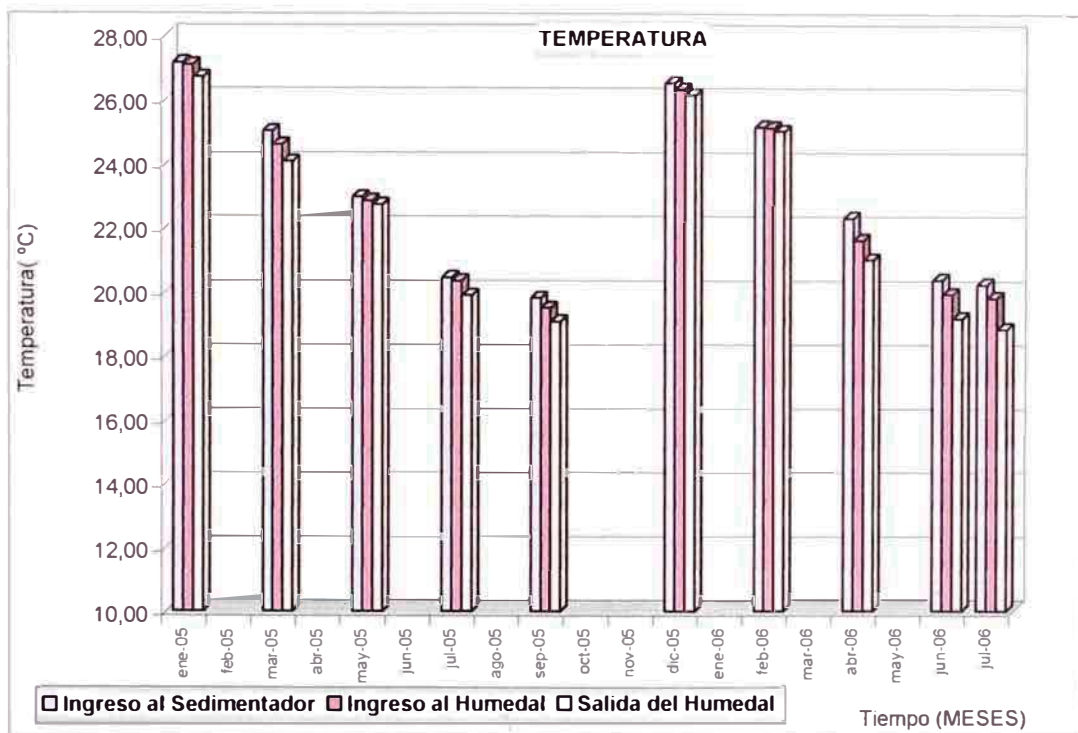
5.2.1 TEMPERATURA:

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran en el cuadro 5.6:

Cuadro 5.6: Variación de Temperatura durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑAS	TEMPERATURA		
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.
Enero-05	27,12	27,06	26,68
Marzo-05	25,00	24,58	24,05
Mayo-05	22,95	22,83	22,71
Julio-05	20,43	20,33	19,88
Septiembre-05	19,80	19,49	19,07
Diciembre-05	26,50	26,30	26,12
Febrero-06	25,14	25,12	25,00
Abril-06	22,30	21,61	21,00
Junio-06	20,37	19,93	19,16
Julio-06	20,22	19,81	18,83

Gráfico 5.7: Variación de Temperatura durante el periodo de monitoreo.



Las temperaturas promedio al ingreso de la planta son ligeramente superiores a las reportadas por la estación meteorológica consultada y cuyo resumen se presentó en el cuadro 5.1; a excepción de los meses de diciembre del 2005 y febrero del 2006, donde existen diferencias substanciales; las mismas que atribuimos a que en ambos casos la toma de muestras fueron realizadas en horas de la mañana, reportándose por consiguiente valores de temperatura más altos.

En el periodo de investigación, la temperatura máxima alcanzada al ingreso del humedal fue de 27,06 °C y la mínima de 19,49 °C, en los meses de enero del 2005 y septiembre del 2006 respectivamente; este intervalo resulta aceptable dentro de las recomendaciones para el establecimiento de los papyrus y para el desarrollo de la actividad bacteriana.

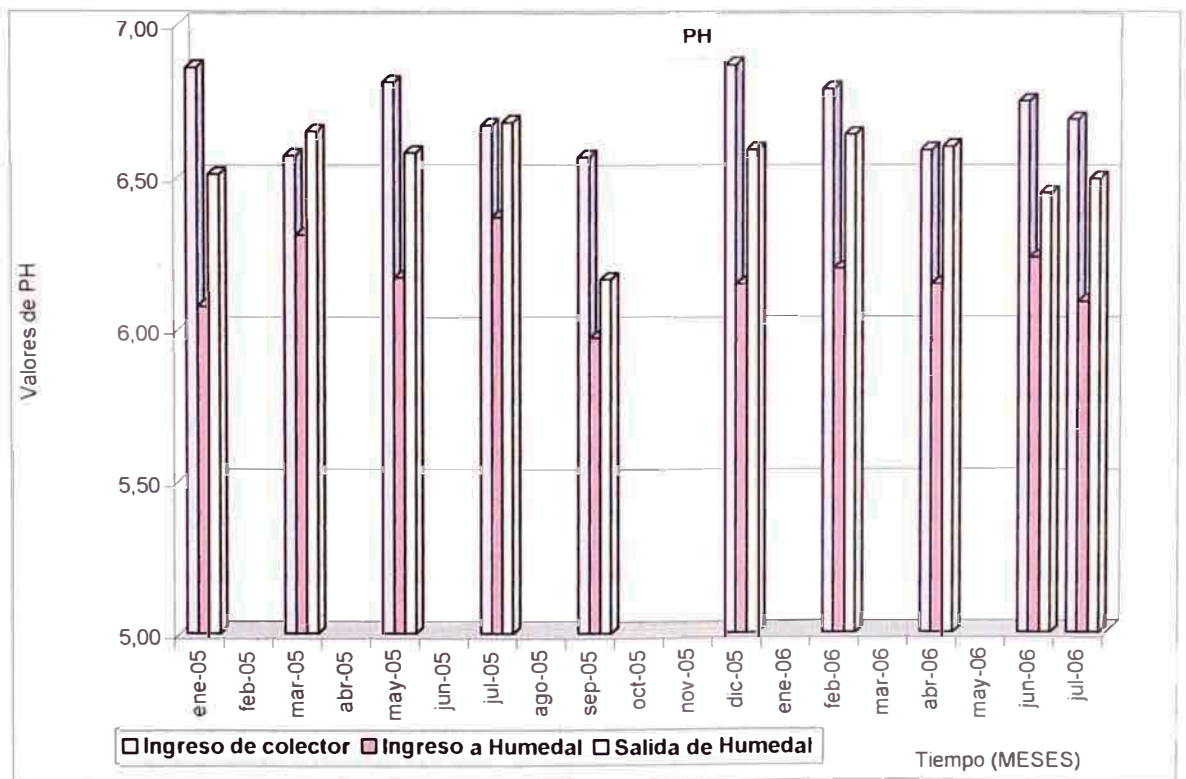
5.2.2 pH:

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran en el cuadro 5.7:

Cuadro 5.7: Variación del pH durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑAS	pH		
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.
Enero-05	6,86	6,08	6,51
Marzo-05	6,57	6,31	6,65
Mayo-05	6,81	6,17	6,58
Julio-05	6,67	6,37	6,68
Septiembre-05	6,57	5,97	6,17
Diciembre-05	6,87	6,15	6,59
Febrero-06	6,79	6,20	6,64
Abril-06	6,59	6,15	6,60
Junio-06	6,75	6,24	6,45
Julio-06	6,69	6,09	6,50

Gráfico 5.8: Variación del pH durante el periodo de monitoreo.



Los valores de pH del crudo oscilan entre 6,57 y 6,87, los del afluente entre 5,97 y 6,37; y los del efluente entre 6,17 y 6,68.

Nótese que el agua cruda tiene un pH ligeramente ácido, esto probablemente sea debido a la utilización de productos de limpieza, no se encuentra otra explicación lógica ya que el pH del agua de abastecimiento está al rededor de 7.

El intervalo de pH en el que funciona el humedal está dentro del rango aceptable para el crecimiento de los papyrus y las bacterias.

La disminución del pH del agua a su paso por el sedimentador probablemente sea debido a la formación de ácidos grasos, propios de un sistema anaerobio; y el posterior aumento del pH a la salida del humedal se debe a la acumulación de nitrógeno amoniacal, producto de la descomposición del nitrógeno orgánico.

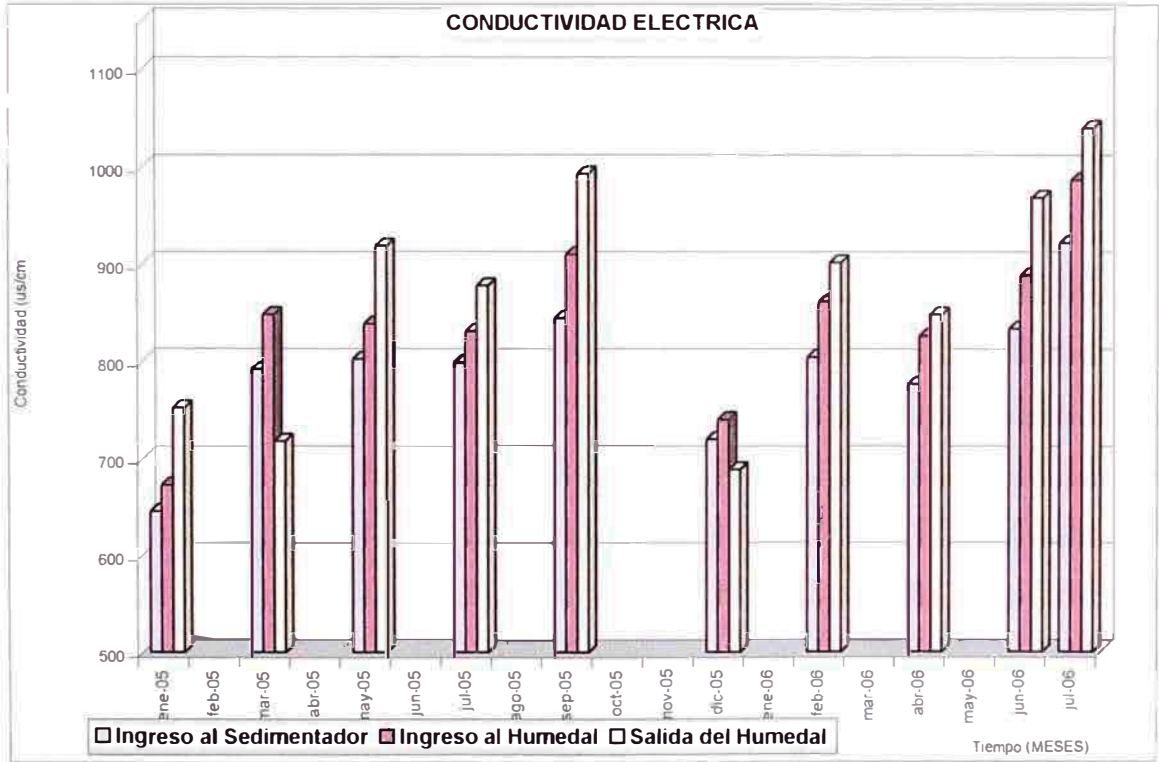
5.2.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS:

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran a continuación:

Cuadro 5.8: Variación de Conductividad durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑAS	CONDUCTIVIDAD				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05	646	672	752	-26,8	-79,5
Marzo-05	792	848	718	-56,0	130,2
Mayo-05	802	838	919	-36,0	-81,0
Julio-05	799	831	878	-32,0	-47,0
Septiembre-05	844	910	993	-66,0	-83,4
Diciembre-05	720	740	688	-20,1	51,6
Febrero-06	804	862	902	-57,8	-39,9
Abril-06	776	826	848	-50,0	-21,8
Junio-06	834	889	969	-54,8	-80,1
Julio-06	922	987	1041	-64,7	-54,1

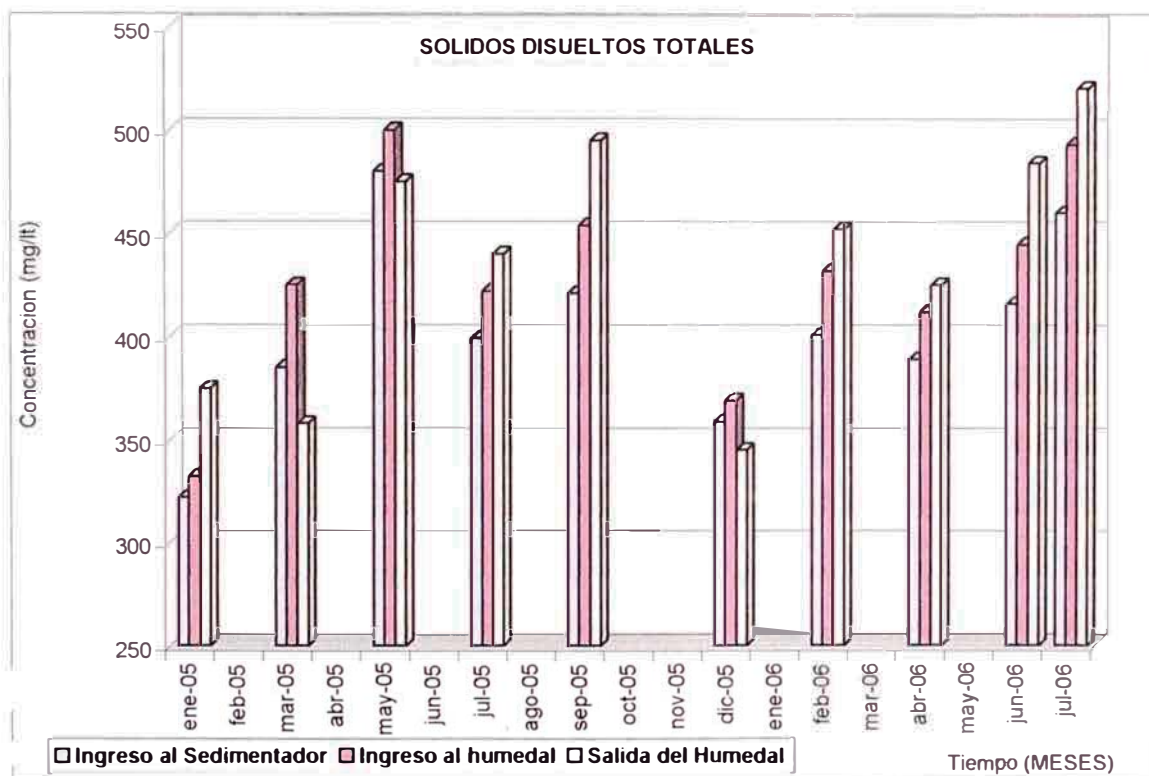
Gráfico 5.9: Variación del Conductividad durante el periodo de monitoreo.



Cuadro 5.9: Variación de Sólidos Disueltos durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑAS	SÓLIDOS DISUELTOS				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05	322	332	375	-3,1	-13,0
Marzo-05	385	425	358	-10,4	15,8
Mayo-05	480	500	475	-4,2	5,0
Julio-05	399	422	440	-5,8	-4,3
Septiembre-05	421	454	495	-7,8	-9,1
Diciembre-05	359	369	345	-2,8	6,5
Febrero-06	401	432	452	-7,7	-4,6
Abril-06	389	412	425	-5,9	-3,2
Junio-06	416	445	484	-6,9	-8,9
Julio-06	460	493	521	-7,2	-5,6

Gráfico 5.10: Variación de Sólidos Disueltos durante el periodo de monitoreo.



La conductividad eléctrica está relacionada con los sólidos totales disueltos, la variabilidad de ambos parámetros en el agua cruda a lo largo de los meses de estudio, demuestra que ambos son función de los usos y actividades específicas de la población; por ejemplo los fosfatos provenientes del uso de detergentes son uno de los principales contribuyentes de sales disueltas a las aguas residuales.

Se aprecia que al paso por el sedimentador la concentración de sales aumenta debido a la descomposición inicial de la materia orgánica; igualmente sucede al paso del agua por el humedal, donde el incremento de sales se debe principalmente al proceso de mineralización, con la consiguiente formación de carbonatos, sulfuros, amoníaco, nitratos y fosfatos; salvo las excepciones de marzo y diciembre del 2005 donde hubo remoción de sales disueltas.

En la actualidad la conductividad es el parámetro más importante para determinar la posibilidad del uso de un agua para riego (Crites-Tchobanoglous, 2000), los valores pico de conductividad obtenidos tras el paso del agua por el humedal se encuentran en promedio alrededor de 1 041,14 $\mu\text{s}/\text{cm}$, valor por debajo de lo recomendado, 1 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$; por lo que el agua tratada no restringe su uso por salinidad.

5.2.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

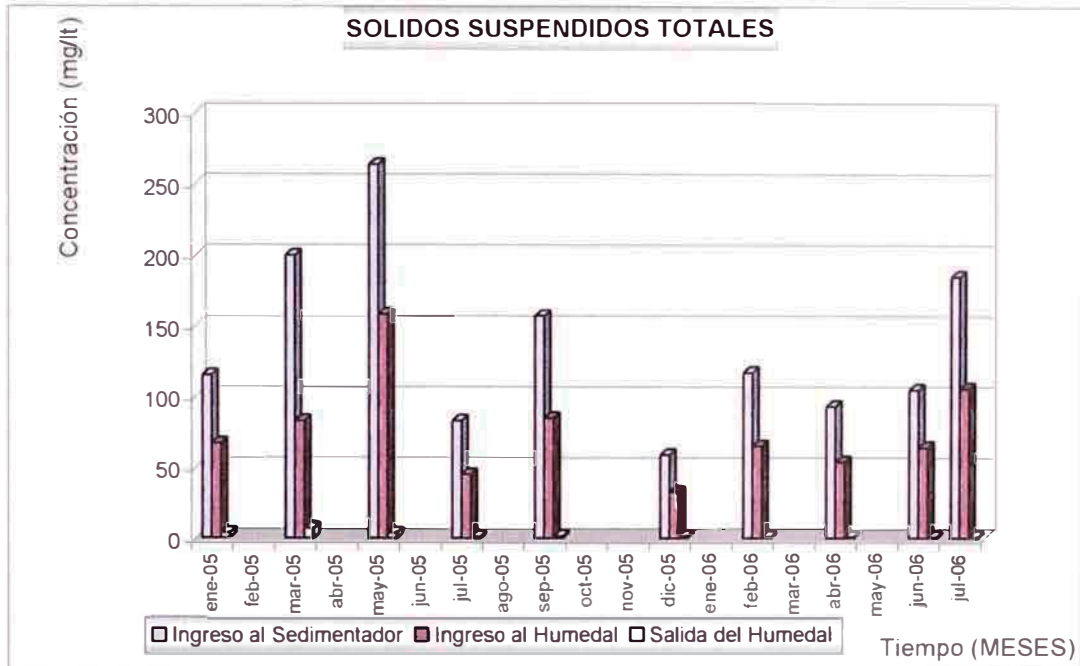
Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran en el cuadro 5.10:

Este parámetro es uno de los que presenta mayor grado de remoción, manteniéndose la eficiencia, durante todo el periodo de estudio, al rededor de 96,7 %.

Cuadro 5.10: Variación de Sólidos Suspendidos Totales durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑAS	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05	115	67	4	41,7	94,0
Marzo-05	200	83	7	58,5	91,6
Mayo-05	264	158	4	40,2	97,5
Julio-05	83	45	<1	45,8	97,8
Septiembre-05	157	85	1,58	45,9	98,1
Diciembre-05	59	33	1,8	44,1	94,5
Febrero-06	117	65	<1	44,4	98,5
Abril-06	93	54	1,3	41,9	97,6
Junio-06	105	64	<1	39	99
Julio-06	185	106	<1	43	99

Gráfico 5.11: Variación de Sólidos Suspendedos Totales durante el periodo de monitoreo.



Desde el comienzo del estudio se hallaron eficiencias altas respecto a este parámetro, se aprecia que los mayores porcentajes de remoción se han venido dando en las últimas campañas, esto puede deberse a la incipiente colmatación del lecho; es sabido que las partículas sólidas son retenidas en el primer tramo del humedal, dado esto, es posible que los sólidos retenidos estén sirviendo ahora como medio filtrante adicional, trayendo consigo una mayor retención de las partículas más finas.

Es importante mencionar que el humedal estuvo sometido a cargas altas de sólidos en dos eventos bien marcados dentro de su periodo de funcionamiento, el primero cuando se realizó el mantenimiento correctivo del sistema a los pocos meses de iniciada su operación, razón por la cual el flujo, en su totalidad, fue derivado al humedal; el segundo evento está relacionado con el mantenimiento deficiente del sedimentador, que ocasionó el paso de grasas y sólidos al humedal; a estos eventos podrían atribuírseles la temprana colmatación del lecho, que se evidenció

en el mes de mayo del 2006 cuando se advirtió la presencia de flujo superficial en el humedal.

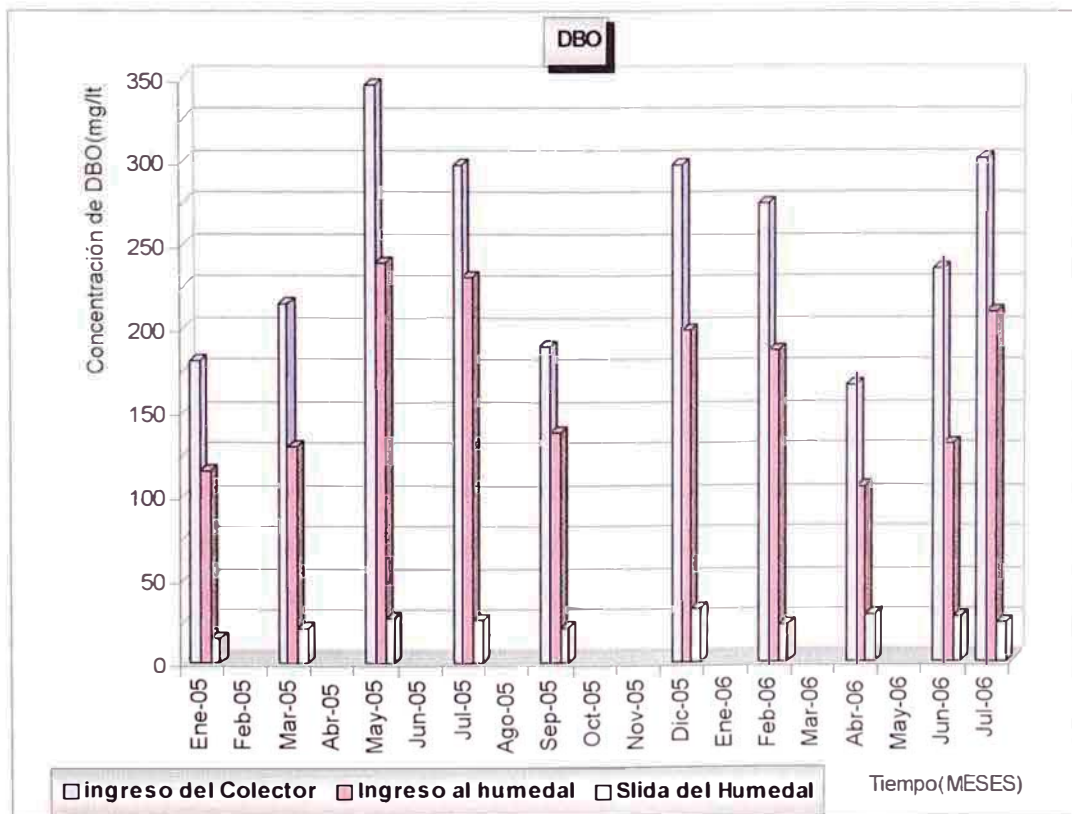
5.2.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran en el cuadro 5.12:

Cuadro 5.12: Variación de la DBO₅ durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑA	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO-DBO ₅				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05	180	115	14	36,1	87,8
Marzo-05	215	129	21	40,0	83,7
Mayo-05	345	239	26	30,7	89,1
Julio-05	298	231	25	22,5	89,2
Septiembre-05	189	138	20	27,0	85,5
Diciembre-05	298	199	31	33,2	84,4
Febrero-06	275	187	22	42,5	88,2
Abril-06	166	105	28	36,7	73,3
Junio-06	236	130	26	44,9	80,0
Julio-06	301	210	23	30,2	89,0

Gráfico 5.13: Variación de la DBO₅ durante el periodo de monitoreo.



La DBO₅ promedio del crudo fue de 250,30 ppm, del afluente al humedal 168,3 ppm y del efluente 23,6 ppm.

El sedimentador realiza una buena remoción de DBO₅ en promedio alrededor del 34,4%; en cuanto a los porcentajes de remoción alcanzados por el humedal se tiene el valor máximo de 89,2% y un mínimo de 73,3%, alcanzados en los meses de julio del 2005 y abril del 2006 respectivamente.

El valor de remoción máximo alcanzado coincide con una de las temperaturas más bajas presentadas en el afluente (20,33°C), esto podría sugerir una mayor solubilidad del oxígeno debido al descenso de la temperatura, permitiendo la mejor oxidación en el humedal, en comparación con las otras campañas; sin embargo una remoción similar se alcanzó en el mes de febrero del 2006 a una temperatura de 25,12°C, por lo que deducimos que la temperatura probablemente no sea el factor determinante en el incremento de la remoción de DBO₅, al menos no en un rango de valores como el trabajado durante la investigación, donde la mínima temperatura obtenida en el crudo fue de 19.8° C.

En referencia al porcentaje de remoción mínimo alcanzado, debemos mencionar que corresponde a la campaña en la que se presentó una DBO₅ de 105 ppm en el afluente, uno de los valores más bajos; es muy sabido que la capacidad de amortiguamiento y la concentración de fondo del humedal influyen significativamente en la remoción de este parámetro, es así que la interpretación de la eficiencia a partir de los porcentajes de remoción alcanzados resultan imprecisos sin el análisis de los valores afluentes y efluentes en conjunto, lógicamente si la DBO₅ afluente es pequeña presentará un porcentaje de remoción menor, debido a que la diferencia afluente-efluente es menor.

La media de los valores de DBO₅ hallados en el efluente es 23,60 ppm, donde el intervalo de confianza de +/- 2,94 con un $\alpha = 0,05$, está en el rango <20,66-26,54> con un grado de confianza del 95%; el 70% de las muestras cae dentro de este rango.

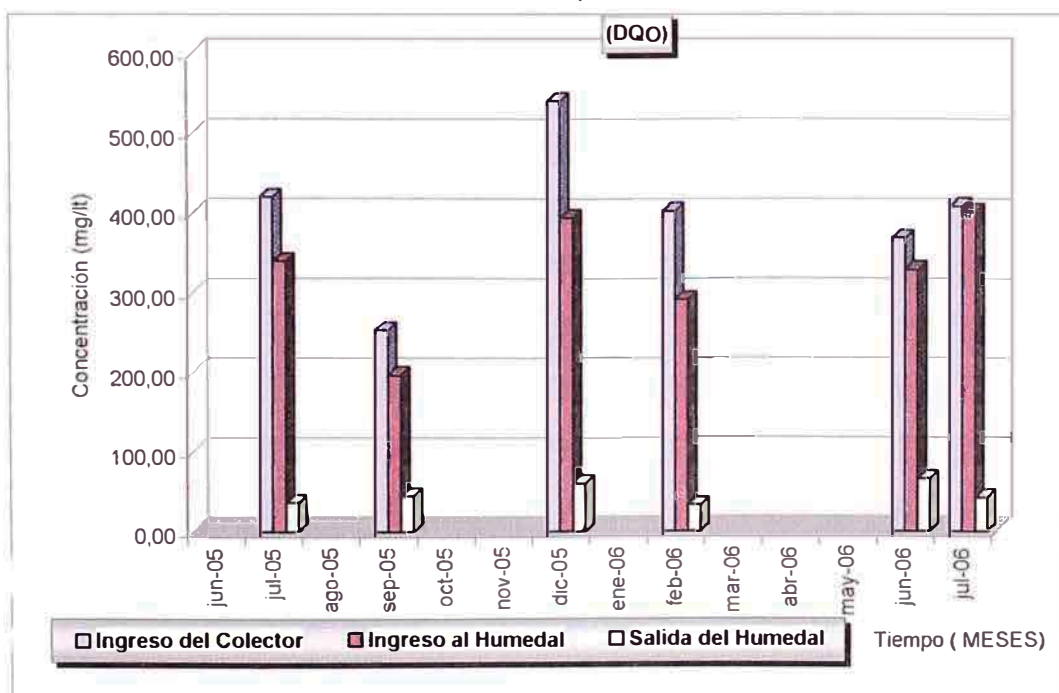
5.2.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO:

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran en el cuadro 5.13:

Cuadro 5.13: Variación de la DQO durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑAS	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO-DQO				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05					
Marzo-05					
Mayo-05					
Julio-05	420	339	36	19,2	89,3
Septiembre-05	252	196	45	22,3	77,2
Diciembre-05	541	394	60	27,1	84,7
Febrero-06	403	291	33	27,8	88,6
Abril-06					
Junio-06	368	329	66	10,6	79,9
Julio-06	408	402	43	1,6	89,4

Gráfico 5.14: Variación de la DQO durante el periodo de monitoreo.



El promedio de los valores de la DQO para cada punto de muestreo durante el periodo total de evaluación fue como sigue: Crudo 398,70 ppm, afluente 325,25 ppm y efluente 47,18 ppm

En las seis campañas en las que se efectuó la determinación de la DQO, los valores de la relación DBO_5/DQO del crudo estuvieron dentro del rango $<0,55-0,75>$, valores que denotan un elevado porcentaje biodegradable en la composición de la materia orgánica. La máxima remoción alcanzada en DQO es 85%

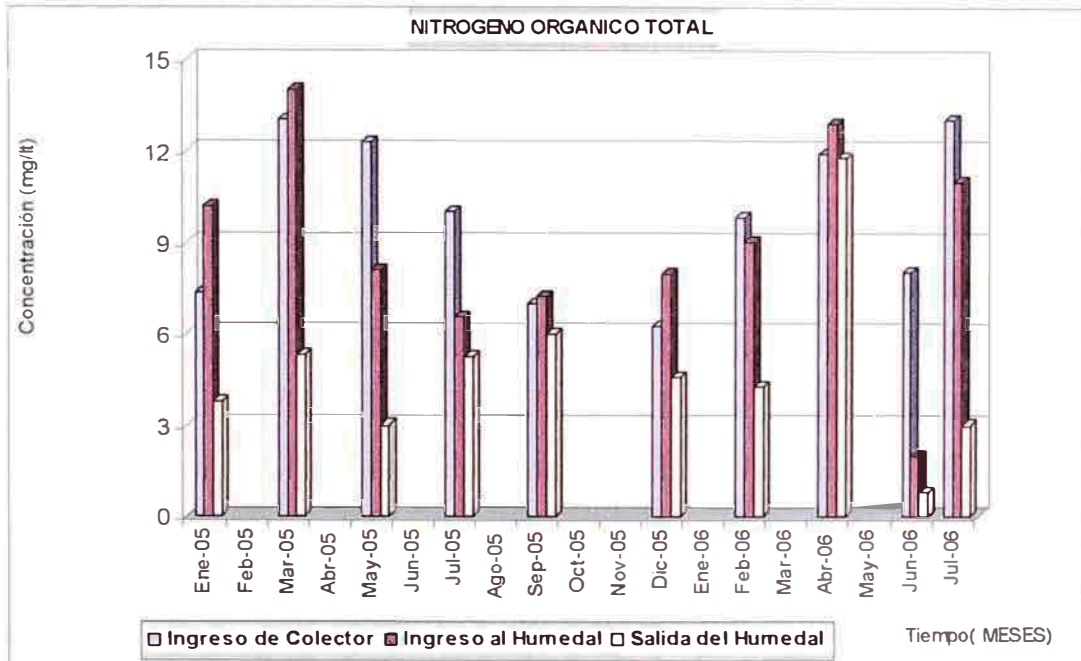
5.2.7 NITRÓGENO:

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran a continuación:

Cuadro 5.14: Variación de Nitrógeno Orgánico durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑA	NITROGENO ORGANICO				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05	7,4	10,2	3,8	-38,59	63,24
Marzo-05	13,0	14,0	5,3	-7,69	62,14
Mayo-05	12,3	8,1	3,0	34,15	62,96
Julio-05	10,0	6,6	5,2	34,30	20,24
Septiembre-05	7,0	7,2	6,0	-3,30	16,67
Diciembre-05	6,2	8,0	4,6	-28,09	42,48
Febrero-06	9,8	9,0	4,3	8,16	52,78
Abril-06	11,9	12,9	11,8	-8,40	8,53
Junio-06	8,0	2,0	0,8	75,00	60,00
Julio-06	13,0	11,0	3,0	15,38	72,73

Gráfico 5.15: Variación de Nitrógeno Orgánico durante el periodo de monitoreo.

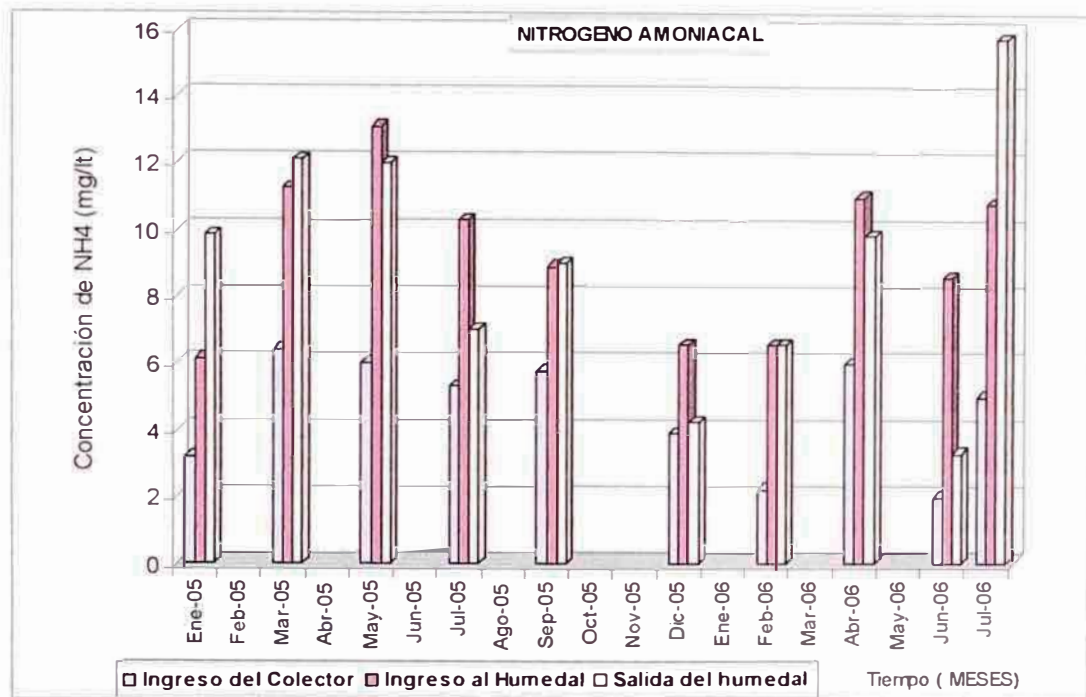


La concentración promedio de Nitrógeno Orgánico Total del crudo fue de 8,96 ppm, del afluente 8,90 ppm y del efluente 4,77ppm.

Cuadro 5.15: Variación de Nitrógeno Amoniacoal durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑA	NITROGENO AMONICAL				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05	3,2	6,1	9,83	-92,48	-60,10
Marzo-05	6,4	11,3	12,10	-75,51	-7,56
Mayo-05	6,0	13,1	12,00	-117,61	8,40
Julio-05	5,3	10,3	7,00	-93,96	31,91
Septiembre-05	5,8	8,9	9,00	-53,45	-1,12
Diciembre-05	3,9	6,6	4,25	-68,91	35,13
Febrero-06	2,2	6,6	6,57	-193,82	-0,25
Abril-06	6,0	11,0	9,83	-83,95	10,66
Junio-06	2,0	8,6	3,30	-330,00	61,63
Julio-06	5,0	10,8	15,80	-116,00	-46,30

Gráfico 5.16: Variación de Nitrógeno Amoniacal durante el periodo de monitoreo.



La concentración promedio de Nitrógeno Amoniacal del crudo fue de 4,58 ppm, del afluente 9,32 ppm y del efluente 8,97 ppm.

En general se produjo buena eficiencia en cuanto a la remoción de nitrógeno Amoniacal en el humedal, la máxima fue de 61,32% alcanzada en junio del 2006; las mínimas reportadas corresponden a los meses de septiembre 2005 y abril del 2006, con 6,83ppm y 9,51ppm respectivamente.

La remoción de nitrógeno orgánico en el humedal fue siempre positiva, en promedio se alcanzó una remoción de 46,18%, esto sugiere el incremento de nitrógeno amoniacal en la misma medida.

La conversión de nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal dentro del humedal, se produjo ya sea aerobia o anaerobiamente, sin embargo las limitaciones en cuanto a la remoción del nitrógeno amoniacal se debieron principalmente a la falta de oxígeno

disuelto para continuar su oxidación a nitratos; aún así los valores de remoción aparentemente negativos no deben interpretarse como una producción neta del nitrógeno amoniacal, puesto que la determinación del porcentaje de remoción de este parámetro se realizó a partir de los valores de ingreso y de salida del humedal, sin considerar la conversión del nitrógeno orgánico a amoniacal. En virtud de lo anterior, podemos decir que la máxima remoción del nitrógeno amoniacal corresponde al mes de junio del 2006 con aproximadamente 66,3%.

A manera referencial se determinó la alcalinidad del agua residual en el humedal, esto en el mes de junio del 2006; obteniéndose los valores de 351,20 mgCaCO₃/l en el afluente y 317,30 mgCaCO₃/l en el efluente. Aunque en definitiva no puede tomarse como un valor representativo para todos los casos, nos indica que existe suficiente alcalinidad para la nitrificación.

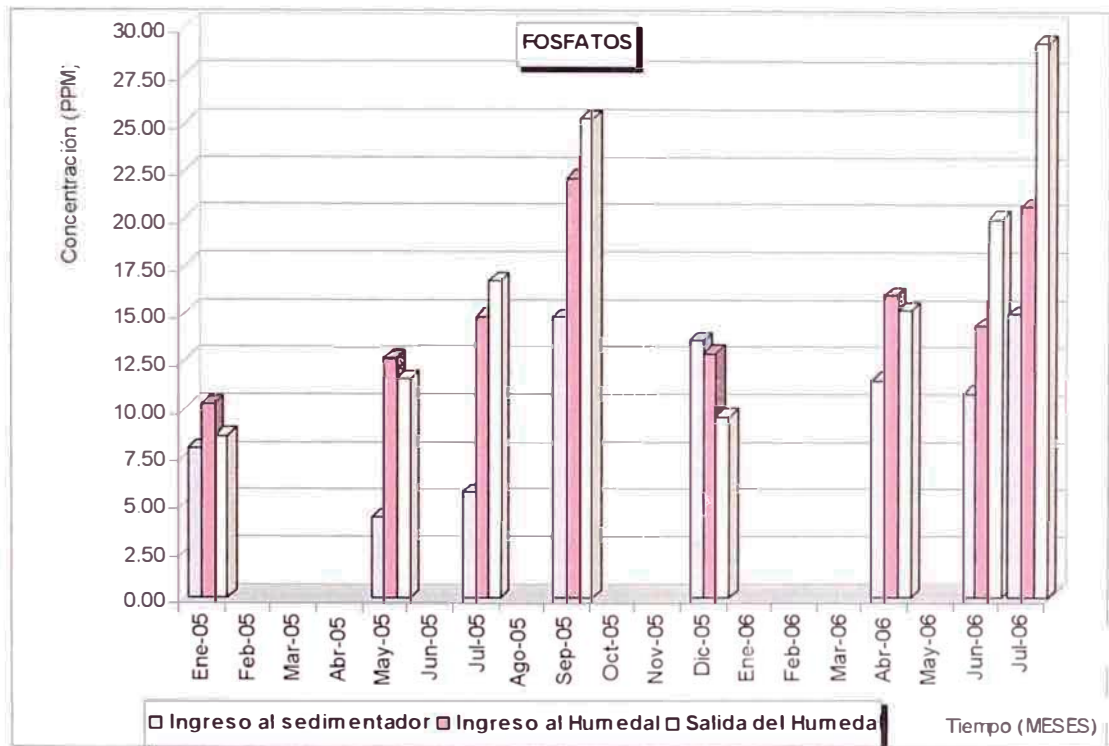
5.2.8 FOSFATOS:

Los resultados obtenidos durante el periodo de estudio son los que se muestran en el cuadro 5.16:

Cuadro 5.16: Variación de Fosfatos durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑA	FOSFATOS				
	CRUDO	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. SED.	% R. HUM.
Enero-05	7,89	10,25	8,56	-29,91	16,49
Marzo-05					
Mayo-05	4,29	12,66	11,55	-195	8,77
Julio-05	5,58	14,84	16,72	-166	-12,67
Septiembre-05	14,79	22,15	25,21	-49,76	-13,81
Diciembre-05	13,57	12,93	9,57	4,70	26,00
Febrero-06					
Abril-06	11,50	16,00	15,20	-39,13	5,00
Junio-06	10,80	14,40	20,00	-33,33	-38,89
Julio-06	15,00	20,70	29,30	-38,00	-41,55

Gráfico 5.17: Variación de Fosfatos durante el periodo de monitoreo.



El promedio de fósforo expresado como fosfatos en los puntos de monitoreo fueron como sigue: crudo 10,43 ppm, afluente 15,49 ppm y efluente 17,01 ppm

Los valores de concentración de fosfatos calculados durante todo el periodo de muestreo no guardan ninguna correlación entre ellos, en algunos meses tanto en el sedimentador y en el humedal la concentración aumenta y otras disminuye, esta variabilidad se debe principalmente a las actividades de la población, recordemos que en el caso en particular se trata de aguas provenientes principalmente de labores de aseo y limpieza, donde la principal fuente de fósforo seguramente proviene del uso de detergentes sintéticos.

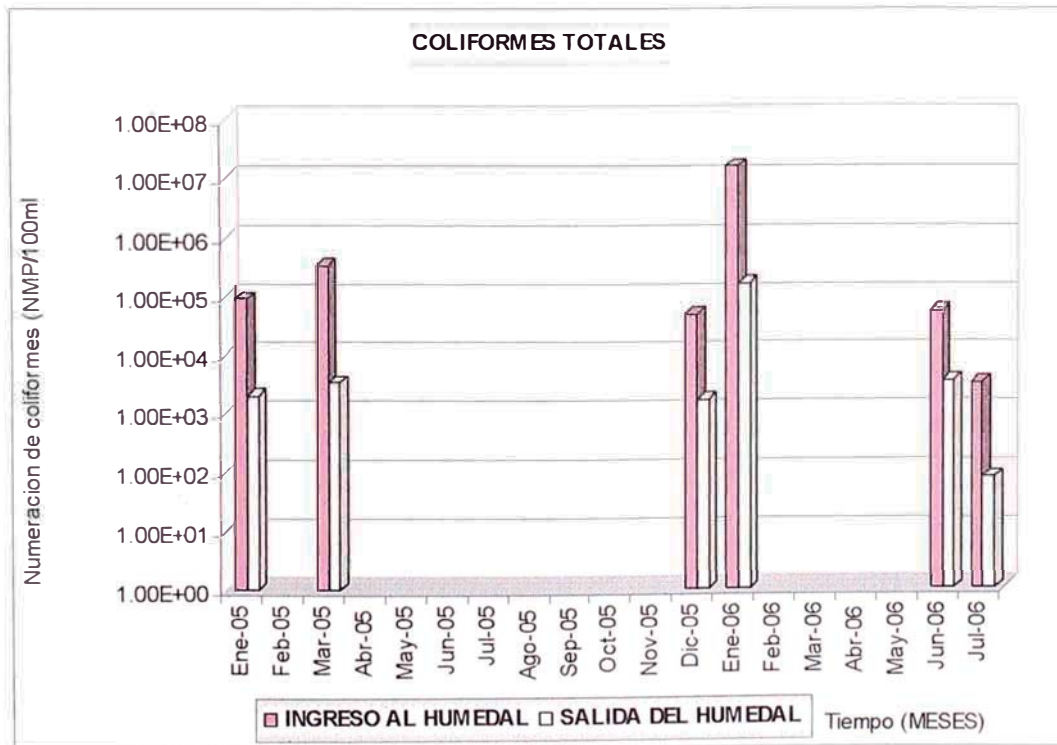
5.2.9 COLIFORMES TOTALES Y FECALES:

La determinación de coliformes se realizó en el afluente y efluente del humedal, y solamente se determinaron en las campañas correspondientes a los meses indicados y cuyos resultados se muestran a continuación:

Cuadro 5.17: Variación de Coliformes Totales durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑA	COLIFORMES TOTALES		
	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. HUM.
Enero-05	9,00E+04	2,00E+03	97,78
Marzo-05	3,40E+05	3,40E+03	99,00
Mayo-05			
Julio-05			
Septiembre-05			
Diciembre-05	5,00E+04	1,70E+03	96,60
Febrero-06	1,60E+07	1,60E+05	99,00
Abril-06			
Junio-06	5,40E+04	3,50E+03	93,52
Julio-06	3,30E+03	8,00E+01	97,58

Gráfico 5.18: Variación de Coliformes Totales durante el periodo de monitoreo.

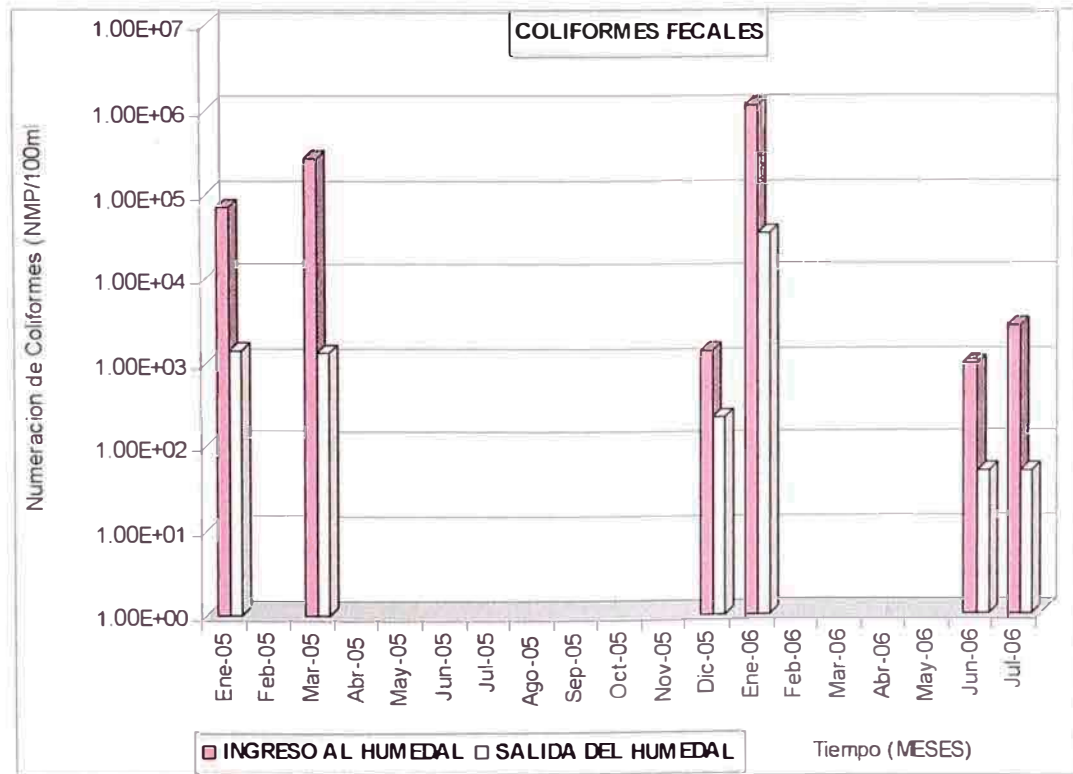


Los Coliformes Totales alcanzaron los valores máximos de $1,60E+07$ NMP/100mL en el afluente y $1,60E+05$ NMP/100mL en el efluente.

Cuadro 5.18: Variación de Coliformes Fecales durante el periodo de monitoreo.

CAMPAÑA	COLIFORMES FECALES		
	INGRESO H.	SALIDA H.	% R. HUM.
Enero-05	7,00E+04	1,40E+03	98,00
Marzo-05	2,60E+05	1,30E+03	99,50
Mayo-05			
Julio-05			
Septiembre-05			
Diciembre-05	1,40E+03	2,20E+02	84,29
Febrero-06	1,10E+06	3,50E+04	96,82
Abril-06			
Junio-06	9,20E+02	4,90E+01	94,67
Julio-06	2,70E+03	5,00E+01	98,15

Gráfico 5.19: Variación de Temperatura durante el periodo de monitoreo.



Los Coliformes Fecales alcanzaron los valores máximos de $1,10E+06$ NMP/100mL en el afluente y $3,50E+03$ NMP/100mL en el efluente.

Una de las consideraciones del diseño inicial era la utilización de aguas grises porque supuestamente contenían una menor concentración de patógenos, sin embargo los valores de coliformes totales y fecales del afluente son bastante altos; es muy sabido que la eliminación de bacterias indicadoras de la contaminación fecal no se contempla como objetivo del tratamiento en el humedal, aún así las remociones alcanzadas fueron superiores al 80%, aunque aparentemente buenas, solo representa, en el mejor de los casos, la disminución de a lo más dos unidades logarítmicas; obteniéndose finalmente valores por encima de los límites recomendados por la OMS; haciéndose necesaria la implementación del proceso de desinfección.

Creemos importante recalcar que los problemas que se presentaron en cuanto al mantenimiento del sistema, afectaron el desempeño normal de este; el anegamiento del humedal ocurrido en el mes de mayo del 2006, comentado anteriormente, fue solo una de las contrariedades presentadas, ya que el sistema había sido descuidado a tal punto que la protección perimétrica fue sustraída, ocasionando el ingreso de animales al humedal entre otras cosas; correlacionando los citados con las concentraciones halladas en los cuadros 5.17 y 5.18, podríamos atribuir a estos eventos, los máximos valores alcanzados en el mes de febrero del 2006; sin embargo el resto del tiempo la presencia de estos indicadores sigue siendo bastante alta para aguas grises, suponemos que esto es atribuible al lavado de pañales, práctica muy común en realidades como AAHH. Oasis.

5.2.10 Nematodos:

Se realizaron dos ensayos en cada punto en el humedal (afluente y efluente) la determinación de presencia ausencia en ambos casos dio negativa, sin embargo al ser solo dos tandas de muestreos no resulta representativo y no se puede concluir al respecto.

5.3 VERIFICACION DEL DISEÑO

El parámetro dominante del diseño fue la DBO_5 , a manera de comprobación del modelo hidráulico aplicado, a continuación calcularemos la concentración promedio que debería esperarse en el efluente.

El caudal promedio hallado para el periodo de estudio fue 0,0729L/s, el volumen real de la unidad es de $19,85m^3$, con lo que se obtiene un periodo de retención teórico de 3,15 días.

Considerando que el promedio de DBO_5 para el periodo de estudio fue de 168,3ppm, y usando la formula 2.1 (Capítulo 2) se obtiene una concentración promedio para el efluente de 6,40ppm. Este valor está debajo del valor promedio 23,6ppm determinado en campo, esto se debe a que en este tipo de sistemas existe un límite del proceso de depuración debido a la denominada concentración de fondo, la cual hace imposible la obtención de una concentración cero en el efluente.

Utilizando la ecuación 2.8 (Capítulo 2) podemos determinar la concentración de fondo para el humedal, ésta resulta 12,42ppm. lo que haría esperar teóricamente una concentración en el efluente de 18,82ppm., la que a su vez, comparada con el promedio real obtenido (23,6 ppm) es menor en aproximadamente un 20%.

Así mismo es posible determinar la carga de sólidos suspendidos al ingreso del humedal; para ello debe de calcularse primeramente la carga másica, la misma que puede ser determinada a partir de la concentración promedio de SST en el afluente (76mg/L) y el caudal promedio obtenido (6.30m³/día) resultando el valor de 0,479kg/día. Apoyándonos en la ecuación 2.6 (Capítulo 2) y considerando que la profundidad efectiva del lecho es de 0,60m⁽¹⁾, la carga de sólidos suspendidos (L_{SST}) resulta 0,123kg/m².día, valor por debajo de las recomendaciones citadas en el ítem 2.1.2.5

Seguidamente procederemos a calcular la tasa de carga orgánica (L_{org}) con la que funciona el humedal, para ello introduciremos en la ecuación 2.7 los siguientes valores: $C_o= 168,30$ mg/L, $d_w= 0,60m^{(1)}$, $n= 34,9\%$ y $t= 3,15$ días; todos derivados de los cálculos y resultados anteriores.

De acuerdo a la citada ecuación el valor de la tasa de carga orgánica es de 111,88 KgDBO/ha.día, valor que se encuentra casi al límite de lo recomendado por la bibliografía (112 KgDBO/ha día).

Si nos centramos en área requerida para el tratamiento del caudal real (0,0729 l/s) y la obtención de la eficiencia (86%) hallados durante la investigación, se necesitaría un periodo de retención de 2,12 días y de 78m², valor muy cercano al área real del humedal, la cual es de 81,25m².

(1) La profundidad efectiva del lecho es 0.60m, ésta se refiere al tirante de agua con el que trabajó el humedal durante el estudio.

5.4 ESTUDIO DE COSTOS

A continuación se presenta el presupuesto para la construcción de la planta de tratamiento mediante humedales artificiales:

Cuadro 5.19: Costos de construcción de la planta de tratamiento.

Partida	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Subtotal	Parcial
Obras Provisionales	Gbl	1	1 000	1 000	
Trazo Y Replanteo	Gbl	1	500	500	
Desarenador	Gbl	1	445	445	
Sedimentador	Gbl	1	5 860	5 860	
Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal	Gbl	1	10 300	10 300	
Unidad Disposición de Olores	Gbl	1	300	300	
Unidad de Disposición Final de Lodos	Gbl	1	2 800	2 800	
Unidad de Almacenamiento de Agua Tratada	Gbl	1	6 500	6 500	
Unidad Desinfección de Agua Tratada	Gbl	1	100	100	
Unidad Distribución Para Riego con Agua Tratada	Gbl	1	1 500	1 500	
Costo directo					29 305
Gastos Generales y utilidad	%	10			2 930,5
Impuesto (IGV)	%	19			6 174,25
Total Presupuesto S/.					38 360,25

Costo de construcción de la planta de tratamiento (US\$) 11 913,12(*)

Se realizó el cálculo de los costos asociado a la operación y mantenimiento de la planta. El resumen de estos se presenta en los cuadros 5.20 y 5.21

Cuadro 5.20: Costo anual de operación

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo Mensual	Costo Anual
Técnico de campo en O&M*	Mes	1	62,11	62,11	745,34
Herramientas y Materiales de Limpieza	Mes	1	3,11	3,11	37,27
Desinfección del Efluente Tratado	Mes	1	11,79	11,79	141,43
Costo Anual de Operaciones (US\$)					924,04

* El técnico de campo estará a cargo de la operación de los humedales y el riego de la cancha de fútbol.

Cuadro 5.21: Costo total anual de funcionamiento del humedal

Gastos fijos	Monto (US\$)	Depreciación anual	Costo/año
Costo total de infraestructuras	11 913,12	1/20	595,656
Costo operación y mantenimiento			924,04
Gastos administrativos			20
Costo total (US\$)			1539,696

De lo anterior es posible determinar el costo por metro cúbico del agua residual tratada, estos se resumen en los cuadros 5.22 y 5.23.

Cuadro 5.22: Costo total por m3 de agua servida tratada

Volumen de agua tratada en m3/año	Costo total del tratamiento por m3 (US\$)
3 532, 47	0,4358

Cuadro 5.23: Costos totales por tratamiento e ingresos (US\$)

Costo por m ³ de agua tratada (US\$)	0,4358
Costo por m ³ de agua potable para el volumen generado (US\$)	0,78

Rubro	Costo Mensual	Costo Anual
Costo por m ³ de agua tratada (US\$)	128,308	1 539,696
Costo por m ³ de agua potable para el volumen generado (US\$)	315,59	3 787,04
Ingreso generado por alquiler de cancha fútbol	93,17	1 118,04

El costo de producción de agua residual tratada por la planta piloto es de 0,4358 dólares americanos por m³; que comparado con un punto de agua potable de Sedapal, cuyo costo está al rededor de 0,78 dólares americanos por m³, resulta muy beneficioso.

Se puede apreciar que se genera un ingreso mensual de 93,17 dólares americanos por alquiler de la cancha de fútbol, con lo cual disminuye aún más el costo por m³ de agua tratada.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

- 6.1 Los resultados obtenidos durante todo el periodo de investigación, en las 10 campañas de monitoreo reflejan las condiciones particulares de un humedal joven, puesto que el inicio del estudio se realizó a seis meses del arranque del sistema; estas condiciones no necesariamente permanecerán en el tiempo.
- 6.2 El proyecto piloto, constituido por el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo sub-superficial construido en el AAHH Oasis de Villa, ha demostrado una alta eficiencia en la remoción de los parámetros DBO₅ y SST, 85% y 96,7% en promedio respectivamente; la calidad microbiológica, sin embargo, no alcanza las directrices establecidas por la OMS para uso de riego, debiéndose implementar necesariamente un proceso de desinfección al final del tratamiento para poder regar el parque.
- 6.3 Es de trascendental importancia el control de calidad de los materiales conformantes del lecho y sobretodo el control del porcentaje de finos, de lo contrario, se estaría condicionando la temprana colmatación del filtro; en referencia a ello creemos necesario prescindir de la capa de arena superficial colocada para el arraigamiento inicial de las plantas, puesto que contribuye indefectiblemente a la saturación prematura del lecho.
- 6.4 A raíz de la experiencia durante la operación del sistema, se ha constatado que la fracción del material grueso colocado al ingreso del humedal, ayuda en gran medida a la distribución uniforme del flujo y es muy importante que esté libre de plantas o pastos; pudimos comprobar que el anegamiento ocurrido fue preponderante en el primer tercio del humedal, y de no existir esta fracción gruesa se hubiese dado mucho más antes.

- 6.5** La capa de arena podría estar limitando la transferencia de oxígeno al agua al presentar mayor grado de compactación, respecto al medio granular.
- 6.6** La regulación del nivel de agua dentro del humedal es importante, principalmente durante la etapa de crecimiento de las macrofitas, esto para lograr el mayor desarrollo radicular de las plantas escogidas, lo que incidirá directamente en el mayor aporte de oxígeno disuelto al medio, con el consiguiente incremento de la eficiencia de tratamiento del humedal.
- 6.7** A pesar que la macrofita usada resultó ser una buena alternativa por su buen adecuamiento al sistema y por los resultados obtenidos; la selección de la planta debe de incluir criterios adicionales de manera que su emplazamiento y desarrollo no afecten la conductividad hidráulica del humedal.
- 6.8** Las labores de mantenimiento en los humedales artificiales principalmente son las evocadas a la poda y la eliminación de la mala hierba, sin embargo, hay que ser muy estrictos en el mantenimiento de las unidades previas, los problemas atribuidos a este hecho son comúnmente la saturación del medio por la ineficiente retención de sólidos en las unidades primarias.
- 6.9** Los problemas operativos que se presentaron han condicionado la temprana colmatación del lecho, lo que implica que debe de programarse el cambio del material granular a corto plazo.
- 6.10** Las cantidades de material trazador requeridas, de acuerdo a las formulas presentadas en el presente documento, no se ajustaron a nuestras necesidades; en el caso de la Rodamina WT, el material resultó insuficiente pues fue absorbido totalmente por el humedal, siendo imposible su detección, al menos no, por el método colorimétrico; mientras que en el caso del cloruro de sodio, debe de corregirse el valor hallado en función de la concentración de éste

parámetro en el humedal, no existiendo la forma de precisar a ciencia cierta dicha correlación; concluimos entonces, para el caso en particular, que dichas fórmulas pueden ser tomadas de manera referencial y ajustadas en un ensayo de laboratorio previamente.

- 6.11** En la etapa de diseño debe considerarse adicionalmente el cálculo de la concentración de fondo del sistema, ya que de lo contrario se estarían proyectando concentraciones finales por debajo de la que se obtendrían en realidad. La concentración de fondo depende del tipo de planta, el clima, la densidad de la planta, etc; por lo que cada caso será específico.
- 6.12** No se pudo evidenciar la influencia de la temperatura sobre la eficiencia del sistema puesto que no tuvimos temperaturas límites, todas ellas se mantuvieron por encima de los 19°C (crudo), no habiendo distinción significativa entre verano e invierno.
- 6.13** La utilización de humedales artificiales para el tratamiento se muestra alentadora, no obstante recordemos que se trata de una tecnología incipiente y deberá reunirse y analizarse mucha información adicional antes que el diseño sea considerado como científico y se vuelva rutinario.
- 6.14** Hoy en día se hace necesario el planteamiento de alternativas que brinden una solución a la condición fútil que se le da al consumo de agua potable, estas soluciones deben de nacer de cada realidad, de las condiciones propias del lugar donde se desee implementar cualquier sistema, condicionantes que van desde factores intrínsecos de la población, tipo de emplazamiento, clima, etc.
- 6.15** Los límites permisibles de los constituyentes de un agua residual tratada deben establecerse en función al tipo de uso que se le vaya a dar a la misma, esto permitirá establecer metas factibles de alcanzar

tanto en sentido tecnológico como económico; lo expuesto amerita una pronta reestructuración del marco normativo actual.

CAPITULO 7: RECOMENDACIONES

- 7.1 La selección de la macrofita debe incluir criterios adicionales como el poseer una moderada densidad radicular, poseer tallos delgados, que su densificación en el humedal sea alta con el mayor número de plantas posibles, entre otras; para evitar la interferencia con el desempeño hidráulico del humedal.
- 7.2 Nosotros recomendamos que el comportamiento hidráulico del humedal debe ser evaluado mediante el uso de sustancias trazadoras de preferencia del tipo radiactivos, ya que no se tuvo éxito con las dos sustancias utilizadas en la presente investigación.
- 7.3 Para una realidad como la del AAHH Oasis se hace imprescindible la construcción de un desarenador (pre-tratamiento), para la retención de las grandes cantidades de arena que se acumula en el sedimentador y que dificulta su operación.
- 7.4 Debe de considerarse dentro del proyecto la construcción de un by pass que permita, para casos de emergencia, el ingreso de las aguas grises al sistema de alcantarillado de SEDAPAL, previa coordinación con esta entidad.
- 7.5 Como en todo sistema de tratamiento debe de proyectarse dos humedales conectados en paralelo, esto para permitir el mantenimiento de los mismos.
- 7.6 Es recomendable usar plantas o rizoma provenientes de semillas germinadas en viveros, puesto que evitará la incorporación de mala hierba.
- 7.7 En caso de replicarse en zonas urbano marginales, es imprescindible un arduo trabajo social, para evitar problemas como la agresión y falta

de cuidado con los componentes del sistema y del mismo parque, además se debe buscar la sostenibilidad económica del sistema en actividades que garanticen un ingreso seguro de recursos de forma periódica, para fines de mantenimiento y operación del sistema; esto está en proceso de implementación y actualmente se viene trabajando en conjunto con la asociación de pobladores del AA.HH. Oasis de Villa, y está orientada a la captación de recursos a partir del cobro por la utilización del área verde para torneos deportivos, vislumbrándose otro gran impacto social indirecto al propiciar actividades deportivas en la población.

- 7.8 El sistema de tratamiento propuesto podría aplicarse para desagües totales, como se ha venido haciendo en otras partes del mundo, podría llevarse las experiencias a plantas pilotos en comunidades en el interior del país como sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales.
- 7.9 Finalmente se recomienda continuar con la investigación a este tipo de sistemas naturales, la misma que involucre a grupos interdisciplinarios con miras a realizar ajustes a los modelos europeos y lograr la optimización del proceso adecuado a las condiciones locales; en virtud de ser un sistema que por sus bondades (no requiere operadores especializados, energía eléctrica, logra altas eficiencias, etc.), amerita la atención de profesionales relacionados con la problemática ambiental y social.

CAPITULO 8:

FUENTES DE INFORMACIÓN

- APHA-AWWA-WPCF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. 19 th edition. American Public Health Association. Washington, D.C.
- Arias, C. A. (1998). *Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial: Una Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeños Núcleos de Población*. Tesina de Especialidad. Departamento de EHMA. ETSECCPB. UPC. 102 pp.
- AYERS, R. S. Y WESTCOT, D.W. Water quality for agricultura. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1985 (Documento de riego y desagüe N° 29, 1° rev.).
- Brix, H. (1990). Gas exchange through the soil-atmosphere interphase and through dead culms of *Phragmites Australis* in a constructed reed bed receiving domestic sewage. *Wat. Sci. Tech.*, 24 (2): 259-266.
- Brix, H., (1994). Functions of Macrophytes in constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, 29 (4): 71-78.
- Brix, H., (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?. *Wat. Sci. Tech.*, 35 (5): 11-17.
- Christensen, P.B., Revsbech, N.P. y Sand-Jensen, K. (1994). Microsensor analysis of oxygen in the rhizosphere of the aquatic macrophyte *Littorella uniflora* (L.)

Ascherson. *Plant Physiology*, 105: 847-852.

- Cízková, H. y Bauer, V. (1998). Rhizome respiration of *Phragmites Australis*: effect of rhizome age, temperature, and nutrient status of the habitat. *Aquatic Botany*, 61: 239-253.
- Conley, L.M., Dick, R.I. y Lion, L.W. (1991). An assessment of the root zone method of wastewater treatment. *Research Journal WPCF*, 63 (3): 239-247.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE, CEPIS 1991. Manual de Disposición de Aguas Residuales: Origen, Descarga, Tratamiento y Análisis de las Aguas Residuales. CEPIS/OPS/OMS LIMA-PERU
- CRITES, R; GUNTHER, D; KRUZIC, A y TCHOBANOGLOUS, G. 2000. *Design Manual; Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. EPA. USA.
- DENY, PATRICK. 1995. *Implementation of Constructed Wetlands in Developing Countries*. Water Science Technology.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. 1981. *Process Design Manual: Land Treatment of Municipal Wastewaters*. Ohio. USA
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. 1988. *Manual de Diseño de Pantanos Construidos y Sistemas de Plantas Acuáticas para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Center for Environmental Research Information. Ohio. USA

- Eger, P., Wagner, J. y Melchert, G. (1994). *Wetland Treatment of Mine Drainage*. Minnesota Department of Natural Resources, Division of Minerals. St. Paul, Minnesota, 10 pp.
- García, J., Mujeriego, R., (1999). *Dictàmen Tècnic. Gestió del Cicle Integral de l'Aigua de l'Hostal del Carme (Vilagrassa, Lleida): Proposta de Sanejament, Regeneració i Reutilització de les Aigües residuals Domèstiques*. Departamento de EHMA. ETSECCPB. UPC. 20 pp.
- García, J., Gullón, M., Mujeriego, R., (1998). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Aguas Residuales*. Departamento de EHMA. ETSECCPB. UPC.
- Metcalf y Eddy; 1995 *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Volumen I. Madrid. ESPAÑA.
- Píriz Gonzales, Antonio Jesús; (200) *Condiciones de Oxido - Reducción en Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial*, Barcelona 5-38.
- Kadlec, R.H. y Knight, R.L. (1996). *Treatment Wetlands*. Ed. CRC Press. Boca Ratón. 893 pp.
- Ottová, V., Balcarová, J. y Vymazal, J. (1997). *Microbial Characteristics of Constructed Wetlands*. *Wat. Sci. Tech.* 35 (5): 117-123.
- Perdomo, S., Fujita, M. y Furukawa, K. (1996). *Oxygen Transport through Pistia Stratiotes L.* 5 th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna 1996, VIII (4): 7 pp.

- Reed, S.C., Crites, R.W. y Middlebrooks, E.J. (1995). *Natural Systems for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill Inc, 2 nd edition, New York, 433 pp.
- Ruiz, A. y Torres, J.J. (1999). *Projecte del Sistema de Tractament per Depurar les Aigües Residuals de l'Hostal del Carme (Vilagrassa)*. ECOMOLL, Barcelona. 53 pp.
- Tanner, C.C. y Sukias, J.P. (1995). Accumulation of organic solids in gravel-bed constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.*, 32 (3): 229-239.
- USEPA (1993). *Subsurface Flow Constructed Wetlands For Wastewater Treatment*. New Orleans, 62 pp.
- WRC (1996). *Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Severn Trent Water. Wiltshire, G.B. 184 pp.
- STRAUSS, M. y BLUMENTHAL, U. J. Health aspects of human waste use in agriculture and aquaculture-Utilization practices and health perspectives. Dübendorf, Centro Internacional de Referencia sobre Evacuación de Desechos (Informe N' 08/88) (en prensa).
- SHUVAL, H. I. ET AL. Epidemiological evidence for helminth and cholera transmission by vegetables irrigated with wastewater: Jerusalem - a case study. *Water science and technology*, 17: 433-442 (1985).
- MARIANO SEOANEZ CALVO, 1999. *Agua residual: Tratamiento por Humedales Artificiales. Fundamentos Científicos, Tecnologías y Diseño*. MADRID-ESPAÑA

CAPITULO 9: ANEXOS

ANEXOS DE FOTOS

Foto N° 9.1: Fase de construcción de colectores.
(Separación de desagües Grises-Domésticos)



Foto N° 9.2: Fase de construcción conexión domiciliaria.

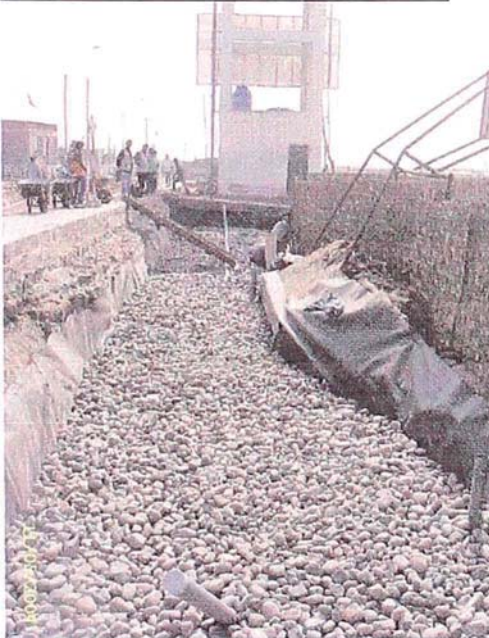


Foto N° 9.3: Fase construcción de sedimentador.



Foto N° 9.4: Fase construcción humedal de flujo tipo vertical

Material Granular Gueso



Instalación de Material Fino



Foto N° 9.5: Fase de instalación de papyrus en humedal de flujo tipo vertical

Cosecha de Papyrus



Foto N° 9.6: Papyrus instalado en humedal de flujo vertical



HUMEDAL DE FLUJO TIPO HORIZONTAL

Foto N° 9.7: Instalación de la Tubería de Ingreso al Humedal de Flujo Horizontal.

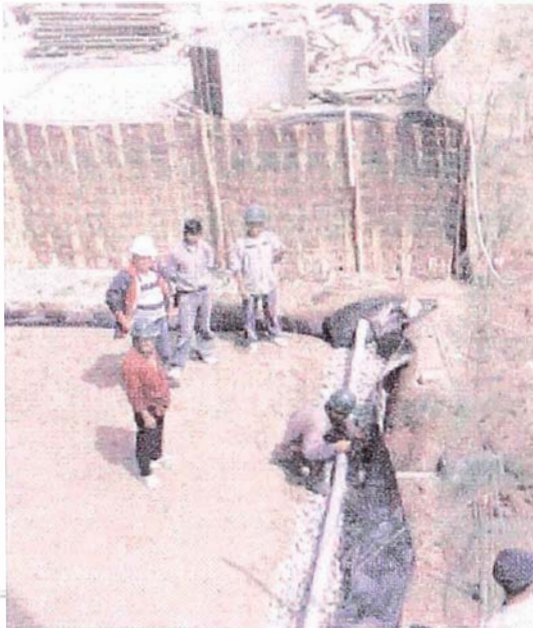


Foto N° 9.8: Tubería Recolectora de Agua Tratada, en Humedal De Flujo Horizontal

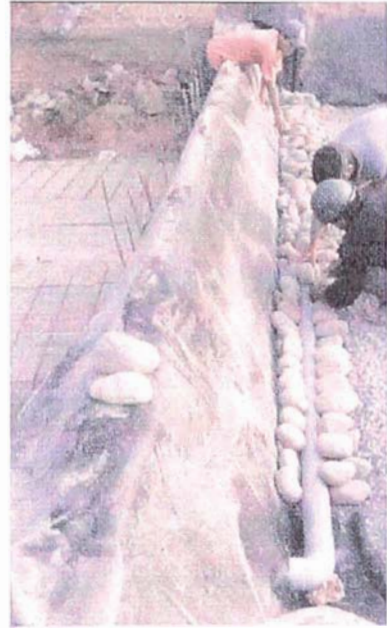


Foto N° 9.9: Instalación del Material Granular (Grava) sobre el lecho del Humedal y tuberías de Inspección

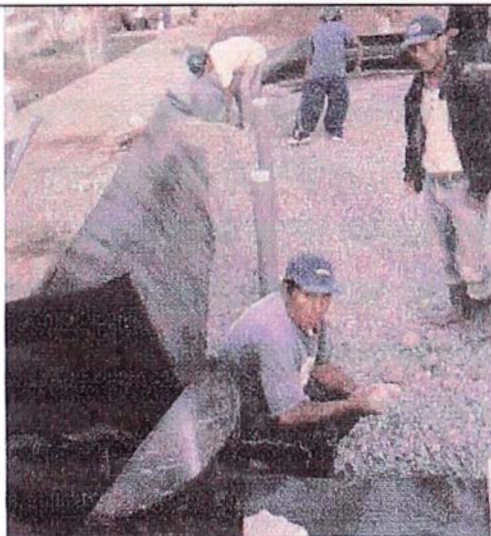


Foto N° 9.10: Instalación del Material Fino, sobre el lecho del Humedal.



Foto N° 9.11: Siembra del papyrus en el lecho del humedal de flujo horizontal



Foto N° 9.12: Vista del Papyrus luego de seis meses de siembra



Foto N° 9.13: Construcción del tanque de almacenamiento de agua tratada.



Foto N° 9.14: Arranque de la Planta de Tratamiento
Ingreso al Desarenador-Sedimentador

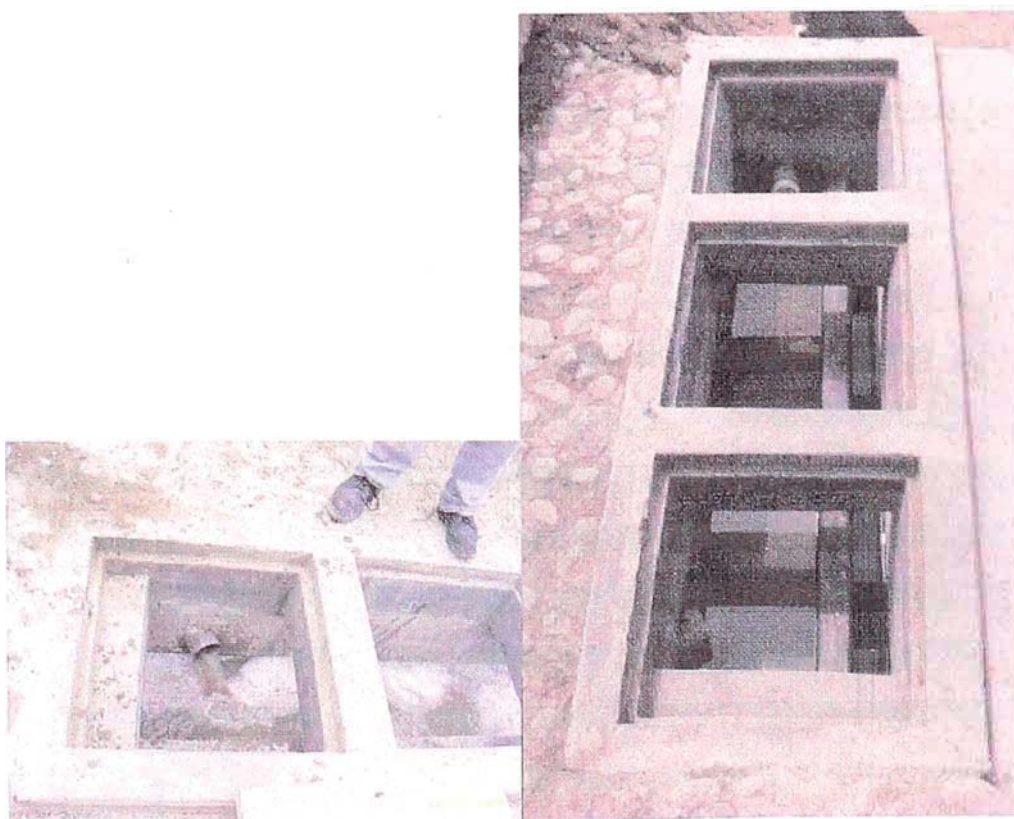


Foto N° 9.15: Monitoreo insitu en Efluente del Humedal de Flujo Horizontal

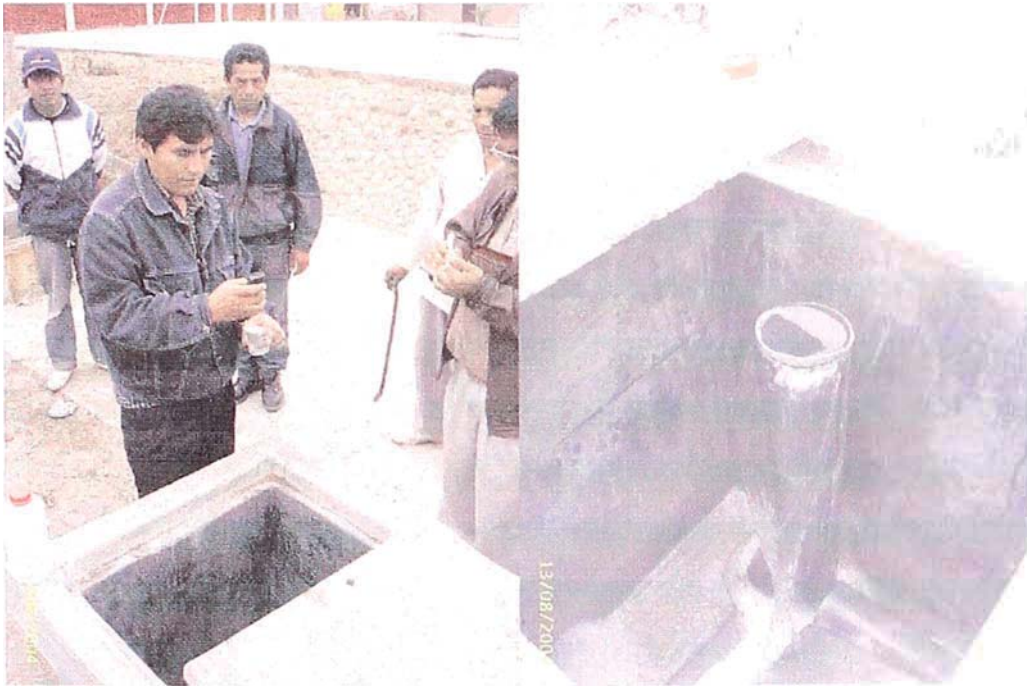


Foto N° 9.16: Evaluacion del Papyrus en el Humedal de Flujo Horizontal



Foto N° 9.17: Vista del Área Regada, antes y después del Proyecto de Humedales de Flujo Horizontal y Vertical



Foto N° 9.18: Situación Actual del Área Regada mediante Agua Tratada con los Humedales.



SISTEMA DE HUMEDAL ARTIFICIAL COMO PROYECTO EJECUTADO

Foto N° 9.19: Inauguración de la Planta Piloto-Oasis de Villa



ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS, Y BIOQUÍMICOS EN LABORATORIO Y CAMPO

Foto N° 9.20: Análisis Físico, Químico y Biológico en Laboratorio



Foto N° 9.21: Análisis y Muestreo en Campo



OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Foto N° 9.22: Limpieza de Sólidos y Lodos en el Sedimentador



Foto N° 9.23: Lodos y Grasas Acumuladas en Sedimentador



Foto N° 9.24: Operación y Mantenimiento de las unidades de ingreso y salida al Sedimentador



Foto N° 9.25: Lodos que deben ser confinados o secados para fertilizantes



Foto N° 9.26: Pozo Percolador de Lodos Provenientes del Sedimentador



ANEXO ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO Y STANDART



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S06 - 252

SOLICITADO : Maria Ruiz Vasquez Y Victor Galindo Yauris
PROYECTO : Tesis "Evaluación, Diagnostico y Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales"
UBICACIÓN : Villa el Salvador
FECHA : 12, Octubre del 2006

ENSAYOS ESTÁNDAR

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

Calicata : ***
Muestra : M-1
Prof. (m) : ***

Malla (%) Acumulado que pasa

3"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	100.0
1/4"	40.6
N°4	3.6
N°10	
N°20	
N°30	
N°40	
N°60	
N°100	
N°200	

% de Grava	96.4
% de Arena	3.6
% de Finos	0.0

LIMITE LIQUIDO (%) : NP

ASTM D4318

LIMITE PLASTICO (%) : NP

ASTM D4318

INDICE DE PLASTICIDAD (%) : NP

CLASIFICACION SUCS : GP

Muestra remitida e identificada por el solicitante

Realizado por: Tec. Fred Dávila

Revisado por: Ing. A. Quiñones V



JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
ING. JEFE DEL LAB. No. 2
Mecánica de Suelos - UNI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos

Lima 100 - Perú Teléfono: (51-14) 811070 Anexo 308 - Telefax: 3813842

INFORME N° S06 - 252

SOLICITADO : Maria Ruiz Vasquez Y Victor Galindo Yauris
PROYECTO : Tesis "Evaluación, Diagnostico y Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales"
UBICACIÓN : Villa el Salvador
FECHA : 12, Octubre del 2006

ENSAYOS ESTÁNDAR

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM - D422

Calicata : ***
Muestra : M-1
Prof. (m) : ***

Malla	(%) Acumulado que pasa
3"	
2"	
1 1/2"	
1"	
3/4"	
1/2"	
3/8"	100.0
1/4"	40.6
N°4	3.6
N°10	
N°20	
N°30	
N°40	
N°60	
N°100	
N°200	
% de Grava	96.4
% de Arena	3.6
% de Finos	0.0

LIMITE LIQUIDO (%) : NP
ASTM D4318
LIMITE PLASTICO (%) : NP
ASTM D4318
INDICE DE PLASTICIDAD (%) : NP
CLASIFICACION SUCS : GP

Muestra remitida e identificada por el solicitante
Realizado por: Tec. Fred Dávila
Revisado por: Ing. A. Quiñones V



Jose Wilfredo Gutierrez Lazares
JOSE WILFREDO GUTIERREZ LAZARES
ING. JEFE DEL LAB. No. 2
Mecánica de Suelos - UNI



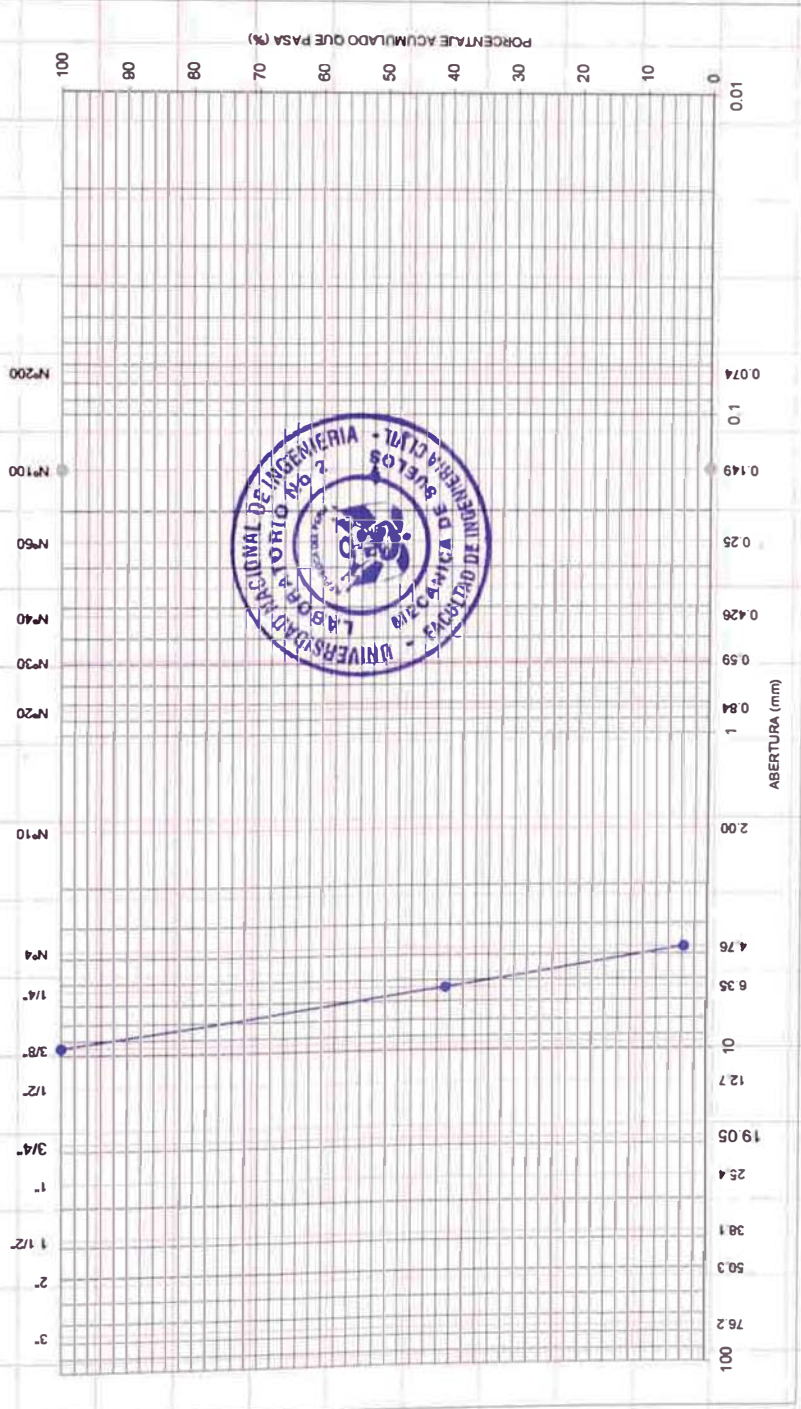
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
 ASTM D - 422**

INFORME N° S06 - 252

Calicata : ***
 Muestra : M-1
 Prof. (m) : ***
 Solicitado : Maria Ruiz Vasquez Y Victor Galindo Yauris
 Proyecto : Tesis "Evaluación, Diagnostico y Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales"
 Ubicación : Villa el Salvador
 Fecha : 12, Octubre del 2006

Tamiz	Abertura (mm)	(%) acumulado que pasa
3"	76.200	
2"	50.300	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.700	
3/8"	9.525	100.0
1/4"	6.350	40.6
Nº4	4.760	3.6
Nº10	2.000	
Nº20	0.840	
Nº30	0.590	
Nº40	0.426	
Nº60	0.250	
Nº100	0.149	
Nº200	0.074	

CURVA GRANULOMÉTRICA



ANEXO ESPECIFICACIONES DE GEOMENBRANA Y GEOTEXTIL



Hoja de Información del Producto

Productos Estándar de GSE

GSE HDPE

GSE HDPE es una geomembrana de polietileno lisa de alta densidad (HDPE) y elevada calidad, fabricada exclusivamente con resina de polietileno virgen y específicamente diseñada para la producción de geomembranas flexibles. Está compuesta aproximadamente por un 97.5% de polietileno, 2.5% de negro de humo además de antioxidantes y termo-estabilizadores; no se emplean otros aditivos, ni rellenos ni plastificantes. La geomembrana GSE HDPE tiene excelentes propiedades mecánicas, resistencia química, resistencia al agrietamiento ambiental, estabilidad dimensional, resistencia al envejecimiento por temperatura y resistencia a la radiación UV por lo que es adecuada para aplicaciones expuestas a la intemperie. Estas especificaciones exceden GRI GM 13.

Especificaciones del Producto, HDPE Liso.

PROPIEDADES ENSAYADAS	METODO DE ENSAYO	FRECUENCIA	VALOR MINIMO/RANGO ADMISIBLE					
			HDS 075G00T	HDS 100G00T	HDS 150G00T	HDS 200G00T	HDS 250G00T	
Código del Producto								
Espesor Promedio Mínimo, mm	ASTM D 5199	Cada Rollo	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	
Espesor Mínimo (menor de 10 lecturas), mm			0.68	0.90	1.35	1.80	2.25	
Densidad, g/cm ³	ASTM D 1505	90,000 kg	≥0.94	≥0.94	≥0.94	≥0.94	≥0.94	
Resistencia a la Tracción (cada dirección)	ASTM D 6693, Tipo IV Dumbell, 2 ipm	9,000 kg	20 (114)	27 (152)	40 (228)	53 (304)	67 (380)	
Resistencia a la Rotura, N/mm (lb/in)			11 (63)	15 (84)	22 (126)	29 (168)	37 (210)	
Resistencia a la fluencia, N/mm (lb/in)	G.L. 2.0 in (51 mm)		700	700	700	700	700	
Elongación a la Rotura, %	G.L. 1.3 in (33 mm)		12	12	12	12	12	
Resistencia al Desgarro, N (lb)	ASTM D 1004	18,000 kg	93 (21)	125 (28)	187 (42)	249 (56)	311 (70)	
Resistencia al Punzonamiento, N (lb)	ASTM D 4833	18,000 kg	240 (54)	320 (72)	480 (108)	640 (144)	800 (180)	
Contenido de Negro de Humo (Rango), %	ASTM D 1603	9,000 kg	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	2.0-3.0	
Dispersión de Negro de Humo	ASTM D 5596	18,000 kg	+Nota 1	+Nota 1	+Nota 1	+Nota 1	+Nota 1	
Resistencia al agrietamiento (NCTL), horas	ASTM D 5397, Apend.	90,000 kg	300	300	300	300	300	
Tiempo de Inducción a la Oxidación, minutos	ASTM D 3895, 200°C	90,000 kg	>100	>100	>100	>100	>100	
Envejecimiento al Horno 85°C, 90 días	ASTM D 5721	Fórmula	>55	>55	>55	>55	>55	
OIT retenido %	ASTM D 3895		>55	>55	>55	>55	>55	
Envejecimiento Ultra Violeta, 1600 hrs	GM11	Fórmula	>50	>50	>50	>50	>50	
●IT retenido %	ASTM D5885		>50	>50	>50	>50	>50	
DIMENSIONES								
Longitud del Rollo (aproximado), m	Dimensiones para Contenedor de 40'		410	310	210	155	120	
Ancho del Rollo, m			7.01	7.01	7.01	7.01	7.01	
Area del Rollo, m ²			2,874	2,173	1,472	1,087	841	

NOTAS:

- + Nota 1: La dispersión sólo es aplicable a aglomerados esféricos o semejantes. 9 de 10 vistas deben ser Categoría 1 o 2. No puede haber más de 1 vista en la Categoría 3.
- GSE HDPE está disponible en rollos que pesan cerca de 2070 kg.
- Todas las geomembranas GSE tienen una estabilidad dimensional de ±2% según el ensayo ASTM D 1204, y Fragilidad a baja temperatura menor a -77 °C según el ensayo ASTM D 746.

DS005SPHD R04/8/06

Esta información se suministra sólo como referencia y no corresponde en lo absoluto a garantía alguna. GSE no asume ninguna responsabilidad legal relacionada con el uso de esta información. Por favor verifique con GSE las normas mínimas del aseguramiento de calidad, las especificaciones y procedimientos.

GSE y otras marcas utilizadas en este documento son marcas registradas y marcas de servicio de GSE Lining Technology, Inc. algunas de las cuales están registradas en los Estados Unidos y otros países.

América del Norte
América del Sur
Asia-Pacífico
Europa/Africa
Medio Oriente

GSE Lining Technology, Inc. Houston, Texas
GSE Lining Technology, Chile S. A. Santiago, Chile
GSE Lining Technology Company Ltd. Bangkok, Thailand
GSE Lining Technology GmbH. Hamburg, Germany
GSE Lining Technology Egypt The 6th of October City Egypt

Phone: 281-4438564
Phone: 56-2-595 4210
Phone: 66-2-9370091
Phone: 49-40-767420
Phone: 202-2-828 8888

Fax: 281-230-8650
Fax: 56-2-595 4290
Fax: 66-2-937-0097
Fax: 49-40-7674233
Fax: 202-2-828 8889



n° 183178

**ESPECIFICACION INTERNACIONAL
GEOTEXTIL PAVCO NT 3000**

**GEOTEXTILES
NO TEJIDOS**



Es un Geotextil No Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas. Este Geotextil se produce en una de las plantas de PAVCO S.A., bajo un sistema de gestión de calidad de acuerdo con los requerimientos de la norma de calidad ISO 9001:2000 y un sistema de gestión ambiental bajo la norma internacional ISO 14000. Es altamente resistente a la degradación biológica y química que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación son obtenidos en el laboratorio de control de calidad de geotextiles de PAVCO S.A., acreditado dentro del sistema de normalización, certificación y metrología de la S.I.C., según resolución 35707.

PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	VALOR MARV ²	
MECANICAS	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N (lb) %	700 (158) > 50
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	400 (90)
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	280 (63)
	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2070 (300)
	Método de la Tira Ancha Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4595	kN/m %	11.0 47
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D-6241	kN	2.0
HIDRAULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.150 (100)
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	29 x 10 ⁻²
	Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	1.8
	Tasa de Flujo	ASTM D-4491	L/min/m ²	4930
FISICAS	Espesor	ASTM D-5199	mm	1.6
	Rollo Ancho	Medido	m	3.5
			m	3.8
			m	4.0
	Rollo Largo	Medido	m	120
Rollo Area	Calculado	m ²	420	
		m ²	456	
		m ²	480	
Resistencia UV (% retenido @ 500h)	ASTM D-4355	%	> 70	

Septiembre 2004



NOTAS

- Los valores de las propiedades de esta especificación son vigentes a partir de Sep-04 y están sujetas a modificaciones sin previo aviso.
- Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del geotextil. Los valores MARV corresponden al valor resultante de Valor típico - 2 veces desviación estándar de todos los datos históricos.

Pavco se reserva el derecho de introducir las modificaciones de especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos. La información aquí contenida se ofrece gratis y es, a nuestro leal saber y entender, cierta y exacta, no obstante todas las recomendaciones y sugerencias están hechas sin garantía, puesto que las condiciones de uso están fuera de nuestro control.

ANEXO RELACION DE PLANOS

P-01: PLANO DE UBICACION DEL HUMEDAL CONSTRUIDO

P-02: PLANTA GENERAL DE LAS REDES DE DESAGUE

P-03: PERFILES DE LAS REDES DE DESAGUE

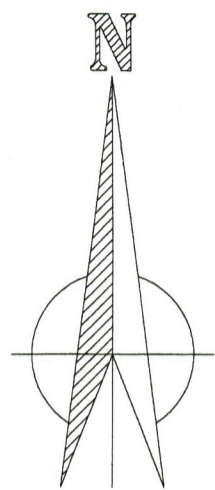
P-04: DETALLES DE PLANTA GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUSO


P-05: ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

P-06: PLANTA Y CORTES DE HUMEDAL SUB SUB-SUPERFICIAL FLUJO HORIZONTAL

P-07: POZO PERCOLADOR DE LODOS

P-08: PLANTA Y CORTES DEL SEDIMENTADOR

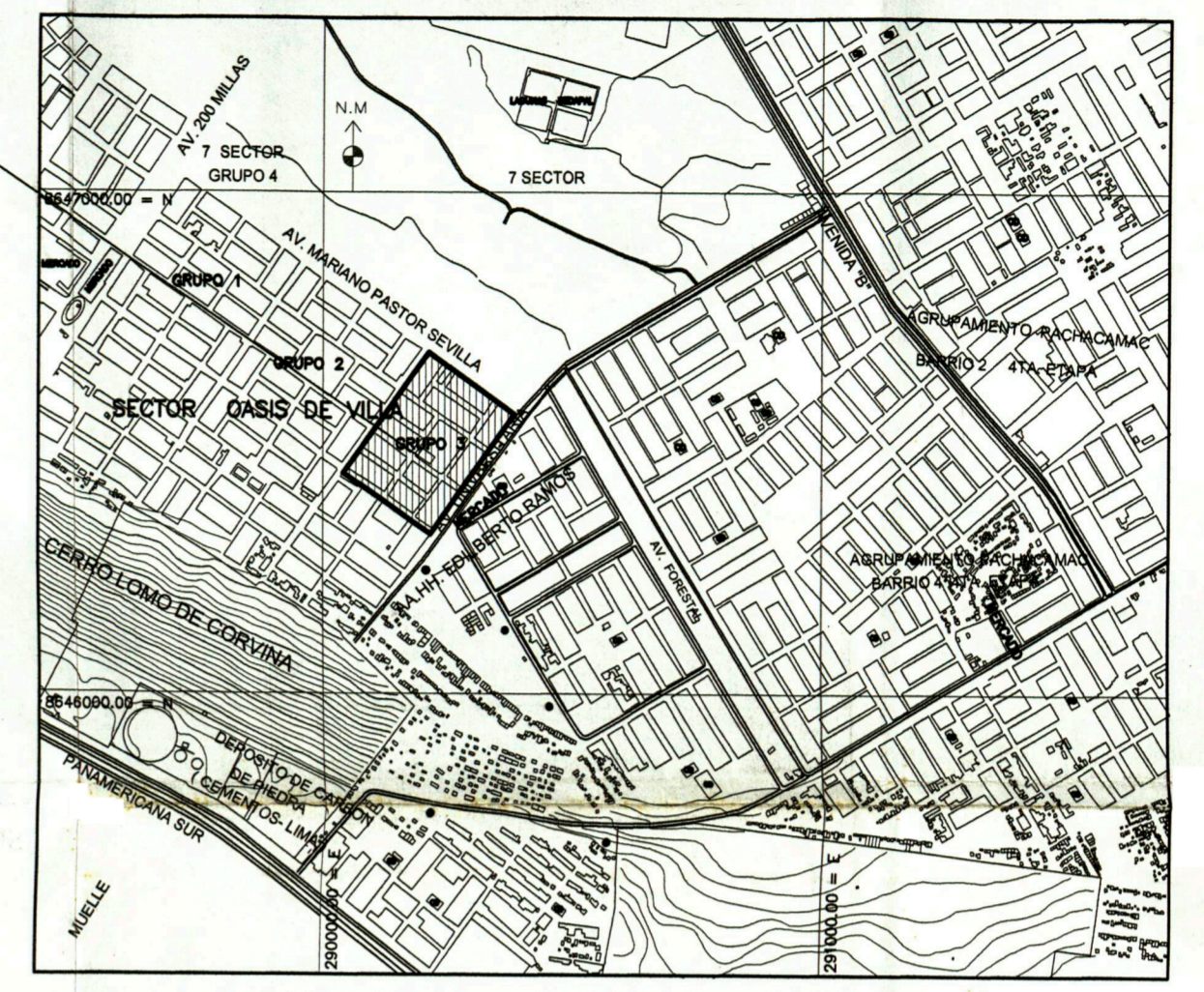


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL		
PROYECTO: TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES OASIS DE VILLA		
PLANO DE UBICACION DEL HUMEDAL CONSTRUIDO		
Elaborado:	Revisado:	FIA - UNI
Diseño:	VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	Fecha: DICIEMBRE 2006
Escala:	1/20000	CAD: VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.
		P - 01



PLANTA - RED DE DESAGUE
ESCALA: 1/1.000

SECTOR OASIS DE VILLA
GRUPO 3



UBICACION
ESCALA: 1/10,000

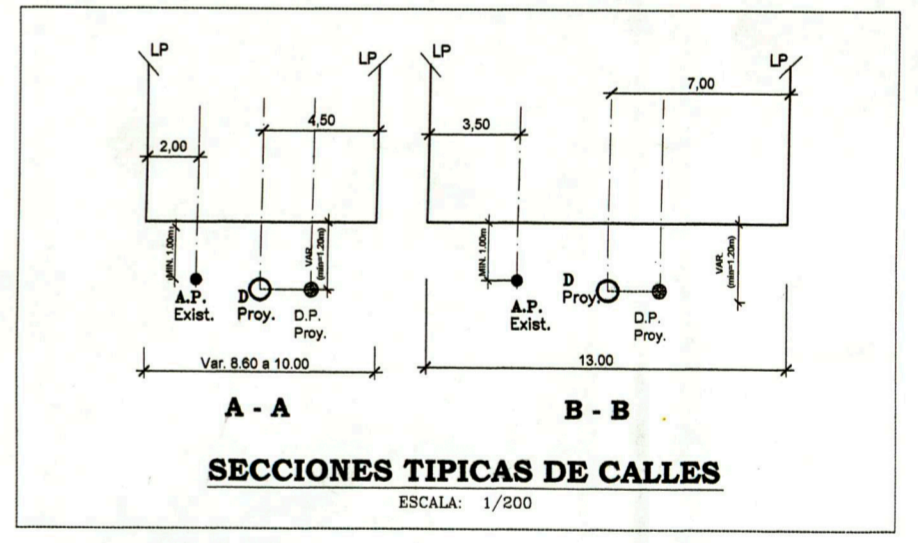
LEYENDA


- TUBERIA Y BUZON EXISTENTE
- TUBERIA Y BUZON PROYECTADA
- COLECTOR DE Ø110mm PROYECTADO POR EL ESQUEMA OASIS DE VILLA
- BM AUXILIAR DEL PROYECTO (VER NOTA)
- LIMITE DE PROPIEDAD

METRADO

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
TUBERIA PROYECTADA PVC, Ø110mm SAL	m	613.10
BUZON ESTANDAR TIPO I	Und.	10.00

NOTA:
1. LAS COTAS ESTAN REFERIDAS AL BM OFICIAL DEL I.G.M. APL. 7, CUYA COTA ES 231.06 m.s.n.m. Y SE ENCUENTRA UBICADO EN LA INTERSECCION DE LA AV. PACHACUTEC CON LA AV. J. C. MARIATEGUI.
2. EL BM AUXILIAR DEL PROYECTO ESTA SOBRE LA TAPA DEL BUZON EXISTENTE BE-1, UBICADO EN EL AA-HH. EDILBERTO RAMOS, EN LA INTERSECCION DE LA AV. FORESTAL Y LA AV. UNIVERSITARIA Y CUYA COTA ES 128.250 m.s.n.m.





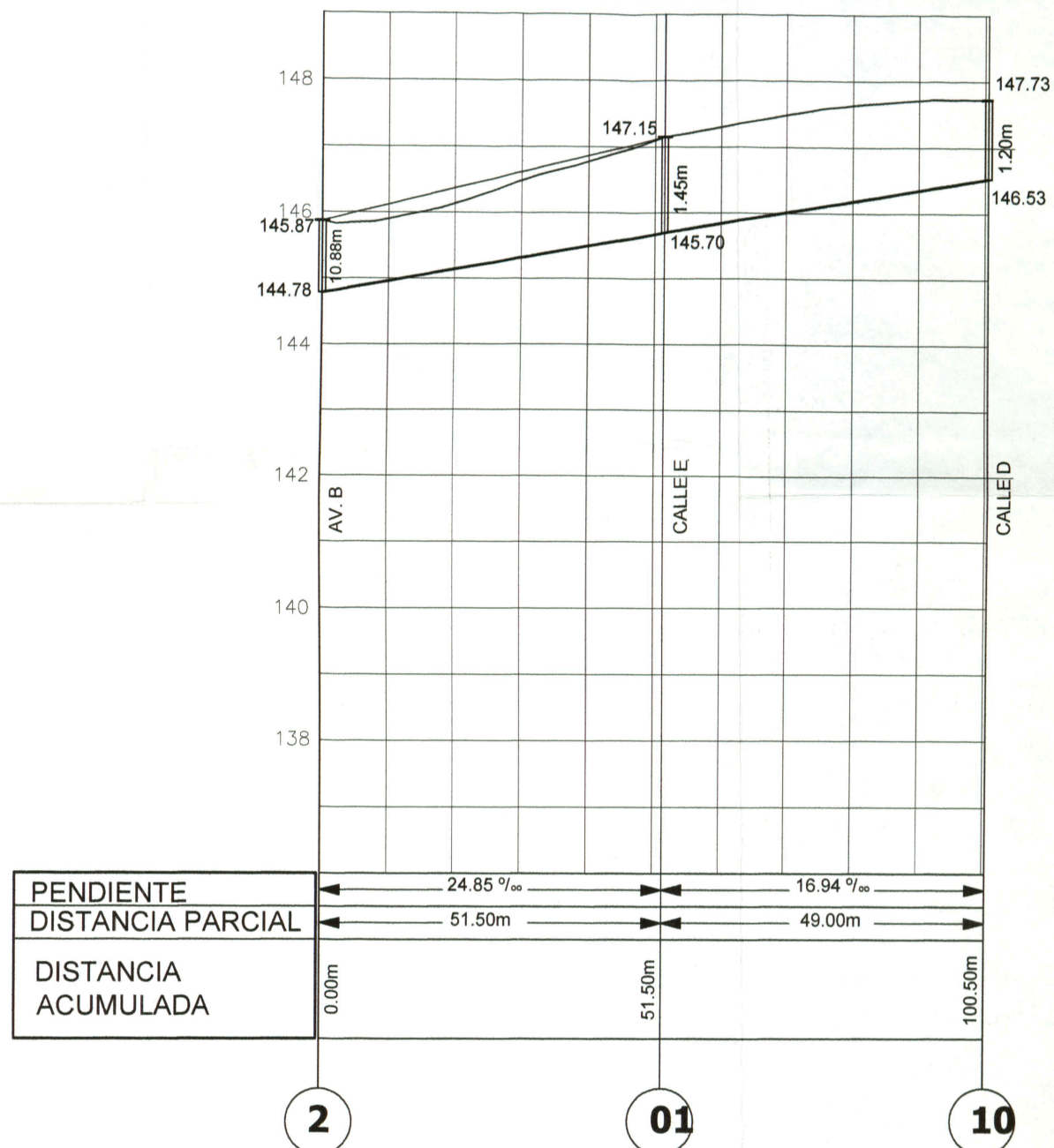
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

PROYECTO: TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES
OASIS DE VILLA

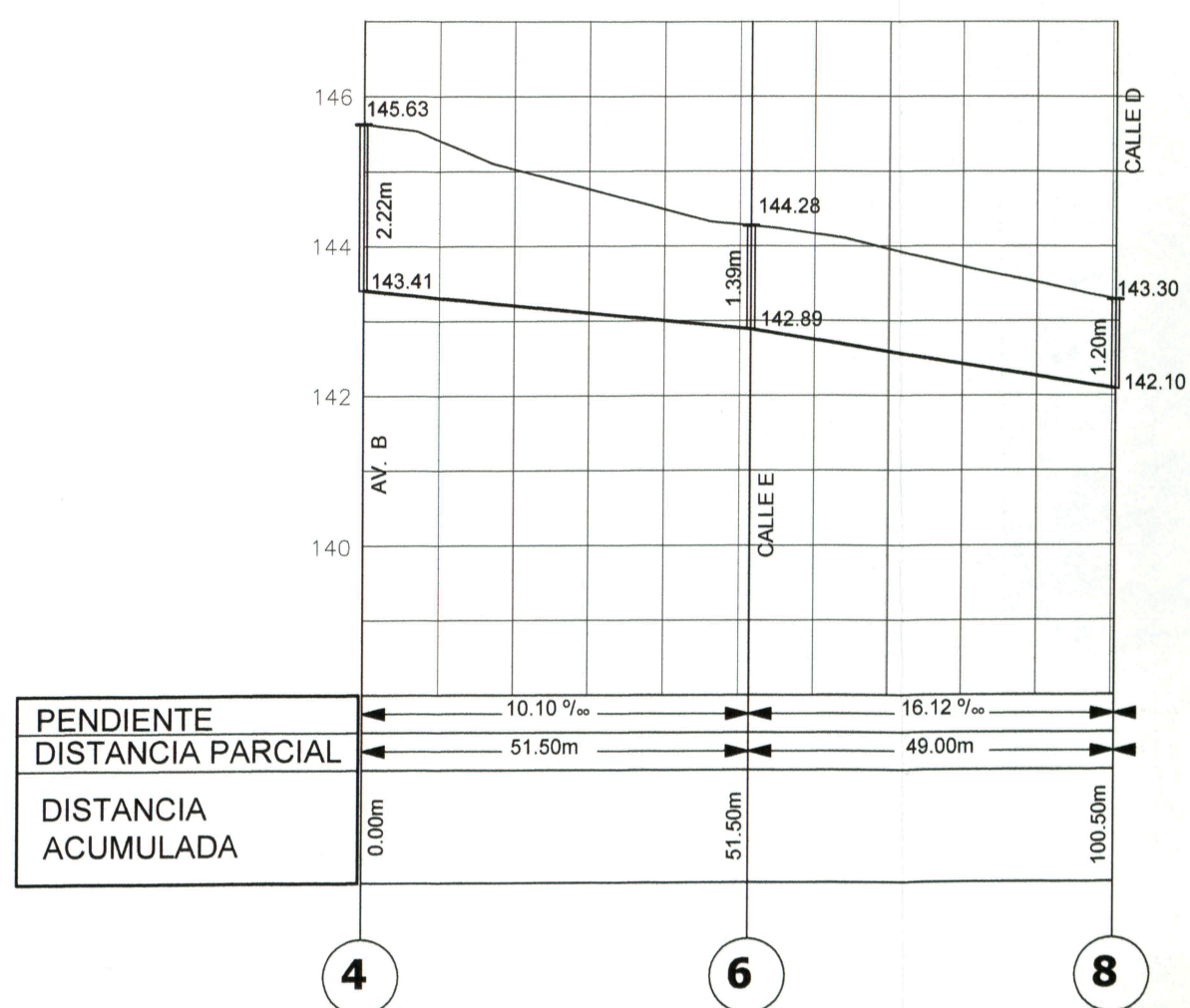
PLANTA GENERAL DE LAS REDES DE DESAGUE

Elaborado:	Revisado: FIA - UNI	P - 02
Diseño: VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	Fecha: DICIEMBRE 2006	
Escala: 1/1000	CAD: VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	

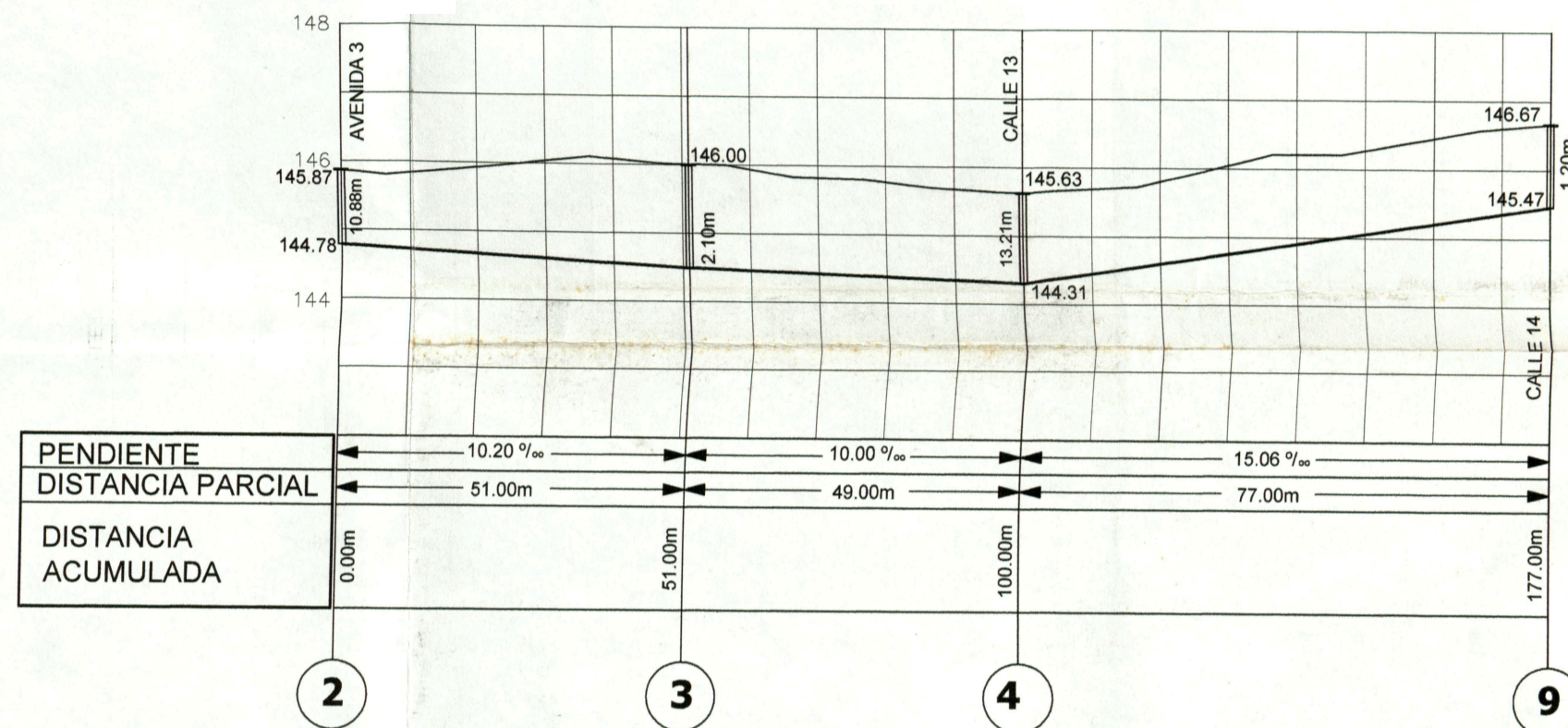
AVENIDA 3



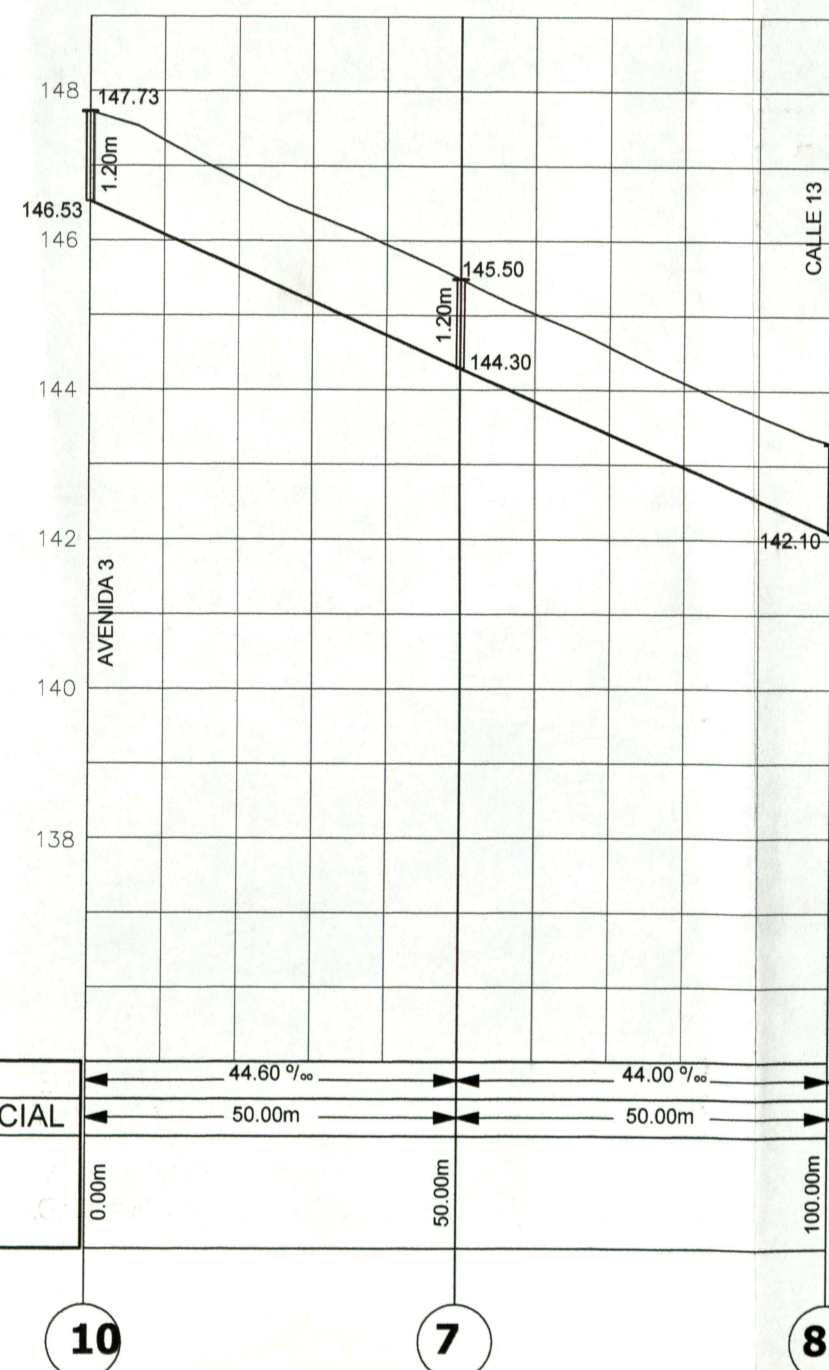
CALLE 13



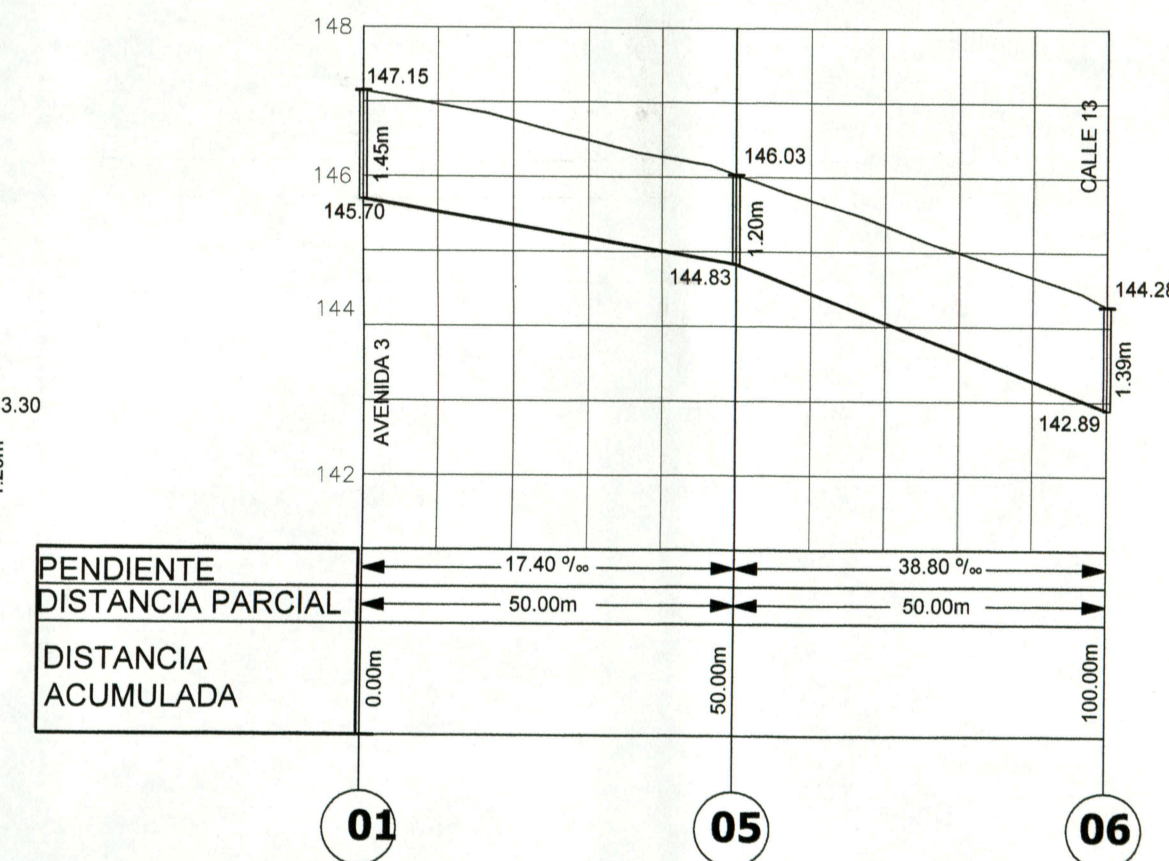
AVENIDA B



CALLE D



CALLE E

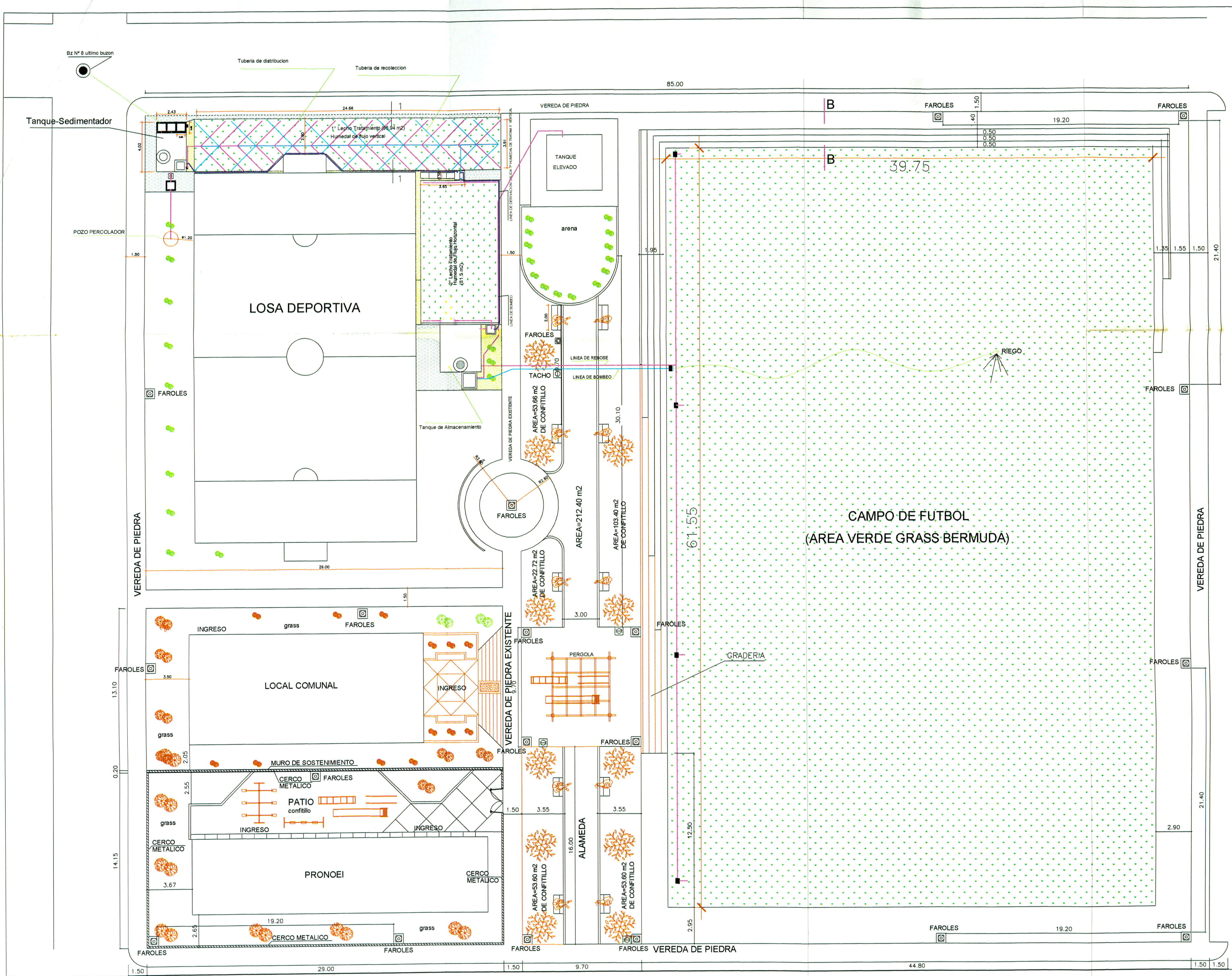


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

PROYECTO: TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES
OASIS DE VILLA

PERFILES DE LAS REDES DE DESAGUE

Elaborado:	Revisado: FIA - UNI	P - 03
Diseño: VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	Fecha: DICIEMBRE 2006	
Escala: V: 1/100 H: 1/1000	CAD: VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

BACHILLERES

VICTOR GALINDO YAURIS
MARIA M. RUIZ VASQUEZ

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES-OASIS DE VILLA
DETALLES DE PLANTA GENERAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUSO

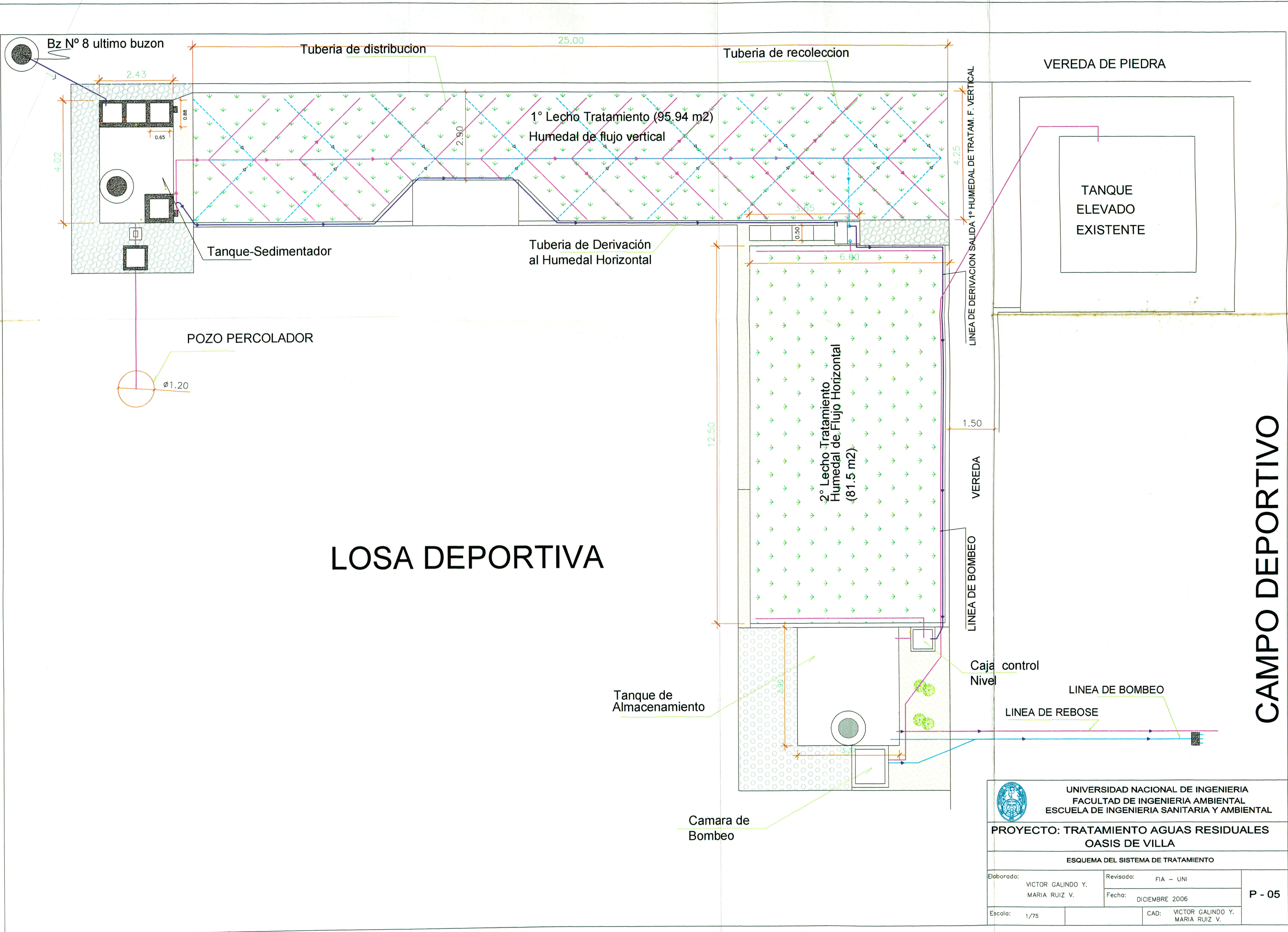
PROYECTO:
PLANO:

FECHA:
DICIEMBRE 2006

ESCALA:
1/200

N° DE LAMINA:

P-04

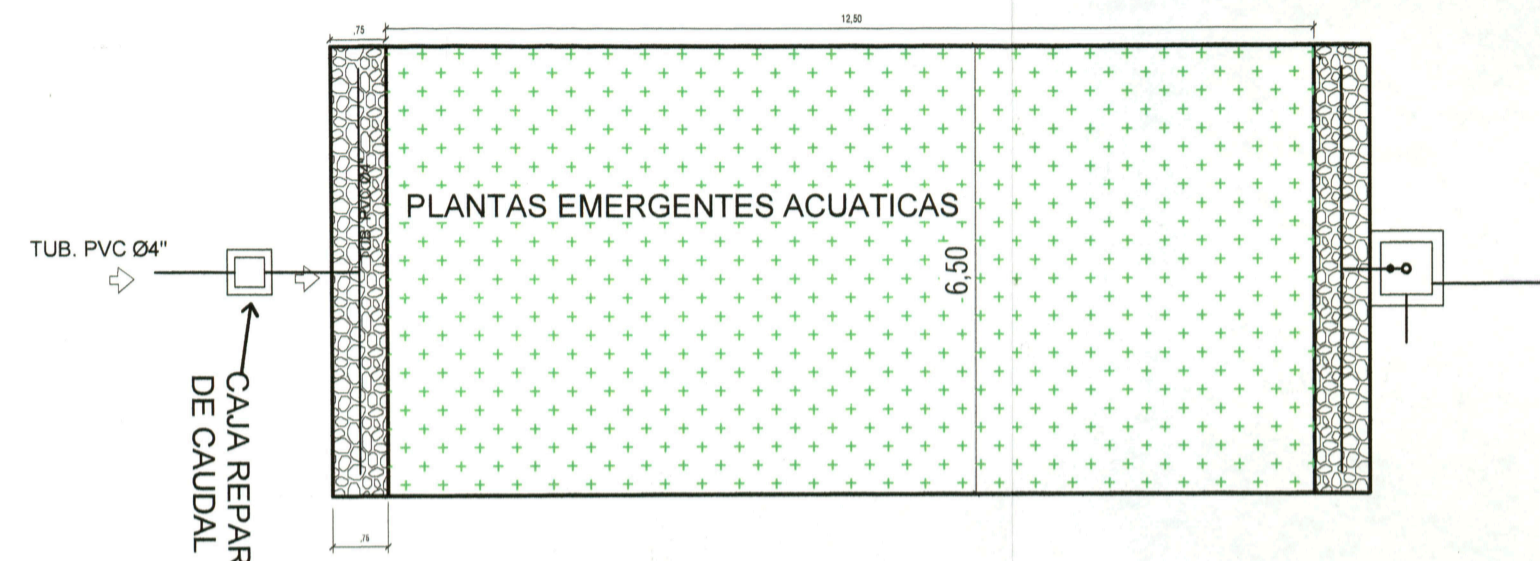


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
 ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

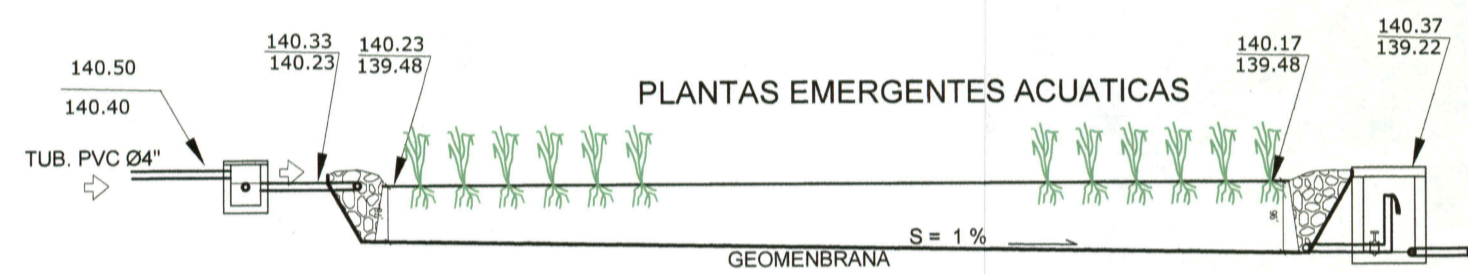
PROYECTO: TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES OASIS DE VILLA

ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

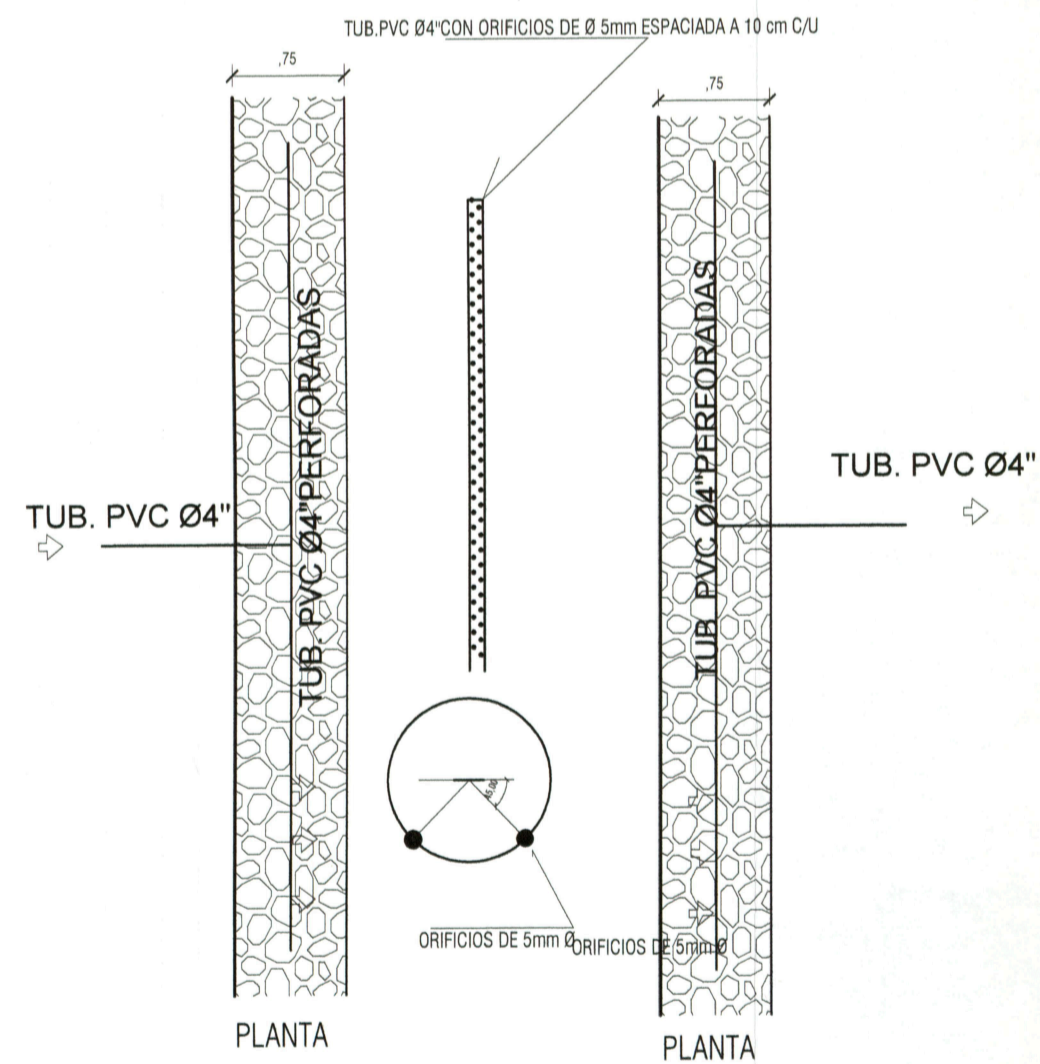
Elaborado: VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	Revisado: FIA - UNI	P - 05
Escala: 1/75	Fecha: DICIEMBRE 2006	
CAD: VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.		



PLANTA
ESC. 1/100

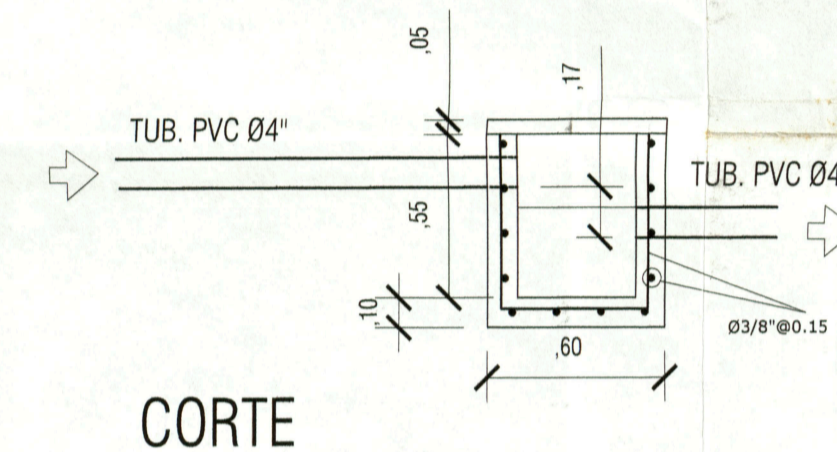
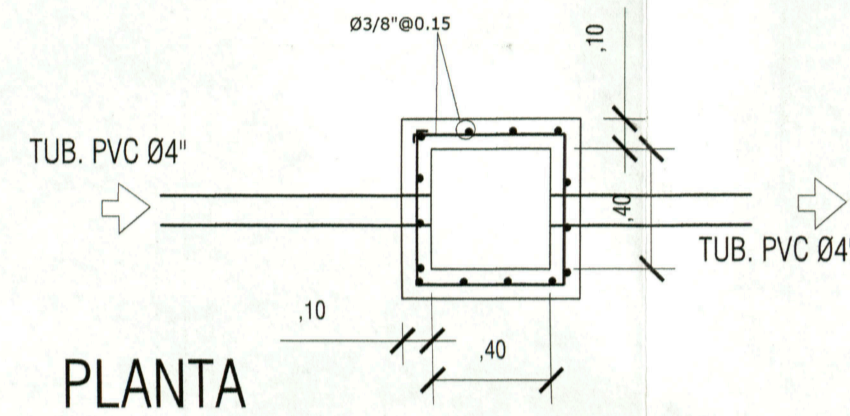
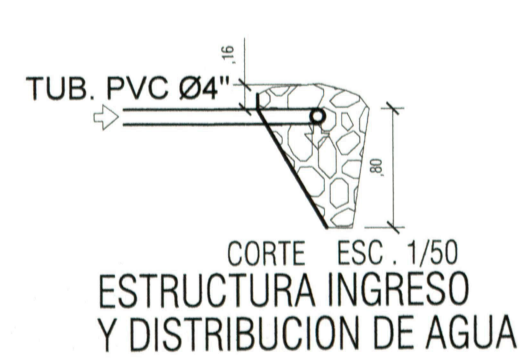


CORTE A-A
ESC. 1/100

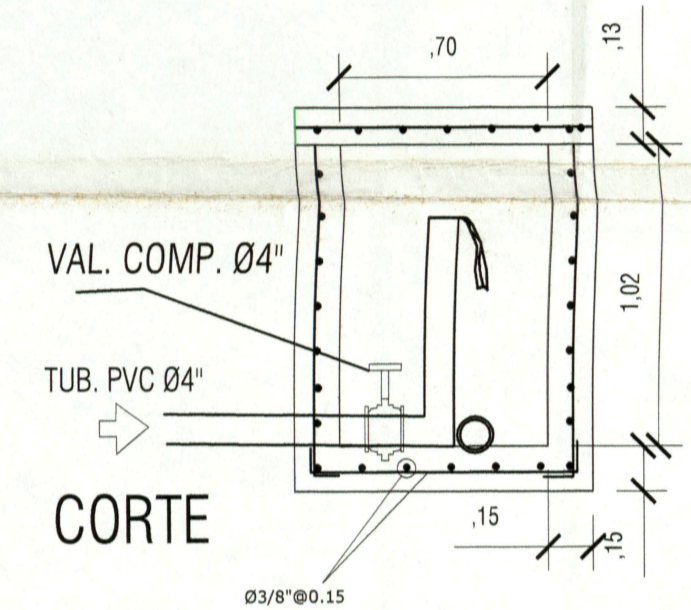
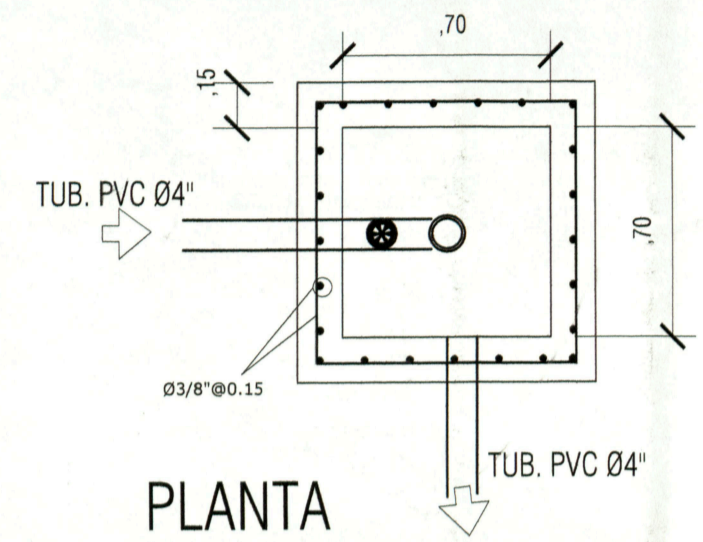


PLANTA

PLANTA



CAJA DISTRIBUCION DE CAUDAL
ESCALA : 1/25



CAJA CONTROL DE NIVEL DE AGUA
ESCALA : 1/25

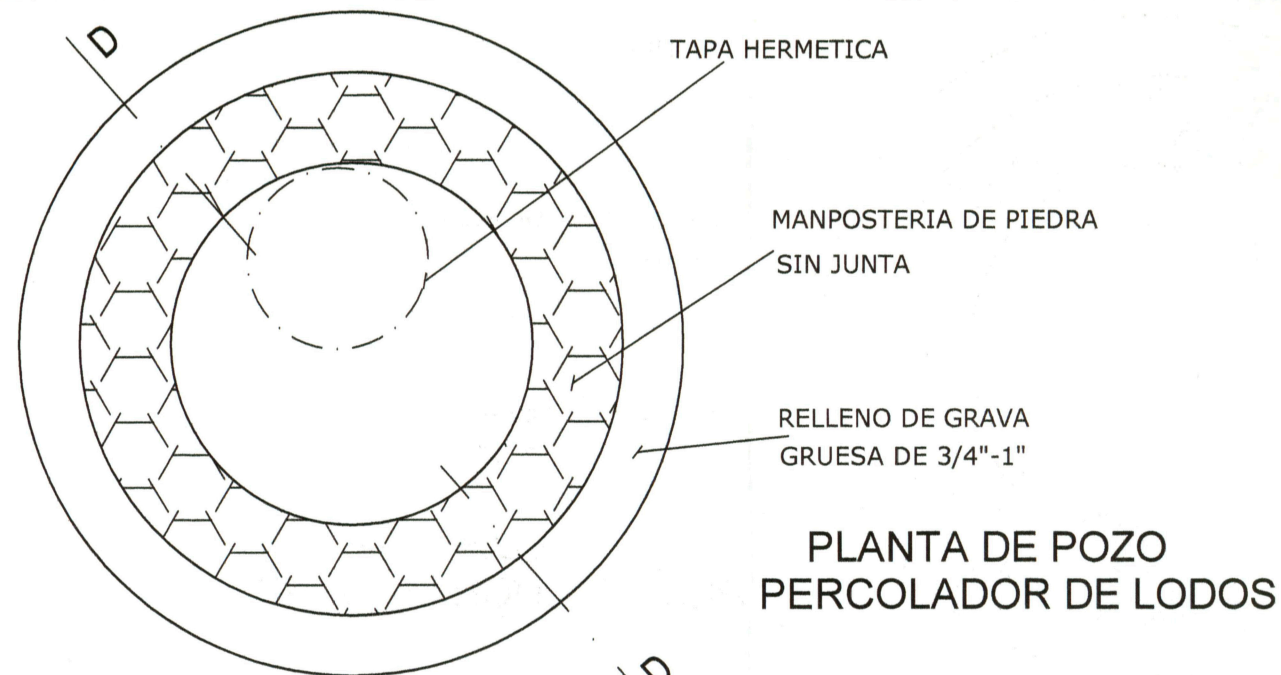


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

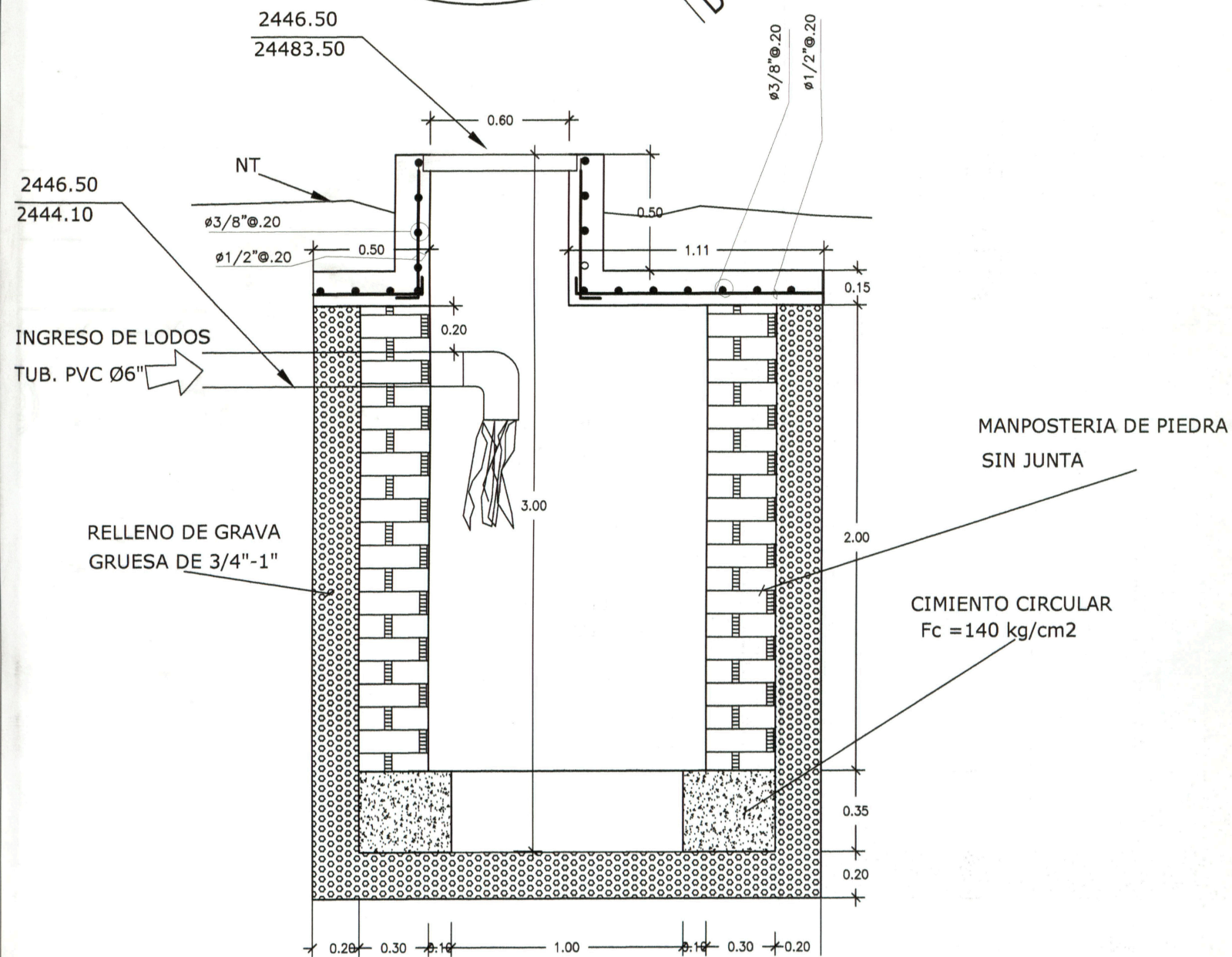
PROYECTO: TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES OASIS DE VILLA

PLANTA Y CORTES DE HUMEDAL SUB-SUPERFICIAL FLUJO HORIZONTAL

Elaborado:	VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	Revisado:	FIA - UNI
		Fecha:	DICIEMBRE 2006
Escala:	INDICADA	CAD:	VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.



PLANTA DE POZO PERCOLADOR DE LODOS



CORTE Y DETALLES DE POZO PERCOLADOR DE LODOS

ESPECIFICACIONES

- ACERO $f'y=4200 \text{ Kg/cm}^2$ CONCRETO $f'c=$ INDICADO
- RECUBRIMIENTOS: $e = 0.03 \text{ m}$
- LAS SUPERFICIES INTERIORES DE MUROS Y LOSA DE FONDO SERAN TARRAJEADAS EN DOS CAPAS: a) LA PRIMERA DE 1.5cm. DE ESPESOR CON MEZCLA CEMENTO/ARENA 1:5 Y ACABADO RAYADO. b) LA SEGUNDA (24 HORAS DESPUES) DE 0.50cm. DE ESPESOR, MEZCLA 1:3 Y ACABADO PULIDO. CUALQUIER "CANGREJERA" QUE PUDIERA PRESENTARSE EN EL REVES DE LA LOSA DE TECHO DEBERA SER CALAFATEADA CUIDADOSAMENTE CON MEZCLA 1:3, SI SE OBSERVARA LA ARMADURA DE ACERO EN ALGUNA PARTE, EL INTEGRO DEL REVES DE LA LOSA DEBERA SER TARRAJEADA DE LA MANERA INDICADA PARA LOS MUROS.

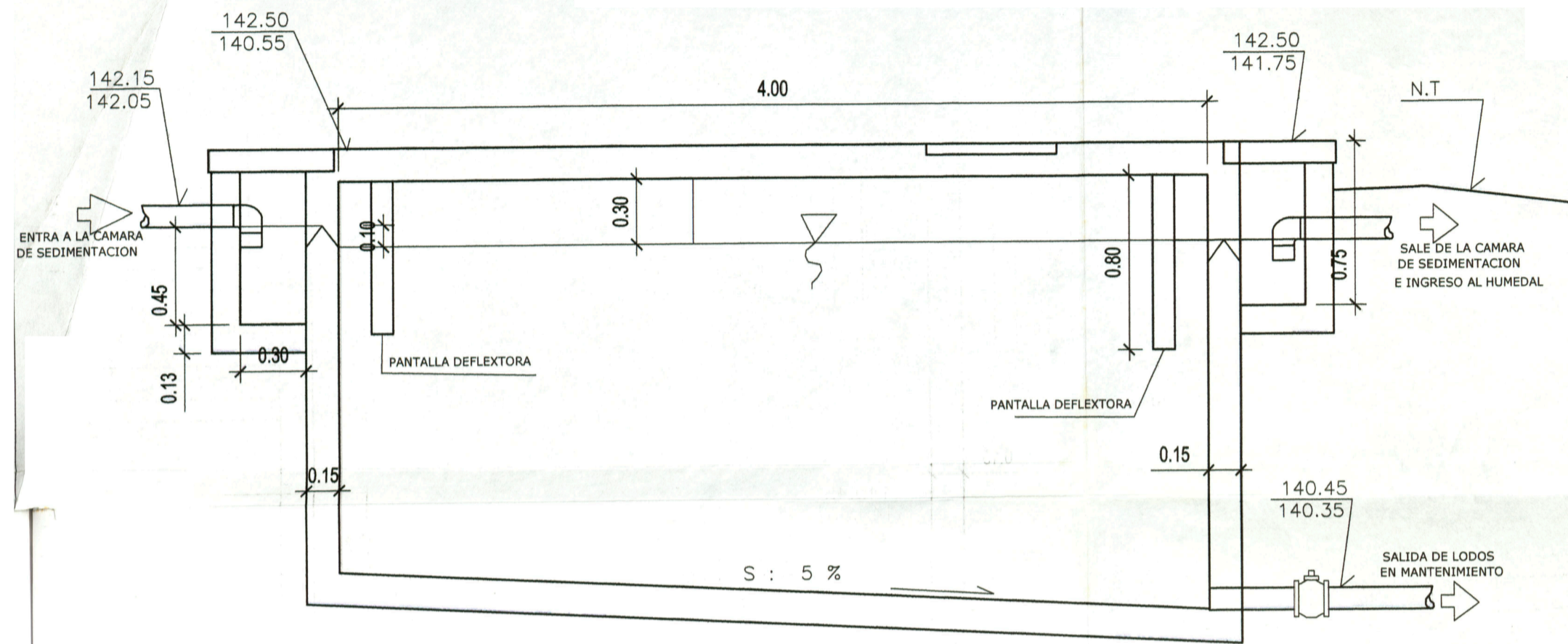


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

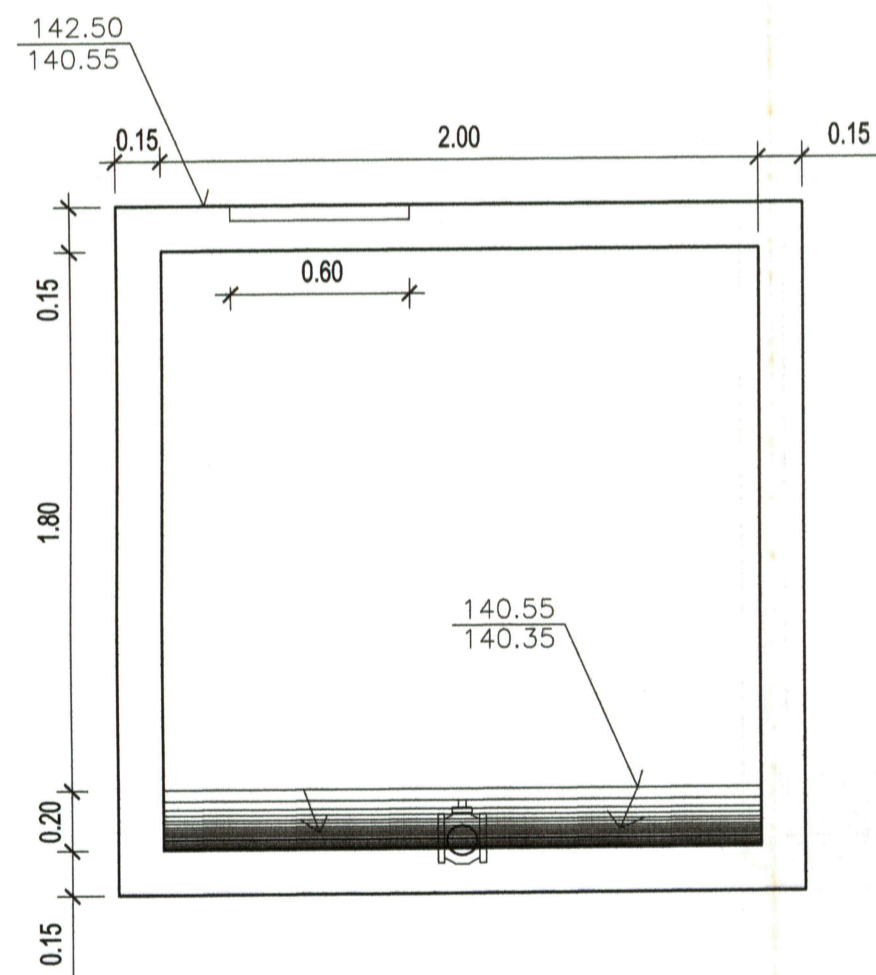
PROYECTO: TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES OASIS DE VILLA

POZO PERCOLADOR DE LODOS

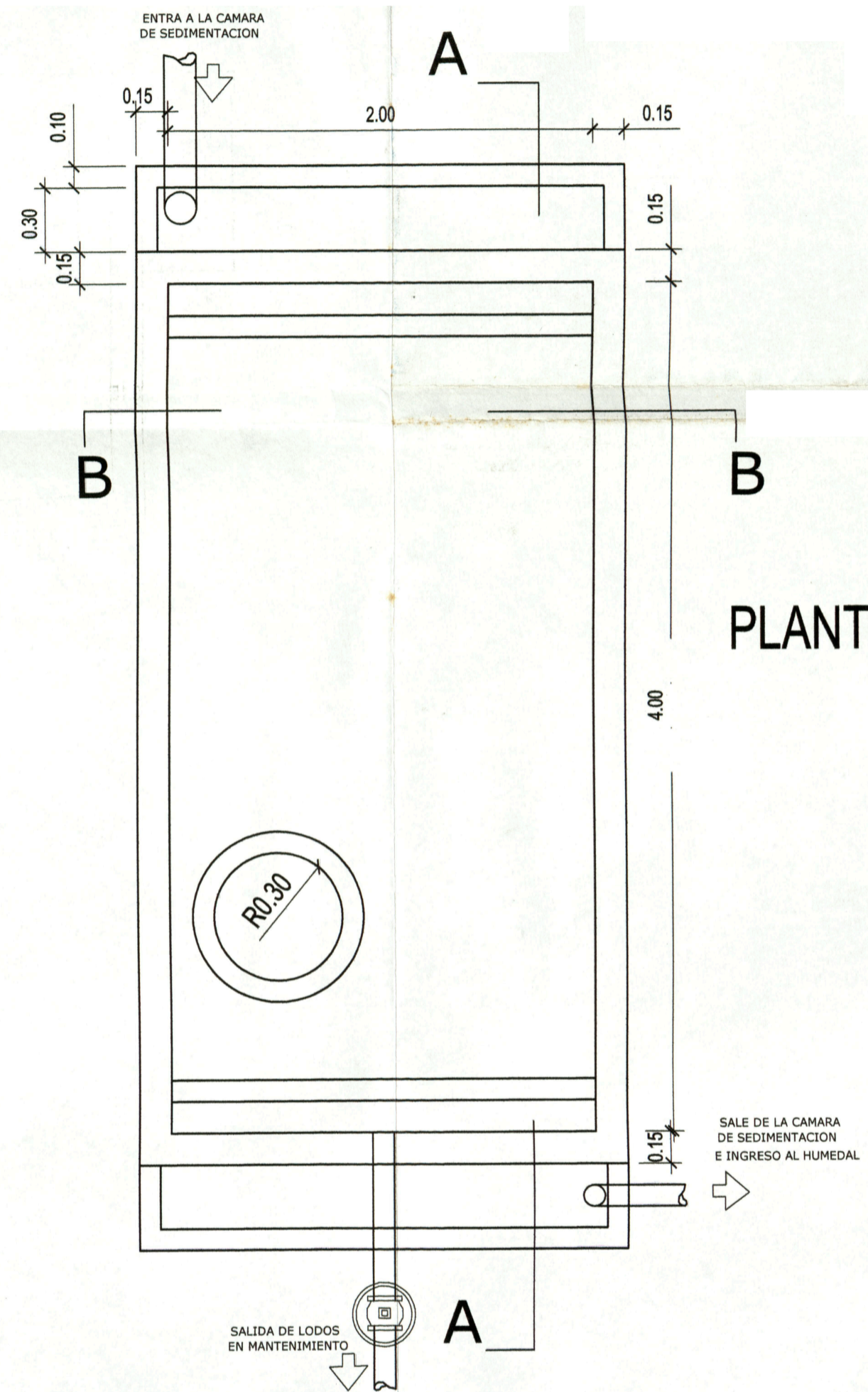
Elaborado:	VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	Revisado:	FIA - UNI	P - 07
Fecha:	DICIEMBRE 2006	CAD:	VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	
Escala:	1/25			




CORTE A - A



CORTE B - B



PLANTA-SEDIMENTADOR

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL ESCUELA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL			
PROYECTO: TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES OASIS DE VILLA			
Plano: PLANTA Y CORTES DEL SEDIMENTADOR			
Elaborado:	VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.	Revisado:	FIA - UNI Fecha: DICIEMBRE 2006
Escala:	1/25	CAD:	VICTOR GALINDO Y. MARIA RUIZ V.