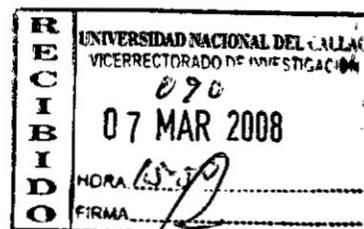
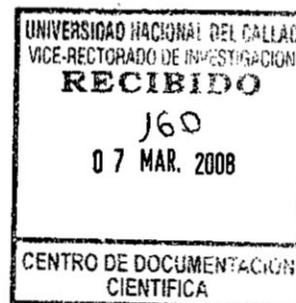


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



Informe Final:

“Calidad de Efluentes Domésticos tratados a través de Humedales Artificiales para su Reutilización - San Juan de Marcona del Distrito de Marcona”

Autor: Ing. Máximo Baca Neglia

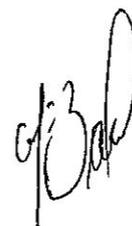
Periodo de Ejecución: 01 de diciembre del 2005 al 30 de noviembre de 2007 (24 meses)

Resolución Rectoral: N° 1325-R.- Callao, diciembre 21 de 2005

Año 2008

INDICE

I.-	RESUMEN	7
II.-	INTRODUCCIÓN	8
III.-	MARCO TEORICO	10
	3.1. Caracterización de las Aguas Residuales Domésticas.....	10
	3.1.1 Aguas Residuales.....	10
	3.1.2 Contaminación de las Aguas Residuales.....	10
	3.1.3 Aguas Residuales Domésticas.....	11
	3.2. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales.....	11
	3.2.1 Partículas en Suspensión.....	11
	3.2.2 Contenido de Microorganismos	11
	3.2.3 Contenido Orgánico, Materia Oxidable Biológicamente.....	12
	3.2.4 Contenido de Nutrientes.....	12
	3.2.5 pH.....	13
	3.2.6 Cloruros.....	13
	3.2.7 Grasas	13
	3.2.8 Alcalinidad.....	13
	3.3. Reutilización de las aguas residuales.	14
	3.4. Problemática Ambiental.....	14
	3.5. Tratamiento de las aguas residuales	15
	3.5.1. Alternativas de tratamiento.....	15
	3.5.1.1 Lagunas de estabilización.....	15
	3.5.1.2 Lagunas Naturales.....	16
	3.5.1.3 Lagunas Aireadas.....	16
	3.5.1.4 Humedales.....	16
	3.6. Humedales Artificiales.....	17
	3.6.1. Tipos de Humedales Artificiales.....	18
	3.6.1.1. Humedales con Flujo Libre (FL).....	18
	3.6.1.2. Humedales con Flujo Subsuperficial. (FS).....	18
	3.6.1.3. Ventajas de los humedales de Flujo Subsuperficial respecto a los humedales de Flujo Libre.....	18
	3.6.2. Componentes del Humedal.....	19



3.6.2.1. Plantas.....	19
3.6.2.2. El suelo y el medio soporte.....	21
3.6.2.3. Microorganismos.....	22
3.6.3. Mecanismos de Remoción.....	23
3.6.3.1. Remoción de Sólidos Suspendidos.....	23
3.6.3.2. Remoción de DBO ₅	24
3.6.3.3. Remoción de Nitrógeno.....	24
3.6.3.4. Remoción del Fósforo.....	26
3.6.3.5. Remoción de Metales.....	26
3.6.3.6. Remoción de Patógenos.....	27
3.7. Sistemas de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial.....	27
3.7.1 Descripción del proceso.....	28
3.7.2 Localización.....	28
3.7.3 Recubrimientos.....	28
3.7.4 Tipos de vegetación.....	28
3.7.5 Medio del lecho.....	29
3.7.6 Mecanismos de remoción y transformación de los constituyentes.....	29
3.7.7 Desempeño del proceso.....	29
3.7.7.1 Remoción de DBO ₅	29
3.7.7.2 Remoción de SST.....	30
3.7.7.3 Remoción de Nitrógeno.....	30
3.7.7.4 Remoción de Fósforo.....	30
3.7.7.5 Remoción de Metales.....	30
3.7.7.6 Remoción de Organismos Patógenos.....	31
3.8. Consideraciones en el Diseño del Proceso.....	31
3.8.1. Tiempo de retención para la remoción de DBO.....	31
3.8.2. Área superficial requerida.....	31
3.8.3. Relación de aspecto.....	32
3.8.4. Carga de Sólidos Suspendidos en la zona de entrada.....	33
3.8.5. Profundidad del medio.....	33
3.8.6. Tiempo de retención para la remoción de Nitrógeno.....	33
3.8.7. Consideraciones hidráulicas.....	34
3.8.8. Implantación de vegetación.....	35



3.8.9.	Características físicas de los Humedales de Flujo Subsuperficial.	
3.8.9.1	Estructuras de entrada y salida.....	35
3.8.9.2	Recirculación.....	36
3.8.9.3	Recubrimientos de los lechos.....	36
3.9.	Normas Legales.....	36
3.9.1	La Constitución Política de 1993.....	36
3.9.2	Ley General de aguas promulgada por Decreto Supremo N° 17752 del 29 de Julio de 1969 y los Reglamentos de los títulos de dicha ley.....	37
3.9.3	Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Decreto Legislativo N° 613.....	38
3.9.4	Código Sanitario.....	38
IV.-	MATERIALES Y METODOS.....	39
4.1	Materiales.....	39
4.1.1	Trabajo de Gabinete.....	39
4.1.2	Trabajo de Campo.....	39
4.1.3	Trabajo de Laboratorio.....	39
4.2	Métodos.....	39
4.2.1.	Técnicas de recopilación de datos.....	39
4.2.2.	Técnicas Estadísticas.....	40
4.2.3.	Técnicas de Laboratorio.....	40
4.2.4.	Modelo de Humedal Artificial Piloto, Cálculo de Diseño.....	41
4.2.5.	Validación del Humedal Piloto.....	41
4.3	Caracterización general del Distrito de San Juan de Marcona...	41
4.3.1	Ubicación y Vías de acceso.....	41
4.3.2	Descripción del Medio Ambiente.....	42
4.3.2.1	Ambiente Físico.....	42
4.3.2.2	Ambiente Biológico.....	51
4.3.2.3	Ambiente Humano.....	52
4.4	Perspectivas de Crecimiento de San Juan de Marcona.....	53
V.-	RESULTADOS.....	55
5.1.	Caracterización de los efluentes domésticos producidos en la ciudad de San Juan de Marcona del Distrito de Marcona.....	55

5.2.	Diseño del modelo piloto del humedal artificial de flujo subsuperficial.....	57
5.2.1.	Calculo del Diseño del Humedal Piloto.....	57
5.2.2.	Procedimiento de Validación del Humedal Piloto, en base a la t de Student.....	59
5.3.	Caracterización de los efluentes tratados mediante el modelo piloto de humedal artificial de flujo subsuperficial.....	62
5.3.1.	Remoción de DBO ₅	62
5.3.2.	Remoción de SST.....	63
5.3.3.	Remoción del Nitrógeno.....	65
5.3.4.	Remoción del Fósforo.....	67
5.3.5.	Remoción de Metales.....	68
5.3.6.	Remoción de Coliformes Fecales.....	70
VI.-	DISCUSION.....	72
6.1.	De los resultados obtenidos durante las pruebas en el humedal piloto.....	72
6.1.1.	Los resultados con respecto a la DBO ₅	72
6.1.2.	Los resultados con respecto a la SST.....	72
6.1.3.	Los resultados con respecto a los Nitratos.....	73
6.1.4.	Para el caso del Fósforo.....	73
6.1.5.	Caso de Metales.....	73
6.1.6.	Remoción de Organismos Patógenos.....	73
6.2.	Los efluentes domésticos y su disponibilidad para el riego.....	74
6.3.	De la calidad de los efluentes domésticos.....	76
6.4.	Del área requerida para implementar los humedales.....	77
VII.-	CONCLUSIONES.....	78
VIII.-	REFERENCIALES.....	80
IX.-	APENDICE.....	84
	Cuadros:	
	• Cuadro N° 9.1: “Nombre de las estaciones de aforos de los emisores”	
	• Cuadro N° 9.2: “Población de la Ciudad en el Distrito de San Juan de Marcona”	
	• Cuadro N° 9.3: “Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal piloto, 15 observaciones, para la DBO ₅ (Ingreso vs Salida, del 02 al 16/01/07)”	
	• Cuadro N° 9.4: “Caudal Promedio y Área requerida para los humedales”	
	• Cuadro N° 9.5: “Valores promedio de los diferentes parámetros que caracterizan el efluente Domestico de San Juan de Marcona”	

Tablas:

Tabla N° 9.1: “Cálculos para determinación de la t de Student”

Figuras:

- Figura N° 9.1: “ Fotografía que muestra los tanques de almacenamiento de agua dulce”
- Figura N° 9.2: “Fotografía que muestra la bomba de agua de mar”
- Figura N° 9.3: “Emisor S-12, Zona Pescadores - Cuartos Palomares”
- Figura N° 9.4: “Emisor S-12b, Oficinas”
- Figura N° 9.5: “Emisor S13, Zona Miramar”
- Figura N° 9.6: “Emisor S-14 Playa Hermoza”
- Figura N° 9.7: “Emisor S-15, Zona R”
- Figura N° 9.8: “Emisor S-16, Ingreso lagunas de Oxidación”
- Figura N° 9.9: “Figuras panorámicas de la ciudad de San Juan de Marcona, obsérvese la mínima existencia jardines y áreas verdes”
- Conjunto de Figuras Fotográficas:
- Figura N° 9.10: “Jardín de la FIARN en la Ciudad de la UNAC”
- Figura N° 9.11: “Conjunto de figuras en la que visualizamos la fabricación del cajón de madera que más tarde constituiría el humedal piloto”
- Figura N° 9.12: “Conjunto de figura en la que se muestra la impermeabilización del cajón de madera para evitar las fugas de agua del humedal piloto”
- Figura N° 9.13: “Conjunto de figuras fotográficas que muestran al humedal piloto operando”

Otros:

- Plano N° 9.1: “Plano de ubicación y dimensionamiento del Humedal Piloto”
- Plano N° 9.1A: “Plano de dimensionamiento del humedal Piloto”

X.- ANEXO.....95

Tablas:

- Tabla N° 10.1: “Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales”
- Tabla N° 10.2 “Contaminantes y sus efectos potenciales”
- Tabla N° 10.3: “Clasificación de los cursos de agua (Ley General de Aguas de D.L. N° 17752) Límites Máximos de Permisibles de las sustancias potencialmente tóxicas para las 6 clases”
- Tabla N° 10.4: “Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales”
- Tabla N° 10.5: “Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales”.
- Tabla N° 10.6: “Características usuales del medio para los humedales de flujo subsuperficial”.
- Tabla N° 10.7 “Remoción total de DBO observada en humedales de flujo subsuperficial”.
- Tabla N° 10.8: “Criterios usuales de diseño y de la calidad de la calidad del efluente esperado en humedales artificiales de flujo flujo subsuperficial”.
- Tabla N° 10.9: “Comparación del comportamiento de arena, la grava y los filtros de roca que funcionan con diferentes tasas de carga de sólidos suspendidos”
- Tabla N° 10.10: “Característica del periodo anual del 2006 con respecto a Temperatura (media mensual), Precipitación (total mensual), Humedad Relativa (media mensual), Dirección y velocidad media del viento”
- Tabla N° 10.11: “Resultados del Monitoreo de Calidad de aire”
- Tabla N° 10.12: “Resultados Analíticos del Cuerpo Receptor”
- Tabla N° 10.13: “Principales Aves Registradas”
- Tabla N° 10.14: “Principales especie ictiologicas”
- Tabla N° 10.15: “Distribución t de Student”



Figuras:

- **Figura N° 10.1: "Plantas acuáticas comunes"**
- **Figura N° 10.2: "Procesos de depuración de los humedales artificiales"**
- **Figura N° 10.3: "Rendimientos de remoción típicos"**
- **Figura N° 10.4: "Rosa de Vientos – Periodo Junio, julio Agosto 2001"**
- **Figura N° 10.5: "Figura Satelital donde se aprecia el distrito de San Juan de Marcona"**



I.- RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado "**Calidad de Efluentes Domésticos tratados a través de Humedales Artificiales para su Reutilización - San Juan de Marcona del Distrito de Marcona**", nos ha permitido demostrar la capacidad remocional de los Humedales Artificiales, con los resultados obtenidos en el humedal piloto, se demuestra la hipótesis, es decir que los efluentes domésticos tratados por humedales artificiales del tipo subsuperficial permite remover la contaminación de carácter orgánico biodegradable, biológico y otros para obtener agua de calidad cuyo uso se permite en el riego de áreas verdes.

Los efluentes crudos, (caudal de 69.605 L/S., ver Capítulo VI), generados en la ciudad de SJM, en la actualidad vienen siendo arrojados a través de seis emisores de los cuales cinco de ellos disponen del mar y solo una parte a una planta de tratamiento (10 L/S), esta disposición final de los desagües, si bien es cierto el programa de monitoreo aún no arroja problemas notorios de contaminación, creemos que estos se van a presentar en la medida que la capacidad depuradora natural del mar se agote. En las pruebas efectuadas en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, primero permitieron validar el modelo piloto (ver título 4.24 y 4.25), diseñado para tratar los efluentes cuya caracterización son similares a los de la ciudad de SJM, y segundo, luego de validar nuestra principal herramienta, se efectuaron las observaciones necesarias desde el 15 de Julio hasta el 15 de Setiembre del 2007, para encontrar los valores de remoción (ver capítulo V y VI), de cada parámetro evaluado, tales como la remoción de DBO_5 , se obtuvo una remoción del orden de 90.71 %, superior a otros trabajos similares, para los SST se alcanzó una remoción de 90.27%, con respecto a los Nitratos se ha conseguido una remoción del orden de 85.18%, así mismo para el caso del Fósforo la remoción es del orden 81.21%, la remoción conseguida para el Hierro es de 95.65%, el de Organismos Patógenos se ha logrado una remoción del orden de 99%, es necesario precisar, que estos valores se han conseguido para un Carga Superficial de $0.025 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ y periodo de retención de 6.5 días, no todos los valores obtenidos se hallan dentro de lo LMP, es decir dentro de las exigencias de la Clase III.

II.- INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación denominado “**Calidad de Efluentes Domésticos tratados a través de Humedales Artificiales para su Reutilización – San Juan de Marcona del Distrito de Marcona**”, tiene como finalidad resolver la Contaminación Ambiental y la problemática actual de la Ciudad de San Juan de Marcona del Distrito de Marcona en cuanto a la disposición final de sus efluentes o desagües domésticos y adoptar soluciones similares en otra ciudades que lo requieran, utilizando el método de humedales artificiales para obtener agua para el riego y creación de otras áreas verdes.

La falta de política adecuada de los gobiernos de turno con respecto a salvaguardar el medio ambiente y por otro lado el rehusó de los desagües a permitido que actualmente en el país solo se traten el 20% de los desagües domésticos generados en las ciudades, (en Lima solo se trata aproximadamente 9%), previos a su disposición final o reutilización, mientras que el resto ósea el 80% se arroja a un curso natural, sea este un lago un río o el mar como es el caso que nos ocupa trayendo consigo la Contaminación del Medio Ambiente.

La ciudad de San Juan de Marcona ubicada en el Distrito de Marcona, se halla al sur de la ciudad de Lima aproximadamente 500 km., no escapa a la realidad nacional, generando unos 70 l/s de desagües domésticos, no obstante contar en la actualidad con una planta de tratamiento de desagües constituida por lagunas de oxidación, diseñadas para una capacidad de solo 10 l/s, esta no cuenta con la capacidad suficiente y encima se halla deteriorada por falta de operación y mantenimiento adecuado, situación que ha obligado a tener que utilizar el mar como punto de descarga, desperdiciándose la oportunidad de aprovechar estos una vez tratados convenientemente, para generar áreas verdes de la que es escasa la ciudad de San Juan de Marcona, al hallarse asentada la ciudad en una zona sumamente árida y que inclusive el agua potable consumida en la ciudad es extraída de pozos subterráneos que se ubican en la localidad de Jahuay, donde se ubican tres bombas de agua, el transporte desde Jahuay hasta los tanque de almacenamiento en San Juan de Marcona se realiza mediante una tubería de acero de 8” de diámetro,



recorriendo 35 km, transportando aproximadamente 1'450,650 m³ de agua anualmente, situación que justifica aun mas el tratamiento y su reutilización.

La población estimada de la ciudad de San Juan de Marcona del Distrito de Marcona es de 12,000 personas, las que se incrementan durante el verano en un 30%, debido a sus playas, esta situación expone a todos los usuarios de las playas a enfermedades productos de la contaminación por efecto de las disposición de los desagües así como también a la biótica marina.

El desagüe tratado a través de Humedales Artificiales permitiría su reutilización para el riego de áreas verdes en la propia ciudad de Marcona, mejorando su paisaje natural y el entorno ambiental, al mismo tiempo que los propios humedales utilizados para el tratamiento contribuirán con el paisaje al ser ellos mismo áreas verdes y de acuerdo a su manejo se convertirían en fuente materia prima artesanal, esto se podría considerar como una externalidad del proyecto, dado que este material serviría de fuente de trabajo a grupo de familias de escaso recursos económicos.

Otra de las razones que justifica el tratamiento de los desagües, es que en la actualidad se viene construyendo la carretera Transoceánica del Sur, y uno de los ramales de la carretera ha de llegar a la ciudad de San Juan de Marcona para aprovechar su puerto el mismo que se ha de convertir en el gran Mega Puerto de San Juan de Marcona, siendo la ciudad de San Juan de Marcona del Distrito de Marcona la que recibirá un mayor contingente de visitantes e inclusive habitantes, aumentando su movimiento portuario, requiriendo para ello aumentar sus servicios, y mejorar su aspecto ambiental.

El Autor



III.- MARCO TEORICO.-

3.1 Caracterización de las Aguas Residuales Domésticas

3.1.1 Aguas Residuales.-

Son una mezcla compleja que contiene agua, mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos que implican una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

Los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fósforos, organismos patógenos, metales pesados, y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio, y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables (sobre todo hidrocarburos clorados)¹, (8.22).

3.1.2 Contaminación de las Aguas Residuales.-

La materia orgánica, nitrato, fosfato, grasas y aceites; aceleran el crecimiento de organismos y pueden producir la eutrofización; la degradación de la materia orgánica, consume el suministro de oxígeno disuelto vital en el agua (DBO₅, DQO). Como sustancias indeseables se catalogan aquellas que producen color en las aguas, aumentan su turbiedad, o cubren su superficie.

Los compuestos químicos son específicamente dañinos para la vida acuática y otros organismos, incluyendo el hombre que puede llegar a estar en contacto con ellos o ingerirlos. Los contaminantes también pueden alterar el pH de las aguas e impartirle olores y sabores indeseables. Además de ser contaminada químicamente el agua puede ser térmicamente afectada y esta forma de contaminación puede traer consecuencias desastrosas tales como la reducción de oxígeno disuelto. Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Las principales propiedades físicas del agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos son: Color, olor, pH, sólidos totales, temperatura, grasas y aceites, pesticidas,

1. HERNANDEZ MUÑOZ, HERNANDEZ LEHMANN, Manual de Depuración Uralita, Madrid: Ed. Paraninfo S.A. Primera edición, pág. 13 a 14. 1995.



proteínas, agente tenso activo, alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, fósforo, sulfuro de hidrogeno, oxígeno, Microorganismo, bacterias, virus, etc.

3.1.2 Aguas Residuales Domésticas.-

Son aguas procedentes de los vertidos de las actividades humanas. Su composición es muy variable dependiendo del uso que se le da al agua, a su vez estas pueden clasificarse en:

- **Aguas de cocina.**- (sales, materia, grasa, sólidos etc.).
- **Aguas blancas de baño y lavado** (jabones, detergentes, líquido de limpieza etc.).
- **Aguas negras.**- Procedente de la defecación del ser humano.

Para definir el sistema de depuración a aplicarse es necesario conocer la composición del agua residual y los parámetros de contaminación.

3.2. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales.- Los parámetros fundamentales para determinar la contaminación de las aguas residuales urbanas pueden reducirse a:

3.2.1 Partículas en Suspensión.-

Sólidos Totales.- Es el contenido total de la materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.

Los sólidos orgánicos proceden de la actividad humana, siendo de origen animal y/o vegetal, contienen principalmente C, H, O, así como N, S, P y K etc. Su característica es la posibilidad de degradación y descomposición por reacciones químicas ó acciones enzimáticas de los microorganismos. Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes y no degradables, tales como minerales arenas y tierras.

3.2.2 Contenido de Microorganismos.-

Microorganismos.- Estos pueden ser benignos ó patógenos y se clasifican en:

- **Aerobios.**- Que constituye el 60 al 65 % de los microorganismos existentes en el agua residual, caracterizándose por captar en forma directa el oxígeno disuelto.

- **Anaerobios.**- Que constituye del 10 al 25% de los microorganismos existentes en el agua residual, obtiene oxígeno por descomposición de la materia orgánica constituida por tres o más elementos (C, H, O, N, S, P, K).

- **Facultativos.**- que constituyen del 10 al 30 %, estos pueden adaptarse a condiciones aerobias y anaerobias.

3.2.3 Contenido Orgánico, Materia Oxidable Biológicamente.-

Materias de tipo orgánico que absorben en forma natural hasta su desmineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos ó biológicos de oxidación que se producen en el seno del agua.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).**- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual durante la oxidación (vía biológica) de la materia orgánica Biodegradable presente en el agua residual. Para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la DBO₅ a los 5 días y a 20 °C (DBO₅), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO₅ correspondiente al ciclo del carbono. Para determinar este parámetro es necesario que el agua se encuentre a un pH entre 6,50 y 8,30.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual (por vía química) provocada por un agente químico, fuertemente oxidante. La oxidación es activa sobre las sales minerales oxidables así como sobre la materia orgánica biodegradable, que existe en el agua analizada.

La relación encontrada entre la DBO₅ y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad.

- **Oxígeno Disuelto.**- Es el índice fundamental para la definición y control de las aguas residuales. La cantidad de oxígeno puede disminuir por la respiración de los microorganismos, algas y organismos macroscópicos, elevación de la temperatura, reacciones químicas y por la reacción metabólica de los microorganismos regidos por la acción enzimática.

3.2.4 Contenido de Nutrientes.-

- i. **Nitrógeno.**- En su variedad amoniacal, nitritos, y nitratos señalan la

proximidad ó distancia al punto de vertido del agua residual.

- **Concentración del ión Amonio.-** Es la primera etapa del ciclo del nitrógeno por transformación de la urea, el agua con un contenido reducido de amoníaco no es perjudicial para usos agrícolas, pero si para la vida piscícola.

- **Nitritos y Nitratos.-** Los nitritos y los nitratos constituyen una segunda y tercera etapa del ciclo del nitrógeno, al que se llega por la acción de bacterias aerobias, los nitrosomas y los nitrobacter.

ii. **Fósforo Total.-** Elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos en las aguas y para el proceso de la depuración biológica.

El contenido de nitrógeno en las aguas se debe a los vertidos urbanos (detergentes, fosas sépticas).

3.2.5 pH.- En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos se encuentran ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, debiendo encontrarse entre valores de 6,2 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición.

3.2.6 Cloruros.- El ión cloruro está siempre presente en las aguas urbanas, el incremento de la salinización en las aguas puede inhibir la acción de los microorganismos en las depuradoras. El valor a partir del cual se presentan problemas de inhibición del proceso puede fijarse en 3,500 ppm.

3.2.7 Grasas.- Las grasas generan problemas por su poder tensó activo que impiden la captación del oxígeno, o genera una película envolvente en los floculos biológicos impidiendo su respiración, aligerándolos y llevándolos a flotación, dificultándose así la decantación secundaria.

3.2.8 Alcalinidad.- La alcalinidad es de importancia en muchos usos y tratamientos de agua natural y aguas residuales. Para determinar si el agua es adecuada para irrigación debe considerarse su alcalinidad en relación con la del suelo. Este concepto también tiene aplicación en los



tratamientos químicos del agua de coagulación y ablandamiento, en general la capacidad amortiguadora del agua es de gran interés en la práctica del tratamiento de aguas residuales.

Las características del agua residual determinan el sistema de tratamiento, en la **Tabla N° 10.1**: “Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales”, se pueden observar las características mínimas y suficientes para definir un vertido urbano², (8.22).

3.3. Reutilización de las aguas residuales.- La reutilización de aguas en riego tiene una doble acción, por un lado constituye un recurso complementario del agua y por otro se convierte el suelo en un reactor que contribuye a la depuración de las aguas.

El Health Services Survey Department en EE.UU. Así como en Monterrey (México), señalan que la utilización de las aguas residuales para el riego de cultivos de plantas, es saludable y aceptable, siempre y cuando se le dé el tratamiento adecuado antes de ser utilizado³, (8.22).

La reutilización de las aguas residuales debe considerar lo siguiente:

- Caracterización biológica y contenido de sólidos orgánicos e inorgánicos.
- Problemática de la contaminación.
- Técnicas de Control que garanticen la calidad adecuada.
- Consideraciones socio-económicas.
- Técnicas de reutilización.

3.4 Problemática Ambiental.- La salud humana, el bienestar y la calidad de vida tienen vínculos determinantes con los recursos hídricos, con el saneamiento y con la disponibilidad del agua en cantidad adecuada y calidad suficiente, siendo un factor primordial del desarrollo socio-económico del lugar. La escasez de agua genera problemas de saneamiento, con riesgos de contraer enfermedades o producir impactos ambientales adversos, repercutiendo en la calidad de vida de la población.

² HERNANDEZ MUÑOZ, HERNANDEZ LEHMANN, Manual de Depuración Uralita, Madrid: Ed. Paraninfo S.A, Primera edición, pág. 166-167, 1995.

³ HERNANDEZ MUÑOZ, HERNANDEZ LEHMANN, Manual de Depuración Uralita, Madrid: Ed. Paraninfo S.A, Primera edición, pág. 177,1995.

El volumen creciente de residuos orgánicos y químicos que potencialmente entran en la red de aguas superficiales, cuyo rehúso sin tratamiento alguno, genera problemas de contaminación ambiental, afectando la salud de la población. Ver en Anexo la **Tabla N° 10.2** "Contaminantes y sus efectos potenciales".

Las consideraciones en cuanto a salud, se refieren principalmente a nitrógeno, metales pesados, patógenos o trazas orgánicas.

3.5 Tratamiento de las aguas residuales.- El principio básico en el tratamiento de las aguas residuales es la separación del líquido de los constituyentes no deseables. Para tal fin se dispone de procesos físicos, biológicos y químicos los cuales integran el sistema de tratamiento.

El sistema de tratamiento así como la complejidad de este depende del grado de contaminación de las aguas residuales y de su procedencia (domésticas, industriales) para lo que se realiza un estudio técnico y económico con el propósito.

3.5.1 Alternativas de tratamiento.- Las tecnologías para tratar y gestionar las aguas residuales varían en función de las características del agua residual y de las normas de calidad exigidas para los efluentes que están en constante evolución junto a los imperativos medioambientales, construcción, explotación o disponibilidad de terreno que condicionan el sistema de depuración o aprovechamiento de las aguas residuales, es necesario buscar procesos de tratamiento económicos y fiables que permitan obtener, un agua residual apta para un uso específico.

Las alternativas de tratamiento de bajo costo para aguas residuales, incluyen sistemas de aplicación en terrenos en los cuales las aguas residuales se retienen en pantanos estanques o lagunas.

3.5.1.1 Lagunas de estabilización.- Las lagunas de estabilización es una opción tecnológica para el tratamiento de aguas residuales urbanas donde se da una gran remoción de patógenos. Las limitaciones de las lagunas de estabilización, son principalmente referidas al costo y disponibilidad de terreno. Estos sistemas pueden asimilarse a procesos biológicos intermedios entre la depuración en cauces receptores y el



proceso de fangos activados, al que se llegaría con lagunajes aireados artificialmente.

3.5.1.2 Lagunas Naturales.- Construidas normalmente sobre el terreno, son sencillas con rendimientos escasos y con problemas de producción de olores. Pueden considerarse como solución para comunidades rurales con sistemas de saneamiento unitario y con población equivalente a los 2,000 hab.

Los rendimientos son muy variables en la reducción de DBO, pudiéndose señalar del 60 – 80% en verano, y del 45 – 70 % en invierno.

3.5.1.3 Lagunas Aireadas.- Para evitar los problemas de olores, se debe ajustar la incorporación de oxígeno ante variaciones de carga y condiciones estacionales, y para mejorar la agitación dentro de los depósitos, surgen las lagunas aireadas, que por supuesto necesitan conexión eléctrica para los sistemas de aireación. Cualquiera de los sistemas de aireación citados en los sistemas convencionales es válido para las lagunas.

3.5.1.4 Humedales.- Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. En los humedales crecen plantas acuáticas emergentes entre las que se encuentran: juncos, enneas y espadañas, entre otras, dichas plantas proporcionan superficie para el crecimiento de los microorganismos y permiten la filtración y adsorción de los contaminantes presentes en el agua residual, además de inhibir el crecimiento de las algas y favorecer la formación de zonas aerobias alrededor de las raíces debido a las características de estas plantas de trastocar el oxígeno desde las hojas hasta las raíces.

El sistema de tratamiento a través de pantanos o humedales artificiales con vegetación proporcionan un micro entorno ideal para la sedimentación, filtración, adsorción y descomposición bacteriana de los componentes de aguas residuales, estos se han utilizado para el tratamiento del efluente primario de aguas residuales industriales,



desagües ácidos de minas, lixiviado de relleno de tierra y desagüe urbano⁴, (8.33).

3.6. Humedales Artificiales.- Los humedales artificiales, son humedales construidos por el hombre, en áreas donde antes estos no existían y que tienen como función fundamental el tratamiento de las aguas residuales. De aquí que ellos se incluyan entre los llamados sistemas naturales de tratamiento. En estos sistemas los contaminantes presentes en las aguas residuales son removidos por una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que se efectúan en el ambiente natural, entre estos procesos se encuentran la sedimentación, la adsorción a las partículas del suelo, la asimilación por las plantas y la transformación microbiana⁵, (8.33).

Estudios realizados por Gersberg y sus colaboradores demostraron las altas eficiencias logradas en la remoción de sólidos suspendidos, DBO, nitrógeno y coliformes; utilizando las plantas emergentes en humedales construidos. (Gersberg R. M. and Goldman C. R., 1983; 1986; 1989; Gearheart et al 1989)⁶, (8.33).

El estudio realizado sobre la descontaminación de aguas utilizando la *Schocroplectus Titora* (TOTORA) demuestra que este sistema de tratamiento da buenos resultados en la purificación de aguas contaminadas inclusive con metales pesados (SALM H, *SCHOENOPLECTUS Titora* (TOTORA); para la purificación de agua contaminadas, ecología en Bolivia 1982)

En estos sistemas los procesos físicos, químicos y biológicos no están separados y ocurren simultáneamente. La filtración o sedimentación separa físicamente la materia particulada mientras las bacterias (que se encuentran en el suelo o adheridas a las plantas y en los estanques) oxidan la materia orgánica y el crecimiento vegetal y microbiano asimila al nitrógeno y fósforo. El percolado (también llamado lixiviación) puede facilitar la adsorción de iones inorgánicos (metales pesados), el número de patógenos se reduce por muerte natural de los mismos y por efecto de los rayos ultravioletas de la luz solar.

i. Ventajas.- En su sencillez y en la mayor parte de los casos sus menores costos de capital y de operación, comparados con los sistemas convencionales, estos usan menos energía eléctrica y requieren menos mano

4, 5 y 6 WATSON, J. T., S. C. REED, R. H. KADLEC, R. L. KNIGHT, AND A.E. WHITEHOUSE, Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands, in D.A., USA, ed. Hammer, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, pp. 319 - 351, Lewis Publishers, Chelsea, MI 1989.

de obra para las labores de operación y mantenimiento.

ii. Función.- Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, son estas:

- Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

3.6.1. Tipos de Humedales Artificiales.- Existen dos tipos de humedales artificiales:

3.6.1.1 Humedales con Flujo Libre (FL).- Los humedales con flujo libre son estanques o canales en los que la superficie del agua se encuentra expuesta a la atmósfera y las plantas emergentes están enraizadas sobre una capa de suelo generalmente impermeabilizado, para evitar la infiltración al manto freático. Las aguas residuales aplicadas a estos sistemas usualmente son pre- tratadas y la depuración de las mismas se logra al circular el agua a través de los tallos y raíces de las plantas.

3.6.1.2 Humedales con Flujo Subsuperficial. (FS).- Los humedales con FS son estanques o canales con el fondo generalmente impermeable sobre el cual se coloca un medio poroso que puede ser suelo, arena o grava en el que se siembra las plantas emergentes y donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava. Las aguas residuales aplicadas a estos sistemas son generalmente pre- tratados. Este tipo de humedales puede ser construidos con Flujo Horizontal Subsuperficial, en el que el medio poroso se mantiene saturado por el agua, o con flujo vertical en el que el medio poroso no se encuentra saturado debido a que el agua se aplica usualmente sobre la superficie del lecho a intervalos de tiempo, lo que permite que el agua percole a través del medio, de forma similar a lo que sucede en un filtro de arena intermitente.

3.6.1.3 Ventajas de los humedales de Flujo Subsuperficial respecto a los humedales de Flujo Libre.- En los humedales con FS el medio



poroso brindando genera mayor área superficial para el crecimiento de los microorganismos incrementándose la velocidad de remoción. Por otra parte, debido a que el agua en estos sistemas fluye por debajo de la superficie del medio, no se presentan problemas con el desarrollo de los mosquitos y otros vectores, además de proporcionar protección térmica, lo que hace que estos sistemas puedan ser utilizados en lugares donde ocurran grandes nevadas⁷, (8.27). Sin embargo, a pesar de todas las ventajas antes expuestas hay que señalar que los humedales con FS tienen como desventajas el costo del medio soporte utilizado, así como su traslado y colocación.

3.6.2 Componentes del Humedal.- Los principales componentes del humedal que influyen sobre el proceso depurador que se lleva a efecto en los humedales construidos son los siguientes:

3.6.2.1 Plantas.- En los humedales construidos se han utilizado una variedad de plantas emergentes semejantes a las encontradas en los humedales naturales. Las plantas que con mas frecuencia se utilizan son: las espadañas o eneadas (*Typha sp.*), caña o junquillo (*Phragmites communies*), y los juncos (*Juncos sp.*), (*Scirpus sp.*) y (*Carex sp.*). Ver en Anexos la **Figura N° 10.1:** "Plantas acuáticas comunes" y la **Tabla N° 10.4:** "Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales" Las plantas presentan varias propiedades que las hacen ser un componente indispensable en los humedales construidos. La función de mayor importancia de las macrofitas en relación con el proceso de tratamiento de las aguas residuales es el efecto físico que ellas producen es la estabilización de la superficie del lecho, proporcionando buenas condiciones para la filtración, y en el caso de los sistemas con flujo vertical previniendo las obstrucciones, además de proporcionar área superficial para el crecimiento de los microorganismos adheridos. La vegetación proporcionan un microentorno ideal para la sedimentación, filtración, adsorción y descomposición bacteriana de los componentes de aguas residuales, estos se han utilizado para el tratamiento del efluente primario de aguas residuales industriales, desagües de ácidos de minas, lixiviado de relleno de tierra y desagüe urbano⁸, (8.21).

7. REED S.C, CRITES R.W, MIDDLEBROOKS, E.J, Natural systems for waste management and treatment, USA: 2ª Ed, McGraw-Hill, 1995. 8. HAMMER, D.A. Creating Freshwater Wetlands, Boca Raton, FL. Lewis Publishers, 1992

En los humedales el suelo se encuentra saturado, lo que hace que los poros del suelo estén llenos de agua. Como la velocidad de difusión del oxígeno en el agua es lenta los suelos se vuelven anaerobios, lo que hace que este ambiente no sea adecuado para el crecimiento de la mayoría de las especies vegetales. Sin embargo, las especies de plantas acuáticas emergentes tienen la capacidad de absorber de la atmósfera, a través de sus hojas y tallos que se encuentra por encima del agua, el oxígeno y otros gases que ellas necesitan.

Las plantas de los humedales están morfológicamente adaptadas a crecer en los sedimentos saturados de agua en virtud de los espacios internos de aire que ellas presentan para el transporte del oxígeno desde las hojas hasta las raíces. El movimiento interno del oxígeno hacia las raíces de las plantas no solamente sirve para la demanda de oxígeno que requieren las raíces para su respiración, sino que además permite la formación de una rizosfera oxidada alrededor de las raíces, pues a través de ellas fluye una cierta cantidad de oxígeno creando un ambiente aeróbico, mientras que a su alrededor las condiciones son anóxicas, permitiendo de esta forma la descomposición aerobia de la materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes. Se ha estimado que estas plantas pueden transferir entre 0.02 y 12 gramos de oxígeno por día por cada m^2 de área superficial del humedal, este rango de valores tan amplio puede deberse a las diferentes técnicas experimentales utilizadas y en cierto modo a las variaciones estacionales⁹, (8.6).

La velocidad de liberación del oxígeno desde las raíces depende de la concentración de oxígeno interno, de la demanda de oxígeno por el medio que las rodea y de la permeabilidad de la pared de las raíces. Por otra parte, cuando se va a valorar la posibilidad de utilizar las diferentes especies de plantas en los humedales construidos se debe tomar en cuenta además otros factores como son: profundidad de enraizamiento, tolerancia a las altas cargas de las aguas residuales, productividad de las plantas, etc.

El oxígeno liberado por las raíces de las plantas es de gran importancia

9. BRIX, H. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Performance, in G.A. Moshiri, (ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement: Lewis Publishers. Boca Raton, pag. 9 – 22, 1993.



en el caso de los humedales con FS donde el agua residual fluye a través del medio poroso poniéndose en contacto directo con las raíces y rizomas de las plantas, de aquí que estos sistemas sean importantes, que las raíces penetran en toda la profundidad del medio. En el caso de los humedales con flujo libre el agua residual fluye por encima de la capa de suelo, no teniendo contacto directo con la fuente potencial de oxígeno de las plantas; en este tipo de humedal la fuente fundamental de oxígeno es a través de la re aireación atmosférica por la superficie del agua.

Otra función importante de las plantas en los humedales es la toma de los nutrientes, así como otros constituyentes presentes en el agua residual; sin embargo, la cosecha de las plantas en los humedales no es usual debido, fundamentalmente, a los costos que esto provoca. Estudios realizados demuestran que la cosecha de las plantas no es la vía más eficiente para la remoción de los nutrientes de las aguas residuales y señalan que una cosecha al final de estación elimina menos del 10% del nitrógeno removido en el humedal¹⁰, (8.25). No obstante, hay que señalar que la presencia de las plantas en los humedales es del 10% del nitrógeno removido en el humedal¹¹, (8.25). No obstante, hay que señalar que la presencia de las plantas en los humedales es esencial, pues en el caso de los sistemas con FS sus raíces son una fuente fundamental de oxígeno y la presencia de sus hojas, tallos, raíces, rizomas y detritos regula el flujo de agua y proporciona superficie para el crecimiento microbiano. En el caso de los humedales con flujo libre de presencia de las plantas limitan, además, la penetración de la luz y evitan el crecimiento de las algas.

3.6.2.2 El suelo y el medio soporte.- En los humedales construidos el proceso de tratamiento de las aguas residuales es llevado a cabo, fundamentalmente, por un complejo grupo de microorganismos adherido a las raíces de las plantas, rizoma y sobre la superficie del medio¹², (8.27). En los sistemas con flujo libre el agua fluye por encima de la superficie del suelo en el cual ocurre la mayor actividad microbiana asociada a la capa de detritos depositada, además de los

¹⁰ METCALF AND EDDY, Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, 3ª Ed, Mc Graw-Hill, 1995. ¹¹ METCALF AND EDDY, Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, 3ª Ed, Mc Graw-Hill, 1995. ¹² REED S.C, CRITES R.W, MIDDLEBROOKS, E.J, Natural systems for waste management and treatment, USA: 2ª Ed, McGraw-Hill, 1995.



responsables del proceso depurador y que el agua permanezca por un tiempo para que se desarrolle esta masa microbiana, además el funcionamiento del sistema depende de una serie de factores ambientales, siendo los más importantes: la disponibilidad del oxígeno y la temperatura.

3.6.3 Mecanismos de Remoción.- En los humedales artificiales la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales es llevada a cabo por una variedad de complejos procesos físicos, químicos y biológicos, que en la mayoría de las ocasiones ocurren simultáneamente. Ver **Figura N° 10.2:** “Procesos de depuración de los humedales artificiales”, En la figura se pueden ver los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

Tal como ocurre con los humedales de flujo libre, se puede esperar que los humedales de FS produzcan un efluente de alta calidad en términos de DBO₅, SST y Organismos Patógeno. Los mecanismos principales de remoción son la conversión biológica, la filtración física y la sedimentación y la precipitación química y la adsorción.

La remoción depende del tiempo de retención, las características del medio, las tasas de la carga y las prácticas de manejo. En la **Tabla N° 10.5:** “Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales”, que se muestran en el Anexo se presentan los principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes de las aguas residuales en los humedales.

3.6.3.1 Remoción de Sólidos Suspendidos.- La remoción de los sólidos suspendidos y sedimentables presentes en las aguas residuales son removidas fundamentalmente en las unidades de pre tratamiento, mediante procesos de sedimentación y filtración. Estos procesos que son puramente físicos también eliminan una porción significativa de otros contaminantes presentes en las aguas residuales (DBO, nutrientes, patógenos). La remoción de los sólidos suspendidos es muy efectiva tanto en los humedales con flujo libre como con FS.



En el caso de los sistemas con flujo libre la remoción óptima de los sólidos suspendidos solo se logra cuando hay una gran cantidad de plantas, las cuales facilitan la filtración y la sedimentación y evitan el crecimiento de las algas. Se considera que en este tipo de humedal la mayoría de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son removidos en los primeros 15 a 30 metros del humedal.

En los humedales con FS los mecanismos de remoción son los mismos que en los sistemas con flujo libre, solo que al no tener zonas abiertas de agua, los problemas de resuspensión por el viento se evitan, por lo que la concentración de los sólidos suspendidos en el efluente es menor.

3.6.3.2 Remoción de DBO_5 .- En los humedales artificiales la remoción de la DBO soluble y suspendida se lleva a efecto por una serie de mecanismos diferentes. La DBO que se encuentra en forma soluble es removida mediante la degradación biológica realizada por los microorganismos adheridos a la superficie de las plantas y los detritos, así como por los microorganismos que se encuentran en la columna de agua, como sucede en los sistemas con flujo libre o los que se encuentran adheridos al medio soporte en los sistemas con FS. Por otra parte, las bajas velocidades que se producen en el sistema, así como la presencia de las plantas y del medio soporte para el caso los sistemas con FS, hacen que se favorezca la filtración, floculación y sedimentación de la materia orgánica que se encuentra en forma suspendida. Los sólidos orgánicos removidos por sedimentación y filtración, así como la vegetación muerta ejercerán una demanda de oxígeno. Como resultado de lo anteriormente explicado, la DBO afluente al humedal se remueve rápidamente a medida que el agua avanza en el sistema.

La remoción de DBO_5 se logra de forma biológica y física, principalmente bajo condiciones anaerobias. Sin embargo, los microorganismos facultativos convierten una parte de la DBO_5 . La tasa de remoción se relaciona con el tiempo de retención y la temperatura, las que describiremos en las consideraciones en el diseño del proceso.

3.6.3.3 Remoción de Nitrógeno.- El mecanismo fundamental para la remoción del nitrógeno en los humedales es la nitrificación -

A pH bajos la desnitrificación se inhibe y todo el nitrógeno liberado lo hará en forma de óxido nitroso, de aquí que el pH del agua residual en los humedales deba mantenerse por encima de 6 para que el mayor porcentaje de nitrógeno liberado sea en forma de gas de nitrógeno.

3.6.3.4 Remoción del Fósforo.- Los mecanismos principales para la remoción del fósforo son: la adsorción, la formación de complejos, la precipitación y la toma por las plantas. La remoción de fósforo inorgánico a través de la asimilación por la planta es una vía rápida; sin embargo, debido a que la cosecha de las plantas, no se realiza o se hace cada cierto tiempo, ocurre que gran cantidad de plantas mueran, lo que hace que gran parte del fósforo sea devuelto al agua por lo que la remoción real es baja.

Por otra parte, la adsorción del fósforo a las partículas del suelo es un proceso de remoción importante. La capacidad de adsorción depende de la presencia de hierro, aluminio o calcio en el suelo, así como de la presencia de minerales de arcilla o materia orgánica. Bajo condiciones aerobias y pH entre neutro y ácido el Fe^{+3} se une al fosfato para formar un complejo estable; sin embargo, si el suelo se vuelve anaerobio como resultado de estar inundado, el Fe^{+3} se reducirá a Fe^{+2} lo cual conduce a que la adsorción sea menos fuerte y se libere fosfato. La adsorción del fosfato con el calcio ocurre solamente bajo condiciones entre neutras y básicas; mientras que con el aluminio la adsorción sola ocurre a pH neutros y ácidos. Además del carácter reversible del proceso de adsorción del fósforo, el cual depende de las condiciones redox, hay que señalar que la adsorción está también sujeta a la saturación, considerándose que cada suelo tiene una capacidad de adsorción limitada y luego de que estos sitios estén ocupados no ocurrirán nuevas adsorciones.

3.6.3.5 Remoción de Metales.- Se considera que la remoción de metales es semejante a la remoción del fósforo; sin embargo, poco se conoce acerca de los mecanismos que ocurren. Entre los mecanismos propuestos se incluyen la adsorción, sedimentación, precipitación química y toma por las plantas. Al igual que lo que se plantea para el caso del fósforo, los metales pueden liberarse durante cierto periodo, los



cuales se han asociado a cambios en los potenciales redox dentro del sistema. El estudio realizado sobre la descontaminación de aguas con base en la *Schocroplectus Totora* (TOTORA) demuestra que este sistema de tratamiento da buenos resultados en la purificación de aguas contaminadas metales pesados¹⁶, (8.33).

3.6.3.6 Remoción de Patógenos.- Las bacterias patógenas y los virus son removidos, fundamentalmente, por adsorción, sedimentación, filtración y precipitación, debido a que las condiciones ambientales, las cuales no son favorables para el patógeno lo que trae como consecuencia su muerte.

En el caso de los humedales con flujo libre, las radiaciones ultravioletas también pueden provocar la muerte de los patógenos.

Los humedales artificiales son en general, capaces de una reducción de Coliformes fecales de entre uno a dos logaritmos con tiempos de retención hidráulica de 3 a 7 días que en muchos casos no es suficiente para satisfacer los requisitos de la descarga que a menudo especifican < 200 NMP/100 ml. Tiempos de retención superiores a 14 días serían necesarios para lograr reducciones de 3 o 4 logaritmos.

En la instalación antes citada, que cuenta como medio con grava fina de río los Coliformes fecales se han reducido de 8×10^4 NMP /100 ml a 10 NM/100 ml de media. En la **Figura Nº 10.3 "Rendimientos de Remoción típicos"**, se pueden ver los valores típicos de concentraciones de entrada y salida de un sistema de humedales artificiales (Experiencia a escala piloto con un sistema tipo SFS, cerca de Sidney, Australia). El análisis de la figura revela que los sistemas de plantas emergentes sembradas sobre arena gruesa pudieron reducir de forma significativa los SS, la DBO₅, y el nitrógeno. La remoción de fósforo es baja, lo cual es consistente con las experiencias de otros investigadores con sistemas basados en piedra y arena.

3.7. Sistemas de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (FS).-

Un humedal artificial con flujo por debajo de la superficie y medio de grava o arena se conoce como sistema de FS. La descripción del proceso, la remoción

¹⁶ WATSON, J. T., S. C. REED, R. H. KADLEC, R. L. KNIGHT, AND A.E. WHITEHOUSE, Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands, in D.A., USA, ed. Hammer, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, pp. 319-351, Lewis Publishers, Chelsea, MI 1989.



de los componentes y los mecanismos de transformación, la expectativa del desempeño y las consideraciones de diseño, se presentan y analizarán a continuación:

3.7.1 Descripción del proceso.- Los sistemas de FS tienen la ventaja de que necesitan áreas de tierra menores y evitan los problemas de olores y mosquitos, en comparación con los sistemas de flujo libre. Las desventajas de los sistemas de FS son el incremento del costo debido al medio de grava y la obstrucción potencial del medio. El tratamiento preliminar necesario para los sistemas de este tipo de humedales consiste en tratamiento primario.

3.7.2 Localización.- Los humedales de FS ocupan menos espacio que los humedales de flujo libre y generalmente tienen pendientes de 0 a 0.5%. Si los suelos son permeables, puede ser necesario instalar un recubrimiento por debajo del lecho del medio.

3.7.3 Recubrimientos.- Un humedal artificial puede necesitar un recubrimiento que selle tanto el fondo como los lados y que, por tanto, prevenga o reduzca la infiltración. Dependiendo del lugar seleccionado, del tipo de suelo, de la profundidad y calidad de las aguas subterráneas, del nivel de tratamiento preliminar y ciertas consideraciones de regulación, puede ser necesario un recubrimiento natural o sintético. La bentonita es un recubrimiento común de barro; los recubrimientos sintéticos de geomembrana también se encuentran disponibles,¹⁷ (8.23).

3.7.4 Tipos de vegetación.- La vegetación en los sistemas de FS es similar a la de los humedales de flujo libre y tiende a estar compuesta por juncos o carrizos y, en algunos casos, eneas. El propósito de la vegetación es proveer oxígeno a la zona radicular y aumentar el 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,¹⁸ (8.5).

Las raíces también liberan sustancias orgánicas a medida que se degradan, lo cual sostiene la denitrificación. La parte de la vegetación

¹⁷ KAYS, W. B., Construction of living for Reservoirs, Tanks, and Pollution Control Facilities, Ney Cork: 2nd ed., Wiley - Interscience, 1986. ¹⁸ BRIX, H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-the root zone method. Water. Sci. Technol, pag. 107 -118, 1987.

ubicada por encima del suelo no es de gran utilidad, salvo porque allí hay toma de nutrientes y crecimiento vegetal.

3.7.5 Medio del lecho.- El medio que se utiliza en los humedales de FS es con frecuencia grava. El tamaño de la grava oscila entre 0.12" y 1.25" (3 a 32 mm), y en la zona de la entrada es de 2" (50 mm), la zona de entrada debe tener un medio con el diámetro más grande para disminuir el potencial de obstrucción. En Sydney, Australia, el medio en la zona de entre 1.2 y 1.6 pulgadas (30 a 40 mm) de diámetro, mientras que el resto del medio del lecho 0.2 a 0.4 pulgadas (5 a 10 mm).

En la **Tabla N° 10.6:** "Características usuales del medio para los humedales de flujo subsuperficial" que se muestra en Anexos, se presentan medios característicos para los humedales FS.

3.7.6 Mecanismos de remoción y transformación de los constituyentes.- Tal como ocurre con los humedales de flujo libre, se puede esperar que los humedales de FS produzcan un efluente de alta calidad en términos de DBO₅, SST y organismos patógeno. Los mecanismos principales de remoción son la conversión biológica, la filtración física y la sedimentación y la precipitación química y la adsorción. La remoción depende del tiempo de retención, las características del medio, las tasas de la carga y las prácticas de manejo. Ver **Tabla N° 10.5** "Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales" y **Figura N° 10.3:** "Rendimiento de remoción típicos".

3.7.7 Desempeño del proceso.- Las expectativas del desempeño del proceso en los humedales artificiales de FS se consideran en el siguiente análisis. Así como con los sistemas FL, el desempeño del proceso depende de los criterios de diseño, así como de las características del agua residual y de la operación.

3.7.7.1 Remoción de DBO₅.- Esta parece ser más rápida y de cierta manera más confiable en los humedales de FS que en los sistemas de flujo libre, en parte porque las plantas en descomposición no se encuentran en la columna de agua, y, por consiguiente, producen menos materia orgánica en el efluente final.



La remoción de DBO se logra de forma biológica y física, principalmente bajo condiciones anaerobias y depende del tiempo de retención y la temperatura, ver en Anexo la **Tabla N° 10.7** "Remoción total de DBO observada en humedales de FS"

3.7.7.2 Remoción de SST.- Los humedales de FS son eficientes en la remoción de sólidos, con niveles usuales de SST en el efluente que se encuentran por debajo de 10 mg/L.

3.7.7.3 Remoción de Nitrógeno.- Aunque el sistema FS en Santee era capaz de retirar 86% del nitrógeno del efluente primario, otros sistemas han reportado remociones de 20 a 70%. Cuando los tiempos de retención superan 6 a 7 d, se puede esperar una concentración de nitrógeno total en el efluente de 10 mg/L, suponiendo que la concentración de nitrógeno en el efluente es de 20 a 25 mg/L. Si el agua residual aplicada se nitrificó (usando aireación extendida, riego superficial y recirculación en filtros de arena), la remoción de los nitratos por medio de la denitrificación se puede lograr con tiempos de retención de 2 a 4 d.

3.7.7.4 Remoción de Fósforo.- La remoción de fósforo en los humedales de FS es muy poco efectiva debido al contacto limitado entre los lugares de adsorción y el agua residual que se aplica. Dependiendo de la tasa de carga, del tiempo de retención y de las características del medio, las remociones pueden variar entre 10 y 40% para concentraciones de fósforo a la entrada entre 7 y 10 mg/L. La asimilación por parte de las plantas es en general de menos de 10% (aproximadamente 0.5 lb/ac.d) (0.55 kg/ha-d).

3.7.7.5 Remoción de Metales.- Los datos sobre la remoción de metales de las aguas residuales municipales en humedales de FS son limitados. En los sistemas de drenaje de minas ácidas es significativa la remoción de hierro y manganeso. Se ha mostrado que el hierro total se ha reducido de 14.3 a 0.8 mg/L y el manganeso total de 4.8 a 1.1 mg/L. En Santee, California, remoción de cobre, zinc y cadmio fue de 95, 97 y 99 %, respectivamente durante tiempos de retención 5.5-d, (Gersberg et al, 1989)¹⁹,(8.7).

19 BRIX, H. & SCHIERUP H.H. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. *Ambio*, Pág. 100-107, 1989

3.7.7.6 Remoción de Organismos Patógenos.- En Santee, California, se encontró una remoción 99% (reducción de 2 unidades logarítmicas) de coliformes totales cuando se aplicó un efluente primario a 2 pulg/d (tiempo de retención de 6 d), (Gersberg et al., 1989).

3.8. Consideraciones en el Diseño del Proceso.- Dentro de los criterios importantes del diseño están el tiempo de retención, el área superficial requerida, las tasas de carga de DBO y sólidos y, la profundidad del medio.

En la **Tabla N° 10.8** "Criterios usuales de diseño y de la calidad del efluente esperado en humedales artificiales de Flujo Subsuperficial" que se muestra en el Anexo, se presentan criterios representativos del diseño del proceso, el cual ilustraremos más adelante su procedimiento de cálculo.

3.8.1 Tiempo de retención para la remoción de DBO.- El tiempo de retención se determina usando la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\ln C / C_0}{K_{\text{aparente}}}$$

El valor de la constante evidente de remoción a 20° C es de cerca de 1.1 d⁻¹. La carga global de DBO en los humedales de FS no debe exceder aproximadamente 100 lb/ac-d (112 kg/ha.d). Estas tasas no deben excederse en la práctica con efluentes primarios aplicados a 2 pulg/d (50 mm/d).

Al igual que con los humedales de flujo libre, los humedales de FS sufren cierta regeneración de DBO debido a la degradación, que básicamente proviene de las raíces, ya que la vegetación en descomposición permanece en la superficie del lecho y se mantiene fuera de la columna de agua. Dependiendo de la época del año habrá cierto aporte de la vegetación de la superficie. La degradación de las raíces generará 2 a 3 mg/L de DBO₅.

3.8.2 Área superficial requerida.- Una vez calculado el tiempo de retención, el área neta se puede determinar a partir de:

$$A_s = \frac{(Q_{\text{prom}}) (t) (3.07)}{(\eta)(d_w)}$$

donde:

Q_{prom} : caudal promedio diario a través del humedal, M gal/d.

- A_s : área superficial
 η : relación de espacio vacío respecto al número de plantas, en general 0.65 a 0.75.
 d_w : profundidad en metros.
 t : tiempo de retención en días.

El flujo promedio a través del humedal puede calcularse usando la ecuación:

$$Q_{prom} = (Q_{entrante} + Q_{saliente}) / 2$$

3.8.3 Relación de aspecto.- Las dimensiones de la superficie de un humedal de FS se pueden determinar usando la ecuación:

$$W = (A / R_A)^{1/2}$$

- Donde: W : ancho del humedal de flujo libre, (pies) m
 A : área del humedal
 R_A : relación de aspecto, largo/ancho

Para evitar cortocircuitos en el flujo de agua residual desde la entrada hasta la salida, se han propuesto relaciones de aspecto (largo a ancho) relativamente grandes sobre la base de un rectángulo. Si se utilizan relaciones de aspecto grandes (mayores que 10:1), se necesitará un gradiente hidráulico relativamente grande para prevenir problemas de flujo inverso y rebose en las celdas de humedal. Se han utilizado relaciones de aspecto de 2:1 a 4:1.

Las relaciones de aspecto deben determinarse en combinación con la ley de Darcy, ecuación siguiente:

$$A = d_w W = Q / kS$$

Donde: A : área de la sección transversal de la zona de entrada, perpendicular al recorrido del flujo, (m).

d_w : profundidad del líquido en el lecho, (m).

W : ancho del lecho, (m).

Q : caudal hacia el sistema, pie³/d (m³/d)

k : conductividad hidráulica de acuerdo con la **Tabla N° 10.6** "Características usuales del medio para los humedales de FS" (Preferiblemente medida en el campo), (m/d)

S : pendiente, expresada como decimal (perdida por fricción)

Al utilizarse la ecuación, 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 de la tabla N° 1 multiplicados por 10%. Para lechos con pendiente, se debe utilizar la pendiente del fondo, la cual puede variar de 0 a 1 por ciento 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.

3.8.4 Carga de Sólidos Suspendedos 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 entrada deben verificarse. Aunque en Estados Unidos no se han establecido límites para la carga o sólidos suspendidos, la experiencia en Australia a llevado a la recomendación de que el límite de SST en la zona de entrada no debe exceder $0.008 \text{ lb/pie}^3 \text{d}^{20}$ (8.4), en donde el área utilizada en cálculo de la tasa de carga es el área de la sección transversal de la zona de entrada.

La tasa de carga orgánica de la zona de entrada se puede calcular de la siguiente manera:

$$L_{\text{SST}} = \frac{\text{carga másica del constituyente, lb/d}}{\text{área de la sección transversal de la zona de entrada, w .d m .pie}^2}$$

En el Anexo se muestra la **Tabla N° 10.9:** "Comparación del comportamiento de arena, la grava y los filtros de roca que funcionan con diferentes tasas de carga de sólidos suspendidos" siguiente, se compara la experiencia del atascamiento del suelo como función del tamaño del medio.

3.8.5 Profundidad del medio. La profundidad de medio puede variar de 8 a 30 pulgadas (450 a 750 mm). Las profundidades características a las que las plantas echan raíces van de 6 a 12 pulgadas. Para obtener profundidades de enraizamiento de 12 pulgadas o más, la profundidad del agua debe reducirse sistemáticamente durante varias estaciones de crecimiento para obligar a las raíces a penetrar con más profundidad. La profundidad del medio no debe superar la profundidad a la que las plantas echan raíces.

El nivel del agua se mantiene de 3 a 6 pulgadas (75 a 150 mm) por debajo de la parte superior del medio.

3.8.6 Tiempo de retención para la remoción de Nitrógeno. Algunos sistemas de FS han sido diseñados para retirar amonio, con el problema

²⁰ BAVOR, H. J., H. ROSER, P. J. FISHER, and I. C. SMALLS. Joint Study on Sewage Treatment Using Shallow Lagoon – Aquatic Plant Systems. NSW, Australia, Vol. 2, Treatment of Secondary Effluent, Water Research Laboratory, Hawkesbury Agricultural Collage, Richmond. 1989

antes mencionado de la disponibilidad poco adecuada del oxígeno. Sobre la base de estudios piloto en Australia, se desarrolló la siguiente relación entre el tiempo de retención y la remoción de amonio²¹, (8.4).

$$A = \frac{Q (\ln N_o - \ln N_e)}{k(d_w)(\eta)(F)}$$

Donde:

A = área de la sección transversal de la zona de entrada, perpendicular al recorrido del flujo, pie (m)

Q = caudal promedio a través del humedal, pie³/d, (m³/d)

N_o = concentración de NH₄-N en el afluente, mg/L

N_e = concentración de NH₄-N en el efluente, mg/L

k = 0.107 d⁻¹ (a 20°C)

d_w = profundidad del líquido en el lecho, pie (m)

η = porosidad efectiva del medio del lecho expresado como un decimal

F = factor de conversión, 43,560 pie²/ac (10,000 m²/ha)

La dependencia de la temperatura de k se puede calcular mediante la ecuación siguiente:

$$(k_2 / k_1) = \theta^{(t_2 - t_1)} \text{ y un valor de } \theta \text{ de } 1.15.$$

3.8.7 Consideraciones hidráulicas. La pérdida de cabeza a través de los humedales de FS puede calcularse a partir de la ley de Darcy:

$$A = d_w W = [Q / kS]$$

donde:

A = área de la sección transversal de la zona de entrada, perpendicular al recorrido del flujo, pie, (m)

d_w = profundidad del líquido en el lecho, pie (m)

W = ancho del lecho, pie (m)

Q = caudal hacia el sistema, pie³ /d (m³/d)

k = conductividad hidráulica de acuerdo con la tabla N° 1 (preferiblemente medida en el campo), pie/d(m/d)

S = pendiente, expresada como decimal (pérdida por fricción)

Al utilizar la ecuación precedente, 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 de la **Tabla N° 10.6** multiplicados por 10%. Para lechos con pendiente, se debe utilizar la pendiente del fondo, la cual

21 BAVOR, H. J., H. ROSER, P. J. FISHER, and I. C. SMALLS. Joint Study on Sewage Treatment Using Shallow Lagoon - Aquatic Plant Systems. NSW, Australia, Vol. 2, Treatment of Secondary Effluent, Water Research Laboratory, Hawkesbury Agricultural College, Richmond. 1989.

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.

3.8.8 Implantación de vegetación.- En los sistemas muy pequeños [menos de 2 ac (0.8 ha)] la vegetación puede a menudo trasplantarse de fuentes cercanas u obtenerse de forma comercial. El tamaño de los rizomas debe ser de 4 pulgadas (100 mm) de largo y tener brotes en el extremo del corte. La raíz debe colocarse a 2 pulgadas (50 mm) por debajo de la superficie del medio. Luego, el lecho debe inundarse con agua hasta la superficie o rociarse con frecuencia. Si se utiliza la inundación, el nivel de agua debe mantenerse cuidadosamente durante este periodo de manera que los brotes de las plantas no estén sumergidos.

Las densidades de siembra para las especies de uso más común son cada 3 pies (1 por metro) para las enneas y cada 1.5 pies (0.5 m²) para juncos y carrizos,²² (8.23). Para lechos de más de 2 acres (0.8 ha) puede ser más económica la siembra hidráulica (*hidroseed*). En cualquier caso, se debe permitir que la vegetación crezca de 3 a 6 meses y se implante antes de que empiecen las aplicaciones de aguas residuales.

3.8.9 Características físicas de los Humedales de Flujo Subsuperficial.- Dentro de las características físicas importantes de los humedales están las estructuras de entrada y salida la recirculación y los recubrimientos de los lechos. Para brindar flexibilidad en la operación, cada sistema debe tener celdas múltiples (al menos 2).

3.8.9.1. Estructuras de entrada y salida.- El sistema de entrada debe estar 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. Los primeros 10 pies (3 m) de la entrada están generalmente llenos con rocas grandes (2 a 4 pulg. o 50 a 100 mm) para reducir la obstrucción. Si se desea operar con alimentación escalonada, se debe colocar un segundo distribuidor de afluyente paralelo a la zona de entrada a cierta distancia (50 pies o 15 m

²² KAYS, W. B., Construction of living for Reservoirs, Tanks, and Pollution Control Facilities, Ney Cork: 2nd ed., Wilwy - Interscience, 1986

o más) en la dirección del flujo.

El equipo de salida consta de tuberías perforadas y sumergidas en el fondo del lecho con válvulas tuberías de salida de nivel ajustable para controlar la profundidad del agua.

3.8.9.2. Recirculación.- En los sistemas FS se puede incorporar la capacidad de recircular el efluente tratado con el fin de diluir la concentración del afluente mejorar el tratamiento y evitar la sobrecarga si se usan bombas para recirculación y cañerías. Si el efluente del FS debe bombearse hacia el punto final de reutilización o descarga, se recomienda el uso de cañerías de recirculación, las cuales no son caras.

3.8.9.3. Recubrimientos de los lechos.- Si el suelo es permeable, se necesitará un recubrimiento para el lecho con el objeto de prevenir la pérdida de agua hacia las corrientes subterráneas. El recubrimiento puede ser de arcilla nativa, bentonita, asfalto o geomembrana,²³ (8.22). Es común el uso de una membrana de superficie suave de plástico de 30 milésimas de pulgada,²⁴ (8.24).

3.9 Normas Legales.- El rehusó de aguas residuales deberá garantizar el nivel adecuado de tratamiento en función al uso específico, a fin de no generar riesgos en la salud de la población que tenga contacto con las zonas irrigadas con el agua residual tratada. Para determinar el sistema de tratamiento de aguas residuales para fines de aprovechamiento se debe plantear la calidad del tipo del efluente que se requiere de acuerdo:

- Constitución Política del Perú 1993.
- Ley General de Aguas (D.L. 17752), D.S. 261-69-A
- Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Decreto Legislativo N° 613.

3.9.1. La Constitución Política de 1993.-

En el artículo 66, Capítulo II indica, que los recursos naturales renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación y que el Estado es soberano de su aprovechamiento. Asimismo establece, que por Ley Orgánica se fija las condiciones de su utilización y su otorgamiento a

²³ HERNANDEZ MUÑOZ, HERNANDEZ LEHMANN, Manual de Depuración Uralita, Madrid: Ed. Paraninfo S.A, Primera edición, 1995 ²⁴ MARTÍN, I. & FERNÁNDEZ, J. Nutrient dynamics and growth of a cattail crop (Typha latifolia) developed in an effluent with high eutrophic potential-application to wastewater purification systems Bioresource Technology, Pag. 7-12. 1992

particulares. La concesión se otorga a su titular un derecho legal, sujeto a dicha norma legal. El **artículo 67** del mismo capítulo establece que el Estado determina la política Nacional del Medio Ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

En el **artículo 68**, del mismo capítulo, establece que el Estado esta obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

Comentario.- El gobierno central a través de órganos e instituciones participa en la formulación de políticas, planes y proyectos que terminen en acciones concretas y en la factibilidad de la solución de problema.

3.9.2 Ley General de aguas promulgada por Decreto Supremo N° 17752 del 29 de Julio de 1969 y los Reglamentos de los títulos de dicha ley.-

Para los efectos de la aplicación del presente Reglamento, la Calidad de los recursos de agua en general ya sea terrestre o marítima del país se clasifican respecto a sus usos de la siguiente manera:

- I. Aguas de abastecimiento doméstico con simple cloración.
- II. Aguas de abastecimiento doméstico con tratamiento y procesos combinados de mezcla y coagulación, sedimentación, filtración, cloración. Aprobados por el Ministerio de Salud.
- III Aguas para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales.
- IV Aguas de zonas recreativas de contacto primario (baño y similares)
- V Aguas en zonas de pesca (marisco, bivalvos)
- VI Aguas de zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial

En el código de medio ambiente se establece que el sector salud se constituya como autoridad ambiental, razón por la cual DIGESA viene cumpliendo la labor de vigilancia y control de los sistemas de agua a fin de que se contribuya a una mejor salubridad de la población. Ver en Anexo, la **Tabla N° 10.3** “Clasificación de los cursos de agua (Ley General de Aguas de D.L. N° 17752) Límites Máximos de Permisibles de las sustancias potencialmente tóxicas para las 6 clases”



3.9.3 Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Decreto Legislativo N° 613.-

El Código del Medio Ambiente y de Recursos Naturales, En su Capítulo IV de las medidas de seguridad, el código citado en su artículo 14, determina que es prohibida la descarga de sustancias contaminantes que provoquen la degradación de los ecosistemas o alteren la calidad del ambiente, sin adoptarse las condiciones para la depuración, determinando aún que la autoridad competente se encargará de aplicar las medidas de control y muestreo para velar por el cumplimiento de esta disposición. En su artículo 15, del código citado, señala que queda prohibido verter residuos sólidos, efluentes líquidos ó gaseosos ú otras formas de materia o de energía que alteren las aguas en proporción capaz de hacer peligrosa su utilización, la autoridad competente debiendo efectuar muestreos periódicos de las aguas para velar por el cumplimiento de esta norma.

Comentario.- Este tiene por objeto proteger al hombre y su ambiente no sólo de los daños y peligros inminentes, sino de los posibles riesgos que deben evitarse para no exponer innecesariamente a la población de daños ambientales que pueden tener efectos irreversibles

3.9.4. Código Sanitario.- El código Sanitario fue establecido por el Decreto ley 1705. En este código se encuentra una sección Cuarta: Saneamiento Ambiental que en su artículo 144 señala que las aguas negras y las basuras constituyen recursos susceptibles de aprovechamiento, mediante adecuados procedimientos técnicos sanitarios. En su artículo 146, el código determina que las industrias, las entidades nacionales o extranjeras y todas las personas deben acatar bajo responsabilidad las normas de salud pública par preservar los cursos de aguas.

Comentario.- El Ministerio de Salud a través de normas regula los aspectos sanitarios del manejo de los efluentes líquidos y sólidos supervisando y controlando las acciones sanitarias.

IV.- MATERIALES Y METODOS

4.1 Materiales.- Los materiales que se han utilizado han dependido del tipo de trabajo:

4.1.1 Trabajo de Gabinete.- Para el estudio realizado se utilizó:

- Una computadora Pentium IV, con Software Microsoft Office, Autocad 2004 y SPSS 14.
- Impresora Canon Pixma IP 1200.
- Cámara Digital MIRAY 5.0 Mega Pinceles.
- Material y útiles de oficina.
- Material Bibliográfico, Libros, trabajos realizados, revistas, normas de calidad etc.

4.1.2 Trabajo de Campo.- Para el estudio se utilizó:

- Un correntometro Flow Probe FP 101.
- Cámara Digital MIRAY 5.0 Mega Pinceles.
- Potenciómetro de campo (HANNA) para medición de pH, termómetro, botella de vidrio y de plástico de un litro, baldes de plásticos de 20 litros, cajas conservadoras.
- Camioneta doble cabina Toyota Hi Lux.
- Modelo Piloto (Humedal Artificial).

4.1.3 Trabajo de Laboratorio.- Equipos diversos de laboratorio, tales como: Balanza analítica, estufa, peras de decantación, Desecadores con silicagel, botellas para determinación de DBO, Conductímetro, Potenciómetro, Refrigeradora, material de vidrio, reactivos.

4.2 Métodos.

4.2.1 Técnicas de recopilación de datos. Para el desarrollo del presente trabajo se ha utilizado información muy diversa, tanto de trabajos realizados, por la Cía. Shougang Hierro Perú S.A.A (SHP), a través de la Consultora Vector Perú S.A.C, para la evaluación de Alternativas del Sistema Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en San Juan de Marcona, así también para los estudio de impacto ambiental de las Lagunas de tratamiento de aguas residuales Domésticas San Juan de Marcona, los cuales se mencionan en la parte Referencia, siendo este tipo de información de carácter Documental.



4.2.2 Técnicas Estadísticas: Por otro lado para determinar el caudal de los efluentes domésticos generados en el Distrito de SJM, se aforaron todas las descargas o puntos existentes que se derivan directamente al mar y a la laguna de oxidación existente, en ella se registraron un total de seis puntos de aforo para igual número puntos de descarga, es decir el 100 % de los puntos existentes.

Para la determinación de los parámetros de calidad del efluente se realizó un muestreo aleatorio compuesto, tomándose un tamaño de muestra correspondiente a 25 lts de muestra de cada punto de descarga existente, y de cada punto se tomaron cuatro muestras coincidiendo con el día y horas de aforo.

4.2.3 Técnicas de Laboratorio.- Para determinar los parámetros de calidad se utilizaron, los métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales, dados por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods for the examination of water and wastewater 19 edición. 1995), y asimilados por INDECOPI, como se presenta a continuación:

1. **Análisis Físico – Químicos.-** En la determinación de calidad se utilizaron los siguientes métodos normalizados:
 - a. La **DBO₅**.- Método Normalizado y Publicado por APHA, AWWA, asimilado por el INDECOPI, con código 5210-B, análisis de 5 días.
 - b. Los **Sólidos Totales**.- Método Normalizado y Publicado por APHA, AWWA, asimilado por el INDECOPI, con código 2540-B, Gravimétrico.
 - c. Los **Nitratos**.- Método Normalizado y Publicado por APHA, AWWA, asimilado por el INDECOPI, con código 4500-NO₃⁻B, Espectrometrico Rango UV.
2. **Análisis de Metales.-** En la caracterización de los metales se utilizaron los siguientes métodos normalizados:
 - a. **Fósforo**.- Método Normalizado y Publicado por APHA, AWWA, asimilado por el INDECOPI, con código 3111:A, Absorción Atómica a la llama, (AALL).
 - b. **Fierro**.- Método Normalizado y Publicado por APHA, AWWA, asimilado por el INDECOPI, con código 3111-A, (AALL).



3. **Análisis Microbiológicos:** En la caracterización de los parámetros de calidad se utilizaron los siguientes métodos normalizados:

a. **Coliformes Fecales.-** Método Normalizado y Publicado por APHA, AWWA, asimilado por el INDECOPI, con código 9221-E, Tubos múltiples.

4.2.4 Modelo de Humedal Artificial Piloto, Cálculo de Diseño.- Las pruebas necesarias para demostrar la hipótesis planteada en el trabajo de investigación, requerían el diseño de un humedal artificial piloto del tipo de Flujo Subsuperficial, (HAFS), como se ha descrito en el **Marco Teórico Sub título 3.8**, el mismo que en un principio debió de haberse operado en la propia ciudad de SJM, pero debido a causas de fuerza mayor esto no pudo darse, dado que este se iba a instalar en la Parroquia de San Juan de Marcona, para lo cual se contaba con el apoyo del Párroco Julio Saldaña, quien fuera trasladado para cumplir funciones en otra diócesis desde Mayo de 2006, resolviendo por ello instalar el modelo piloto en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, el mismo que en la actualidad venimos operando, la pruebas son valederas desde el punto de vista experimental dado que los efluentes domésticos generados en la ciudad de SJM, son similares en sus características a los que se generan en la propia UNAC.

4.2.5 Validación del Humedal Piloto.- Aplicando las técnica estadística de la **T de Student**, se corrió una primera prueba una vez que el humedal se puso en operación, y con los resultados obtenido del parámetro DBO₅, se demostró la Hipótesis y por lo tanto nuestro humedal, como herramienta de trabajo para las etapas de desarrollo, se muestra los resultados de esta validación, el procedimiento de Validación del Humedal Piloto se muestra en el **subtítulo 5.2.2**.

4.3 Caracterización general del Distrito de San Juan de Marcona.

4.3.1 Ubicación y Vías de acceso.- La zona de estudio es el distrito de San Juan de Marcona (SJM), localizado en la provincia de Nazca, departamento de Ica, ubicada en la costa sur del Perú a 523 km por carretera desde Lima, unida al puerto de SJM por una carretera de 27 km, teniendo una altitud de 15 msnm, en las coordenadas UTM del



punto central del área del Proyecto son 482,420.80 E y 8'300,773.21 N
Vías de acceso, desde Lima se puede realizar por diferentes medios:

- a) Terrestre: A través de la vía Panamericana Sur con dirección a la ciudad de Nazca y posteriormente tomando la dirección oeste hacia la ciudad de SJM. Todos los tramos de acceso están asfaltados., siendo la distancia de Lima a Nazca de 445 km y 5 ½ horas, y de Nazca a Marcona 1 hora.
- b) Aérea: Esta puede realizarse desde el aeropuerto de Lima hasta el aeropuerto de Marcona con un tiempo de vuelo de 1 hora 10 minutos (avioneta), Lima - San Juan de Marcona distancia de 430 km.

4.3.2 Descripción del Medio Ambiente.-

4.3.2.1 Ambiente Físico.-

i. **Clima y calidad de aire.-** El clima de la zona de San Juan de Marcona esta determinado, básicamente, por su ubicación geográfica y por su proximidad al Océano Pacífico. El área se encuentra entre 0 y 80 msnm, contigua a una península que se eleva sobre lo 40 msnm. El clima es templado y el ambiente semicálido, con temperaturas medias que oscilan entre los 19 y 20 °C. En Anexo se muestra la **Tabla N° 10.10** "Característica del periodo anual del 2006 con respecto a Temperatura (media mensual), Precipitación (total mensual), Humedad Relativa (media mensual), Dirección y velocidad media del viento"

a. **Temperatura.-** La temperatura corresponde a un clima semicálido, registrándose entre enero y marzo las temperaturas mas elevadas, con una media mensual máxima de 28.9°C y la media mensual mínima de 14.0°C. En la zona de interés la temperatura promedio anual es de 19.5°C, con variaciones del promedio mensual de alrededor de 16.5°C entre diciembre y abril y 12°C entre mayo y noviembre.

b. **Precipitación.-** La precipitación pluvial varia desde valores traza hasta pocos milímetros (10 mm. en primavera). La zona menos lluviosa se encuentra entre el litoral marino y la zona denominada Cuenca Seca,



confirmando que no hay presencia de escorrentía superficiales en toda la zona y que su aporte a la zona del proyecto es nulo.

c. Humedad relativa.- En las cercanías del litoral, la humedad relativa (HR) oscila entre 85% y 65%. En el cinturón costero de Nazca, o alejado del litoral, fluctúa entre 40% y 80% para los meses secos y húmedos respectivamente. En general, la HR en el litoral, entre mayo y setiembre, es más alta que la reportada entre octubre y abril, razón por la que persiste una neblina advectiva que ingresa de la faja de la costa entre los meses más fríos.

d. Vientos.- En el litoral de SJM, los vientos presentan velocidades promedio de 23.3 km/h, observándose incrementos sustanciales hasta 55.9 km/h (agosto) y disminuciones hasta 18 km/h (febrero), según la clasificación de Beaufort, los vientos pertenecen a la escala 4, superan el límite y se tipifican como “vientos moderados con tendencias a fuertes” y que levantan areniscas. La dirección predominante es la proveniente de SSE (43.5%), Sur (37%) y SSO (18.5%). Ver en anexos la **Figura N° 10.4:** “Rosa de Vientos-Periodo Junio, Julio, Agosto 2001”

Los tipos de vientos discutidos en el presente acápite, resultan ser interesantes desde el punto de vista de la difusión rápida que contribuyen a dispersar los olores en el ambiente. Sin embargo, debido a la dirección predominante de los mismos. Los olores tienden a ser derivados hacia zonas pobladas.

e. Evaporación.- La influencia de la evaporación en el proyecto se estima que será mínima debido al tiempo de incidencia y al volumen de aguas tratadas. Es decir, no se espera que la evaporación cause cambios perceptivos en la operación del sistema o su habilidad para tratar las aguas.

f. Calidad de aire.- El entorno del distrito de San Juan es un área completamente despejada y sin intervención aparente de contaminación atmosférica alguna. La única fuente de emisión de gases de combustión es la fundición existente en las instalaciones de la Mina de Shougang Hierro Perú S.A.A., ubicada al noreste del poblado (3 km de la ciudad), la cual no presenta evidencias de afectación al entorno. El monitoreo de calidad de aire efectuado por SHP (en cumplimiento del PAMA)



demuestra que las partículas en suspensión presentan valores por debajo de los estándares nacionales permitidos ($< 350 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En el Anexo se muestra la **Tabla Nº 10.11: "Resultados del Monitoreo de Calidad de aire"**

ii. **Geología.-** La información de la geología general del área del proyecto se ha recolectado de los estudios del **PAMA** de SHOUGAN HIERRO PERU S.A.A., la misma que se ha basado en el mapa geológico del respectivo distrito de SJM, de acuerdo a dicha información, el ámbito del estudio pertenece al denominado gran batolito de composición granodiorítica. Además, se encuentran tufos de sedimentos del cretácico inferior y superior, sedimentos terciarios muy poco inclinados y no muy consolidados. Existen también numerosos diques, capas o derrames tabulares que cruzan y cortan todas las formaciones, siendo la mayoría rocas post mineral; factor que conjuntamente con el callamiento, produce estructuras a veces complejas acentuadas por movimientos orogénicos andinos.

La totalidad del área proyectada para la construcción de los humedales para el tratamiento de las aguas residuales esta compuesta por arcillas bentonititas de la formación Pisco, la cual debido a su propiedad hidrogoscópica, se comporta como roca impermeable. Por lo general, esta roca no representa riesgo para que sea usada en la construcción de los humedales para el tratamiento de las aguas residuales.

El informe geotécnico del lugar concluye que para los diseños de pozas y muros de contención planteados para sus lagunas se apliquen taludes entre 1/1.73 y 2.74, con coeficientes de presión lateral de reposo $K_0 = 0.60$, activo $K_a = 0.42$, pasivo $K_p = 2.40$, utilizando un factor sísmico de 0.2 g para un periodo de retorno de 500 años, característica que adoptaremos para nuestro proyecto de humedales artificiales del tipo sub superficial que estarán constituidas de pozas y muros.

a. **Fisiografía y geomorfología.-** El distrito de SJM, tiene una elevación media de 18 msnm y consiste en una extensa meseta en forma de plataforma de erosión marina ubicada en el terreno de la cadena costanera, muy erosionada por acción eólica perpetua. Además, por haber sido una región de sedimentación, la zona no presenta mayores irregularidades topográficas, salvo la de una penillanura ondulada con



colinas de pocos metros de altura y cubiertas casi en su totalidad por un escarpado aluvial consolidado de cantos rodados, gravas, arenas y resto de fósiles, fragmento de minerales de hierro pulido como consecuencia de las inundaciones marinas y también, como se dijo anteriormente, por la erosión eólica. La erosión marina de la costa de la bahía de San Juan es evidente y aparentemente el oleaje ha entallado en acantilados de varias decenas de metros de altura a las acumulaciones detríticas más altas así como a los relieves rocosos.

b. Sismicidad.- En el marco de la tectónica de placas, la costa occidental del continente sudamericano actúa como un margen activo donde se produce la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental sudamericana, (Recuérdese el terremoto de Pisco -15 de agosto del 2007). La distribución en corte de los focos sísmicos muestra que existen dos grupos distintos a nivel de la zona central del Perú. Uno de ellos reúne los eventos producidos en la placa continental y el otro comprende los sismos producidos en el contacto entre ambas placas litosféricas.

En el estudio de peligro sísmico efectuado en 1997 por Hidroenergía Consultores sobre la bahía de San Nicolás, se concluye que el área es una zona susceptible a intensidades sísmicas de hasta IX en la escala Mercalli modificada, para un periodo de retorno de 500 años, se recomienda un coeficiente sísmico de 0.2 g.

iii. Suelos.- Dentro del área en estudio se tienen suelos derivados a partir de materiales de textura gruesa de origen coluvio - aluvial, eólico y marino. Según Zamora (1971-1974), morfológicamente son suelos superficiales de matices pardos a pardos grisáceos oscuros y de textura arena franco a franco arenosa, con grava angular de 1 – 7 cm en proporciones aproximadas al 20%. Pueden presentar en los 5 primeros centímetros de profundidad deposiciones de yeso en forma pulverulenta. El subsuelo es arenoso y presenta ocasionalmente capas cementadas salinas de distribución discontinua y grosor variable.

Los suelos del entorno del proyecto son muy superficiales, de matices pardos, de textura franco arcillosas con grava subangular y redondeada



en proporción mayor a 30 cm. aparecen afloramientos de los siguientes tipos:

Arcilla Bentonítica. Intercalaciones de arcillas evaporitas (sal y yeso), lo que demuestra que la zona estuvo cubierta por aguas marinas en el pasado. La arcilla, por sus propiedades higroscópicas, al saturarse de agua se vuelve turgente, lo que favorece el sellado o impermeabilización en zonas de filtración.

Granodiorita San Juan. Conformado por minerales secundarios como augita, hemo-blenda y biotita. En la depresión del proyecto, los minerales son de naturaleza ligeramente alcalina (ph de 7.5 a 7.7) y extremadamente salina (CE de 100 mmhos/cm), los cationes dominantes son el calcio y el potasio; el sodio representa el 3% de los cationes absorbidos con bajo contenido de materia orgánica. La capacidad productiva de estos suelos es casi nula y su aptitud por el riego es de clase 6, por la deficiencia de factores edáficos y topográficos.

La litología del área de influencia está compuesta por intercalaciones de arcilla bentonítica y areniscas tufáceas grises con areniscas arcillosas de grano fino, venillas de yeso fibroso y limo salitroso. En algunas zonas existen sedimentos no consolidados de arena y rodados heterogéneos compuestos de fósiles marinos, grava, costras de yeso, sales de carbonato de calcio, magnesio y sodio. El aluvión es de potencia muy variable contigua a escarpas marinas y/o acantilados.

Según las características químicas, los suelos son de naturaleza moderadamente alcalina y de fuerte salinidad. Los cationes dominantes son el calcio y potasio. El sodio puede representar el 3% de los cationes absorbidos. El contenido de materia orgánica es muy bajo (<1%).

Dentro de los grandes grupos de suelos en el área en estudio se tienen:

1. Ld – ab: Litosol desértico, de relieve ondulado a colinado. Pertenece al grupo de los regosoles, unidad regosol éutrico (seco). Son suelos de perfil C. Son de origen eólico y de morfología arenosa, mayormente procedentes de playas marinas. La fase climática corresponde a árido – térmico.
2. Som – a: Solonchak órtico, fase hardpánica y petrocálcica, de relieve ondulado. Pertenece al grupo Solonchaks, unidad Solonchak



órtico; son suelos de perfil AC o C, formados por depósitos coluvio aluvial, aluvial, eólico y marino. Presentan un horizonte sálico dentro de los 100 cm desde la superficie. Son de morfología arenosa a franca y profundos. La fase hardpánica y petrocálcica posee suelos con conductividad eléctrica de 46 a 170 mmhos/cm; presentan un horizonte fuertemente cementado por sales cementado por sales o con materiales petrocálcicos a profundidades variables dentro de los 100 cm desde la superficie.

a. Uso potencial de las tierras.- La capacidad productiva de estos suelos es muy baja y la aptitud de riego comprende las clases 5 y 6 catalogado en su mayor proporción de aptitud no regable por las acentuadas deficiencias del factor edáfico, no obstante estas características permite que al disponerse de agua de calidad para riego (clase III), proveniente de los humedales artificiales, se puedan habilitar terrenos para creación de áreas verdes así como las existentes podrán afianzarse al disponerse de agua de riego.

b. Uso actual de las tierras.- En la actualidad estas áreas no están siendo utilizadas con ningún fin social o económico, excepto para alojar las viviendas de los trabajadores y población en general. Dadas las características de la tierra y clima de la zona estas áreas no son adecuadas para actividades comerciales agrarias sin embargo al disponerse del las aguas recuperadas dentro de los límites de calidad de agua de riego se podrá efectuar planes de desarrollo para potenciar tierras de aprovechamiento con fines paisajistas, recreacionales y comerciales agrarias, entre otros.

iv. Hidrografía.- El área de estudio se caracteriza por la falta de agua de origen pluvial, y por tanto de escurrimiento superficial, limitando las actividades comerciales en la zona a minería y pesca artesanal. La Necesidad de fuentes de agua para fines de uso poblacional y minero, han permitido localizar un importante suministro en el acuífero de la Quebrada Jahuay, donde se ha instalado una cámara de bombeo para impulsar las aguas mediante una tubería de 40 km de recorrido hasta SJM.



En la zona amplia del proyecto existen seis quebradas importantes: San Juan, Piedra Santa, Marcona, El Choclon, San Nicolas, y Jahuay, de estas, solo la quebrada Jahuay registra descargas sobre los 2,8000 msnm, hasta la divisoria de aguas, las demás permanecen secas todo el año. La quebrada Jahuay, en la confluencia de las quebradas Carrizal y Santa Lucia, en Tinco, registra una descarga media anual de 0.362 m³/seg.

a. Aguas superficiales y subterráneas.- De la descripción anterior y del análisis de las perforaciones de exploración geológica efectuadas en el área destinada a las lagunas aireadas previstas en el **PAMA** de SHOUGAN HIERRO PERU S.A.A., se puede concluir que no existen aguas subterráneas ni superficiales. Para ello SHOUGAN HIERRO PERU S.A.A efectuó un total de 17 sondajes en el área que ocuparía la planta de de tratamiento proyectada en su PAMA (nuestra propuesta de uso de humedales artificiales es una alternativa, consideramos estos resultados para nuestro proyecto), alcanzando un total de 162 metros de longitud de perforaciones, con recuperación de muestras. Todas las perforaciones superaron los tres metros de profundidad, con un máximo de 12 m. En todo el volumen perforado no se encontró nivel freático ni filtraciones.

b. Cuerpo Receptor.- El cuerpo receptor es el Océano Pacifico y el principal punto de descarga de aguas servidas está ubicado, en la actualidad al lado sur de la península de San Juan.

La **Tabla N° 10.12:** "Resultado Analíticos del Cuerpo Receptor" presenta los resultados del monitoreo trimestral de calidad del cuerpo receptor, realizado durante el año 2004, en el punto de control ubicado entre las bahías de Sanjuán y San Nicolás.

Los límites máximos permisibles a los que hace referencia en la tabla siguiente, corresponden a valores de calidad establecidos por la Ley General de Aguas clase VI (Aguas de zonas de preservación de la fauna acuática y pesca recreativa o comercial).

c. Suministro de agua a la población.- Para satisfacer la demanda de agua para fines domésticos se cuenta con dos fuentes de agua independientes: dulce y salada. La fuente de agua dulce es de origen superficial, proveniente de la quebrada Jahuay, ubicada a 40 km al



Sureste de SJM, el abastecimiento al campamento es por bombeo. El agua dulce es utilizada para todos los usos domésticos, excepto para el funcionamiento de los inodoros. El consumo promedio estimado de este tipo de agua se estima en 46 L/S, ver en apéndice la **Figura N° 9.1:** “Fotografía que muestra los tanques de almacenamiento de agua dulce”.

El sistema de bombeo de agua dulce a SJM se inicia en la localidad de Jahuay donde se ubican tres bombas de agua. El transporte de desde Jahuay hasta los dos tanque matrices en SJM se realiza mediante una tubería de acero de 8” de diámetro, la cual recorre 35 km y transporta aproximadamente 1’450,650 m³ de agua anualmente.

Desde los dos tanques matrices con capacidad de 3’000,000 galones cada uno se transmite el agua a una estación de rebombeo. La estación impulsa el agua a un tanque distribuidor con capacidad para 1’000,000 galones de agua.

El flujo se divide en 2 pares, 95% del flujo se distribuye directamente a la zona urbana de SJM, el otro 5% se transmite mediante una bomba a y tres tanques de 40,000 galones cada uno, los cuales también alimentan agua a lo inodoros conectados al sistema, aproximadamente el 50% del total de viviendas de la localidad (campamento minero y la población de SJM). El agua salada es utilizada únicamente en los inodoros de las viviendas conectadas al sistema. El consumo promedio estimado de este tipo de agua se estima en 40 L/S. Algunas viviendas carecen de conexión al sistema de agua salada debido al deterioro de las tuberías de conexión (corrosión y obstrucción arena)

Debido a que la bomba de agua salada no funciona en forma continua (sólo cuando el nivel de los tanques de almacenamiento disminuye), en total el ingreso de agua dulce a la zona urbana es de aproximadamente 46 l/seg.

El sistema de bombeo de agua salada a SJM se inicia en una estación de bombas con capacidad para 1’261,440 m³ de agua anual. Aquí se toma agua del Océano Pacífico para enviarla a tres tanques de almacenamiento, ver en el apéndice la **Figura N° 9.2** “Fotografía que muestra la bomba de agua de mar”.



Dos de los tanques tienen capacidad para 100,000 galones mientras el tercero tiene capacidad para 55,000 galones. Desde estos tanques el agua se distribuye a SJM por medio de tuberías que transportan 40 litros por segundo de agua salada. Esta estación fue instalada hace ya varias décadas, por lo que se puede observar un avanzado estado de corrosión en las estructuras debido al contacto permanente con el agua salada. No existen medidores del suministro de este circuito.

d. Caracterización de las Aguas Residuales.- Actualmente se cuenta con 6 puntos de descarga, cinco de ellos descargan directamente al mar sin ningún tipo de tratamiento (S-12, S-12b, S-13, S-14, y S-15), solo uno de ellos (S-16) descarga en lagunas de estabilización. Ver en el apéndice: **Cuadro N° 9.1.** "Nombre de las estaciones de afloramiento de los emisores", las siguientes figuras nos muestran cada una de las descargas existentes: **Figura N° 9.3.** "Emisor S-12, Zona Pescadores – Cuartos Palomares", **Figura N° 9.4.** "Emisor S-12b, Oficinas", **Figura N° 9.5.** "Emisor S13, Zona Miramar", **Figura N° 9.6.** "Emisor S-14, Playa Hermosa", **Figura N° 9.7** "Emisor S-15, Zona R" y la **Figura N° 9.8.** "Emisor S-16, Ingreso lagunas de Oxidación".

El flujo medido por persona fue de 600 l/persona/día, cuatro veces los valores típicos de 150 l/persona/día para comunidades rurales y dos veces el promedio en la ciudad de Lima (300 l/persona/día).

Como resultado del uso de ambas fuentes, las aguas residuales generadas son una mezcla de agua dulce y salada. De acuerdo a los resultados del Monitoreo realizado el 15 de Abril de 2006 durante la Semana Santa, salinidad alcanza un valor máximo de 2.5%.

Si bien la salinidad del agua podría influenciar la habilidad de tratar las aguas también es cierto que los microorganismos presentes en los efluentes domésticos tienen la habilidad de adaptarse al medio en el que se desarrollan, ver en Anexo la **Figura N° 10.5** "Figura Satelital donde se aprecia el Distrito de San Juan de Marcona y cada uno de los emisores existentes"

El EIA, que se efectuó con motivo del proyecto de Lagunas Aireadas que contratara SHOUANG HIERRO PERU S.A.A. a La Cía. Consultora **Vector Engineering. Inc.**, se sostiene que la salinidad afectaría a las



bacterias y algas, alterando la disponibilidad del agua, la cual puede ser medida de acuerdo al factor de actividad del agua (AA). El cual varía de un valor de 1 para agua pura, a un valor de 0.98 para agua de mar.

Por otro parte, el factor mínimo de disponibilidad de agua para crecimiento de cianobacterias de agua dulce es de 0.98. Por lo cual se deduce que 0.99 (mezcla de agua dulce y salada) resulta un nivel aceptable para el desarrollo de cianobacterias de agua dulce. Por esta razón sostienen que es posible la formación de una población de bacterias y algas con la habilidad de crecer dentro del agua con un AA menor al normal. En realidad este tipo de organismos estaría presente en las lagunas existentes (planta de oxidación existente).

De acuerdo a la información proporcionada por el Departamento de Medio Ambiente de SHP, se han obtenido los siguientes valores que se aprecian en el **Cuadro N° 9.5** "Valores promedio de los diferentes parámetros que caracterizan el efluente Doméstico de San Juan de Marcona", ver en apéndice.

Por su característica se puede concluir que los desagües son netamente domésticos y se caracterizan por tener una baja carga orgánica debido a la dilución por el alto consumo per cápita de agua en la zona.

d. Medición del caudal y química de aguas.- Aproximadamente un total de 86 litros de agua por segundo, ingresan a la zona urbana de SJM, 46 litros de agua dulce y un estimado de 40 litros de agua salada cada segundo. Del agua ingresada, aproximadamente el 15% es consumida (no retorna al sistema de alcantarillado), mientras que el 85% restante es derivada al desagüe.

4.3.2.2 Ambiente Biológico.-

i. Ecosistema, Flora y Fauna.- El área del proyecto corresponde a la Ecorregión Desierto del Pacífico. Su área de influencia involucra una zona de vida: Desierto Desecado-Subtropical (DD-S).

A lo largo del litoral de SJM, que comprende las playas "Acapulco", Playa Hermosa" y "Bellavista", se reportan 72 especies de fauna, entre las cuales 22 son invertebrados marinos, 18 de aves, 15 de peces, 3 de reptiles, 3 de mamíferos, 1 de insectos y 1 de arácnidos. Ver Anexo **Tabla N° 10.13**:

"Principales aves registradas", **Tabla N° 10.14:** "Principales especies ictiológicas"

4.3.2.3 Ambiente Humano.-

i. Particularidades sociales presentes en la localidad.- San Juan de Marcona, por ser una comunidad cuyo sustento económico depende principalmente de la actividad minero metalúrgica, experimenta un crecimiento o decrecimiento de acuerdo con la situación que atraviesa tal actividad, por lo que hasta el año 2003 se verificó una sensible reducción de la población debido a la caída del precio del hierro, pero a partir del 2005 debido al auge del crecimiento del mercado internacional específicamente al crecimiento de China, se nota el crecimiento económico de toda la región inclusive, de la población misma.

Como se ve puede apreciar en el **Cuadro N° 9.2:** "Población de la Ciudad en el Distrito de San Juan de Marcona", la población dependiente de SHP ha venido disminuyendo aproximadamente 2.5% anualmente, hasta el año de 2003, llegando en el censo del año 2005 un nivel de población de 11,750 habitantes, siendo la capacidad actualmente instalada para atender a una población de 12,000 habitantes de abastecimiento de agua es de 86 L/S, (600 L/hab/día), para el caso de agua dulce el abastecimiento es de 46lt/seg, (331 L/hab/día), siendo este último similar a los de Lima y Callao.

Agua y Desagüe.- El emplazamiento de SJM, en un área árida y desértica hace que el recurso hídrico sea crítico. En la zona de campamento los hogares reciben un suministro de agua dulce para consumo humano y un suministro de agua salobre para los servicios higiénicos, el suministro de agua dulce restringido, con un régimen horario. A la red de agua dulce del campamento están conectados el cercado, los PJ de Tupac Amaru y Micaela Bastidas, que reciben agua en sus instalaciones domiciliarias, mientras que Víctor Raúl recibe agua en un solo punto de donde se proveen todos los pobladores. Los pobladores del AH "28 de Julio" tienen que ir al de Micaela Bastidas para



aproveccionarse de agua que almacenan en cilindros y baldes, y los de San Juan Bautista reciben agua de camiones cisternas que envía el municipio. El municipio ha habilitado y dejado expedita una red de agua y desagüe con cobertura domiciliaria a nivel de todo el distrito, dentro del programa de independización respecto de la red del campamento, pero el suministro de agua aun no es efectivo debido a que aun no se han concluido y/o entrado en vigencia el convenio con Empresa Municipal de Agua de Nazca, el desagüe si esta operativo, y es el que descarga en las 4 pozas facultativas de oxidación vecinas al asentamiento humano de San Juan Bautista, al este del perímetro urbano.

Es precisamente este AAHH de SJB el que configura la zona directamente afectada por las emanaciones gaseosas de estas pozas de oxidación que constituyen uno de los dispositivos principales de eliminación de residuos líquidos del sistema actualmente en funcionamiento, sin embargo carente de mantenimiento, creando un problema esta situación, los vecinos a estas pozas se quejan de que la pozas no están siendo manejadas con diligencia, por lo que es fuente de hedores putrefactos que dominan la atmósfera en un radio variable que depende de la fuerza y orientación del viento. En este AAHH de SJB se observa que la población ha abandonado viviendas y dejado a medio construir una gran cantidad de casas. Así mismo los pobladores de Micaela Bastidas, 28 de Julio, Víctor Raúl y el Cercado, manifiestan sentirse perjudicados por el mal olor que arrastra el viento desde las pozas de oxidación.

Por otro lado, los pescadores del muelle y la zona de Miramar, por su parte, reportaron que hay 5 desagües que descargan en las orillas del mar, (Zona R, Palomar, Pescadores y 2 en Playa hermosa), lo cual afecta a los peces y mariscos dificultando las ventas de sus productos.

4.4 Perspectivas de Crecimiento de San Juan de Marcona.- Durante los últimos años, existe la perspectiva de parte de la población del mayor desarrollo para este distrito de SJM, debido a lo importante de su puerto y que como política de estado, el gobierno del presidente Toledo dio inicio a la construcción de la vía Interoceánica y el gobierno actual de García continua con las obras, este proyecto, ha considerado el desarrollo de un Mega puerto



en la zona de SJM, el mismo que forma parte de la actual vía Interoceánica del Sur proveniente desde el Brasil en actual construcción y uno de sus ramales ha de llegar a este puerto.

La bahía de San Juan es bastante amplia y en la zona existen áreas suficientes para instalaciones portuarias y las demás industrias conexas, quedando áreas libres al norte de la ciudad dado que el crecimiento de la misma es hacia el sur y sus necesidades de salubridad se han incrementado, considerando el estado actual que existe, durante el gobierno de Fujimori, se construyó una planta de tratamiento de desagües (15 L/S) constituidas por cuatro pozas facultativas las mismas que aún se hallan fuera de servicio, no obstante requerirá de un mantenimiento previa a su puesta en operación, se observa que el efluente tratado se dispondrá al terreno para que el mismo percollé o se reutilice para riego, ver **Figura N° 9.9**: "Figuras panorámicas de la ciudad de San Juan de Marcona, obsérvese la mínima existencia jardines y áreas verdes"



V.- RESULTADOS

5.1. Caracterización de los efluentes domésticos producidos en la ciudad de San Juan de Marcona del Distrito de Marcona.-

Como consecuencia de los trabajos de monitoreo llevadas a cabo en la ciudad de San Juan de Marcona durante la Semana Santa del 15 de Abril del 2006, se efectuó el aforo de los puntos de descarga de los efluentes al mismo tiempo que se extrajeron las muestras para los análisis de laboratorio, de ello se lograron determinar el caudal promedio de los efluentes y su caracterización.

El caudal promedio (69.605 L/S) difiere al proporcionado por el Departamento de Medio Ambiente de SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. (73.10 L/S), en 3.495 L/S inferior al registrado por SHP, no obstante ello lo hallamos dentro de un orden estadístico aceptable como se muestra a continuación, después de plasmar los resultados se tiene los cuadros:

Cuadro N° 5.1
Nombre de las estaciones de aforos de los emisores

	Estación	Zona	Punto de descarga	Observación
1	S - 12	Cuartos Palomares	Mar	
2	S - 12b	Oficinas	Mar	
3	S - 13	Miramar	Mar	
4	S - 14	Playa Hermosa	Mar	
5	S - 15	Zona R	Mar	Emisor Principal
6	S - 16	Obreros, AAHH y PPJJ	Laguna de Estabilización	Entrada Laguna

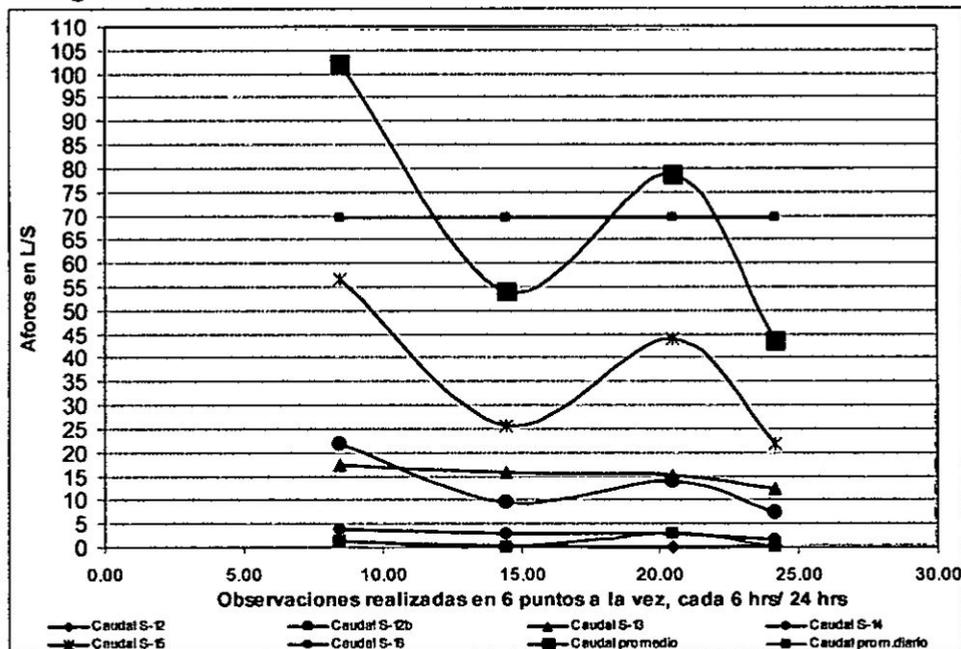
Autoría propia, Puntos de descarga en la ciudad de San Juan de Marcona

Cuadro N° 5.2
Registro de aforos en los en los diferentes emisores existentes

Estación	HORARIO DE MEDICION			
	08:30 a.m.	14:30 p.m.	20:30 p.m.	02:15 p.m.
Caudal (L/S)				
S-12	1.27	0.17	0.13	0.23
S-12b	1.22	0.14	2.81	0.13
S-13	17.45	15.73	15.31	12.35
S-14	3.92	2.82	2.81	1.67
S-15	56.57	25.45	43.87	21.84
S-16	21.72	9.63	13.80	7.38
Sub totales	102.15	53.94	78.73	43.6
Promedio	69.605			

Autoría propia, aforos realizados en la ciudad de San Juan de Marcona

Grafico N° 5.1
Registro de aforos en los en los diferentes emisores existentes



Autoría propia, Valores en los diferentes emisores en ciudad de San Juan de Marcona

Por otro lado en cuanto a la caracterización de los efluentes domésticos, se detecto que las aguas residuales generadas son una mezcla de agua dulce y salada, la salinidad alcanza un valor máximo de 2.5%. Si bien la salinidad del agua podría influenciar la habilidad de tratar las aguas también es cierto que los microorganismos presentes en los efluentes domésticos tienen la habilidad de adaptarse al medio en el que se desarrollan, por ello el uso de tratamiento biológico no tendría ningún problema, como consecuencia se confecciono el cuadro donde se registran cada uno de los valores obtenidos en los diferentes monitoreos:

Cuadro N° 5.3.

Valores de los parámetros monitoreados en las diversas estaciones de aforos de los emisores

Parámetros	Estaciones					
	S-12	S-12b	S-13	S-14	S-15	S-16
DBO mg/L	222	94	90	25	52	96
DQO mg/L	903.6	415	401.6	192.8	391.6	709.5
SST mg/L	226	96	15	36	98	92
Cloruros mg/L	284	567	867	514	344	250
Coliformes Totales NMP/100ml	1.3×10^9	5×10^9	6×10^7	1.1×10^8	8×10^8	9×10^9
Coliformes Fecales NMP/100ml	2.4×10^6	1.1×10^7	1.1×10^6	1.4×10^6	3.5×10^7	1.7×10^7

Autoría propia, Valores en los diferentes emisores en ciudad de San Juan de Marcona

M. Baca

Cuadro N° 5.4.
Valores promedio de los parámetros

Parámetro	Valor
DBO mg/L	96.5
DQO mg/L	502.35
SST mg/L	98.33
Cloruros mg/L	471
Coliformes Totales NMP/100ml	2.7×10^9
Coliformes Fecales NMP/100ml	1.1×10^7

Elaboración propia

5.2. Diseñar el modelo piloto del humedal artificial de flujo subsuperficial.- En base a la información, que se ilustra en el Marco Teórico **subtítulo 3.9**, se seleccionaron los parámetros de diseño, los mismos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 5.1:
Parámetros de Diseño del Humedal Piloto

Datos de Diseño		
Ítem	Parámetro	Límite
01	Caudal	100 L/ día
02	DBO5 en el afluente doméstico (ingreso al piloto)	220 mg/L
03	DBO5 en el efluente tratado (salida del piloto)	15 mg/L
04	Coliformes Fecales en el afluente doméstico (ingreso al piloto)	1.600×10^6 (NMP/100 ml)
05	Coliformes Fecales en el efluente doméstico (salida del piloto)	1.600×10^6 (NMP/100 ml)
06	Sólidos Suspendidos (ingreso al piloto)	13,916 mg/L
07	Sólidos Suspendidos (salida del piloto)	10 mg/L
08	Temperatura mínima del efluente	15 °C
09	Vegetación	Papiros y/o Juncos
10	Relleno de piedra chancada	Diámetro de ¼ de pulgada
11	Pendiente del tanque	0.01%

Autoría propia

5.2.1. Cálculo de Diseño del Humedal Piloto.- A partir de estos parámetros se diseña el modelo conforme se detalla a continuación:

1. - Seleccionamos la profundidad del o humedal piloto en el orden ($h = 0.40$ m) donde se ubicaran los papiros y/o juncos.
2. - Seleccionamos los valores de ∞ , K_s , K_{20} , de la **Tabla 10.6** ubicada en Anexos, para el uso de piedra chancada, donde:

∞ (porosidad)	:	0.35
K_s (Conductividad hidráulica)	:	$300 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
K_{20} (constante de velocidad de 1° orden dependiendo de la temp.):	:	0.86

3. - Determinar el valor de K_T a 15 °C

$$K_T = K_{20} (1.1)^{T-20} \dots\dots\dots T, \text{ en } ^\circ\text{C}$$

$$K_T = 0.86 (1.1)^{(15-20)}$$

$$K_T = 0.86 (1.1)^{-5}$$

$$K_T = 0.53 \text{ d}^{-1}$$

4. - Determinación del tiempo de detención en los poros intersticiales (t'), utilizando la ecuación:

$$(C_e / C_0) = \exp (-K_T t') \dots\dots\dots t' = - \ln (C_e / C_0) / K_T$$

$$C_e = 15 \text{ mg} / \text{lt}$$

$$C_0 = 220 \text{ mg} / \text{lt}$$

$$K_T = 0.53 \text{ d}^{-1}$$

$$t' = - \ln (15 / 220) / 0.53 \text{ d}^{-1}$$

$$t' = 5.56 \text{ d}$$

5. - Determinamos la superficie transversal (A_c), utilizamos la ecuación:

$$A_c = Q / (K_s S)$$

$$Q = 100 \text{ lt} / \text{d} = 0.1 \text{ m}^3 / \text{d}.$$

$$K_s = 500 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}.$$

$$S = \text{pendiente} (0.01) \quad A_c = 0.1 \text{ m}^3 / \text{d} / (500 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d} \times 0.01)$$

$$A_c = 0.2 \text{ m}^2$$

6. - Determinación de la anchura del estanque (W), utilizando la ecuación:

$$W = A_c / h \quad W = 0.2 \text{ m}^2 / 0.40 \text{ m}$$

$$W = 0.5 \text{ m}$$

7. - Determinamos la longitud (L) del tanque, utilizando la ecuación:

$$t' = (L W \infty h) / Q$$

$$L = t' Q / W \infty h \quad L = 5.56 \text{ d} \times (0.1 \text{ m}^3 / \text{d}) / (0.5 \text{ m} \times 0.35 \times 0.40 \text{ m})$$

$$L = 7.94 \text{ m}$$

8. - Determinamos la Superficie (A_s) necesaria:

$$A_s = L \times W \quad A_s = 7.94 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$$

$$A_s = 3.97 \text{ m}^2$$

9. - Comprobamos la Carga Hidráulica (L_w):

$$L_w = Q / L W \quad L_w = (0.1 \text{ m}^3 / \text{d}) / 3.97 \text{ m}^2$$

$$L_w = 0.025 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d} \dots\dots\dots \text{ok}$$

$$0.016 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d} < L_w < 0.053 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}$$

Ø la superficie aparente (A_{SP})

$$A_{SP} = (1 / L_w)$$



$$A_{SP} = (1 / 0.025)$$

$$A_{SP} = 40 \dots\dots\dots ok$$

$$20 < A_{SP} < 70$$

10.- Comprobamos la carga de DBO₅ por hectárea día, (L_s / A_s):

$$(L_s / A_s) = \frac{(0.100 \text{ m}^3/\text{d}) \times (220 \text{ mg/L}) \times (1 \text{ kg} / 10^6 \text{ mg}) \times (10^3 \text{ L} / \text{m}^3)}{3.97 \text{ m}^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{ha}}$$

$$(L_s / A_s) = \frac{0.022 \text{ kg} / \text{d}}{3.97 \text{ m}^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{ha}}$$

$$(L_s / A_s) = 55.41 \text{ kg DBO}_5 / \text{ha.d}$$

Ver en apéndice **Plano N° 9.1**: "Plano de ubicación y dimensionamiento del Humedal Piloto" y **Plano N° 9.1A**: "Plano de dimensionamiento del humedal piloto", Ver figuras de construcción y de servicio del humedal piloto, **Figura N° 9.10**: Jardín de la FIARN de la Ciudad de la UNAC; **Figura N° 9.11**: Figuras diversas de Construcción del Humedal Piloto; **Figura N° 9.12**: Conjunto de figuras que muestran la impermeabilización armado del filtro; **Figura N° 9.13**: Conjunto de figuras fotográficas que muestran al humedal piloto en funcionamiento.

5.2.2. Procedimiento de Validación del Humedal Piloto, en base a la T de Student.-

i. Información preliminar obtenida del humedal piloto que nos permitirá la modificación del mismo si fuere necesario o la confirmación del modelo para continuar con las observaciones a nivel de planta piloto. El piloto se puso en funcionamiento el 1° de diciembre del 2006, el muestreo lo iniciamos a partir del 2 de Enero del 2007, durante 15 días en que hemos acumulado un total de 15 observaciones, la validación corresponde a un caudal de 86 L/día y tiempo de retención de 6.5 días. Ver en apéndice, **Cuadro N° 9.3**: "Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal piloto, 15 observaciones, para la DBO₅ (Ingreso vs Salida, del 02 al 16/01/07)"

ii. ¿Será razonable concluir que la concentración final de DBO₅ obtenida con el piloto es la deseada?

Empezamos por establecer la hipótesis nula, (H_0) y la hipótesis alternativa, (H_1).

$$H_0: \mu = 15.00$$

H_1 : $\mu \neq 15.00$, no indica dirección, por lo que esta es una prueba de dos colas.

Asumimos el valor de $\mu = 15.00$ ($DBO_5 = 15.00$), que corresponde al valor aceptado por el D. L. N° 17752 / D.S.N° 261-AP/DS N° 007-83-SA, en cuyo artículo 83 se tiene que: "Para los efectos de la aplicación de la reglamentación de la Ley General de Aguas, la calidad de los cuerpos de aguas en general ya sea terrestre o marítima del país se clasificarán respecto a sus usos de la siguiente manera:

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

Siendo el límite de calidad para cada uso señalado en la reglamentación de la Ley General de Aguas, son los siguientes:

Especificando para el Uso III el parámetro DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) el límite es 15.00 mg/L.

iii. Al contar solo con 15 Observaciones, (n), es decir menos de 30 y no conocer la desviación estándar de la población (μ), bajo estas condiciones el procedimiento estadístico correcto es sustituir la distribución normal estándar por la **distribución t**:

- Es una distribución continua, tiene forma de campana y es simétrica, pero más plana o más espaciada que la distribución normal;
- Cada vez que cambia los gl , se crea una nueva distribución t y conforme aumenta gl , la forma de la distribución t se aproxima a la distribución normal estándar.

iv. Con las 15 observaciones, (n), se tendrán 14 grados de libertad ($gl = n - 1 = 15 - 1 = 14$), el valor de t , (**t de student**), se determina para la siguiente condición:

- Usando un intervalo de confianza del 98% o nivel de significación 0.02 y prueba de 2 colas, para $gl = 14$, de la **Tabla N° 10.15**: "Distribución t de Student", en la que obtenemos el valor $t = 2.624$.

v. La regla de decisión es rechazar la hipótesis nula si el valor t obtenido, de los cálculos, está a la izquierda de -2.624 o a la derecha de $+2.624$, lo que representamos a continuación:



ix. De esta forma nuestro humedal piloto queda validado para su utilización como herramienta, por lo que continuaremos nuestras observaciones haciendo uso de nuestro humedal piloto, para determinar cada uno de los indicadores de nuestras variables.

5.3. Caracterización de los efluentes tratados mediante el modelo piloto de humedal artificial de flujo subsuperficial.-

Durante las pruebas sucesivas con el modelo piloto una vez que este se validó como herramienta de trabajo se obtuvieron los resultados que permitieron demostrar el uso de los **Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial (HAFS)** como sistema de tratamiento de los efluentes domésticos para obtener agua para riego, es decir de clase III, según la Ley General de Aguas vigente.

Las pruebas se corrieron a partir del 15 de Julio hasta el 15 de Setiembre, para un caudal de 86 L/día y periodo de retención de 6.5 d, estos dos parámetros similares a los utilizados en la validación del humedal piloto, de la capacidad Remocional del Humedal Piloto. Previo al ingreso de los efluentes al humedal piloto se cuenta con un tanque que hace las veces de poza séptica que permita reducir la materia fecal, algunos sólidos y al mismo tiempo reduce la DBO₅.

5.3.1. Remoción de DBO₅.- Con los resultados obtenidos se obtuvo la tabla:

**Tabla N° 5.2.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de la DBO₅ en el humedal piloto**

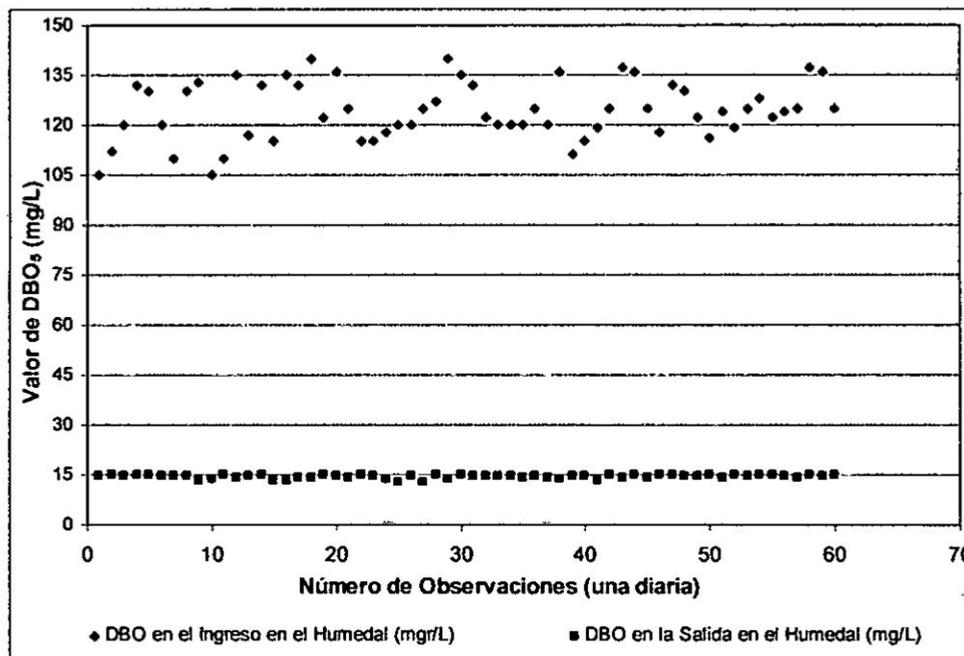
Observac.	DIA	EH - DBO ₅ mg/L	SH - DBO ₅ mg/L	Observac.	DIA	EH - DBO ₅ mg/L	SH - DBO ₅ mg/L
1	15/07/07	105	14.50	16	12/08/07	135	13.30
2	17/07/07	112	14.80	17	14/08/07	132	14.20
3	19/07/07	120	14.60	18	16/08/07	140	14.30
4	20/07/07	132	14.80	19	18/08/07	122	15.00
5	21/07/07	130	14.90	20	20/08/07	136	14.60
6	23/07/07	120	14.50	21	22/08/07	125	14.20
7	25/07/07	110	14.50	22	24/08/07	115	15.00
8	27/07/07	130	14.60	23	26/08/07	115	14.60
9	29/07/07	133	13.20	24	28/08/07	118	13.80
10	31/07/07	105	13.60	25	30/08/07	120	13.00
11	02/08/07	110	15.00	26	01/09/07	120	14.50
12	04/08/07	135	14.20	27	03/09/07	125	13.00
13	06/08/07	117	14.50	28	05/09/07	127	14.90
14	08/08/07	132	15.00	29	07/09/07	140	13.50
15	10/08/07	115	13.20	30	09/09/07	135	14.20

Autoría propia



A partir de la tabulación de datos, se obtuvo la figura siguiente:

Figura N° 5.4.
DBO₅ de Entrada Vs. DBO₅ en la Salida del Humedal Piloto



Autoría: Propia

La gráfica ilustra la DBO₅ a la entrada del Humedal Piloto contra la DBO₅ a la salida, se muestran los resultados de estas pruebas, se observa que el ingreso en la mayoría de los casos la DBO₅ es superior a 100 mg/L, mientras todos los valores de la DBO₅ en el efluente están por debajo del nivel de referencia de 15 mg/L, cumpliendo con el valor de referencia para el uso de los efluentes para el riego de parques y áreas verdes.

5.3.2. Remoción de SST.- Con los valores obtenidos se elaboro la siguiente **Tabla N° 5.3: "Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los SST en el Humedal Piloto"**, en la que se muestran los resultados del monitoreo en el humedal piloto para determinar las concentraciones de SST a la entrada del Humedal Piloto contra la SST y a la salida, al igual que ocurre con la DBO₅ se encontraron valores por debajo de los previstos en el diseño del humedal. La remoción de SST es muy efectiva en el humedal artificial, produciendo efluentes con concentraciones inferiores entre 20 a 10 mg/L que es el valor de referencia. Este comportamiento se puede observa en la **Figura N° 5.5: "SST en el Ingreso Vs. SST en la Salida del Humedal Piloto"**, en que se muestra los datos de SST a la entrada del humedal contra lo de la salida del humedal

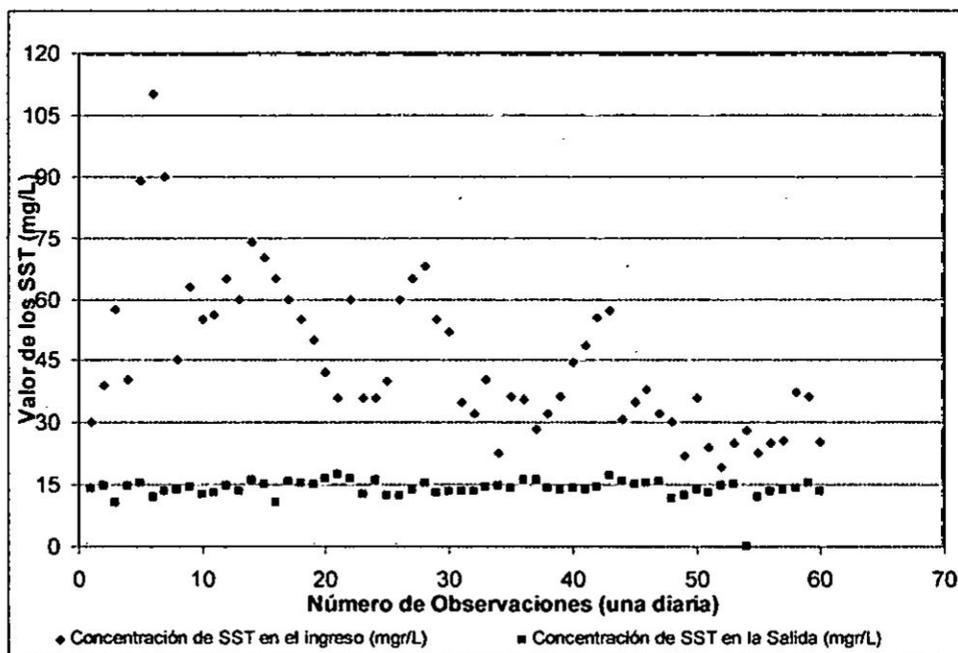
artificial, que nos permite concluir que el humedal tiene la capacidad de remover los SST.

Tabla N° 5.3.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los SST en el Humedal Piloto”

Observac.	DIA	EH - SST mg/L	SH - SST mg/L	Observac.	DIA	EH - SST mg/L	SH - SST mg/L
1	15/07/07	30.00	14.00	16	12/08/07	35.00	13.30
2	17/07/07	39.00	14.60	17	14/08/07	32.00	13.20
3	19/07/07	57.40	10.70	18	16/08/07	40.50	14.40
4	20/07/07	40.40	14.80	19	18/08/07	22.44	14.80
5	21/07/07	89.00	15.40	20	20/08/07	36.20	13.90
6	23/07/07	110.00	12.00	21	22/08/07	35.40	16.20
7	25/07/07	90.00	13.50	22	24/08/07	28.24	16.00
8	27/07/07	45.20	13.60	23	26/08/07	32.00	14.00
9	29/07/07	63.00	14.40	24	28/08/07	36.20	13.80
10	31/07/07	55.00	12.60	25	30/08/07	44.60	14.00
11	02/08/07	56.00	13.00	26	01/09/07	48.60	13.60
12	04/08/07	65.00	14.60	27	03/09/07	55.22	14.50
13	06/08/07	60.00	13.30	28	05/09/07	57.00	17.00
14	08/08/07	74.00	16.00	29	07/09/07	30.60	15.60
15	10/08/07	70.00	15.20	30	09/09/07	35.00	15.20

Autoría: propia

Figura N° 5.5.
SST de Entrada Vs. SST en la Salida del Humedal Piloto



Autoría: propia

Máximo Baca

5.3.3. Remoción del Nitrógeno.- El Nitrógeno orgánico que entra en el humedal esta típicamente asociado con materia particulada como sólidos orgánicos del agua residual. La remoción inicial de estos materiales como sólidos suspendidos es más o menos rápida. Mucho de este Nitrógeno orgánico sufre descomposición o mineralización y descarga entonces nitrógeno en forma amoniacal al agua.

También pueden ser una fuente de Nitrógeno, los detritos de las plantas y otros materiales orgánicos producidos naturalmente en el humedal, produciendo una descarga estacional de amoníaco.

Una aproximación conservadora al diseño, sería asumir que la mayor parte de NTK que entra al sistema, está en forma de nitrógeno amoniacal. La remoción del Nitrógeno en el humedal artificial se logra por medio de la nitrificación y denitrificación. La remoción de éste por las plantas sólo explica el 10% de la remoción.

La nitrificación y denitrificación son reacciones microbianas que dependen de la temperatura y del tiempo de retención, los organismos nitrificantes necesitan oxígeno y una superficie adecuada para crecer, mientras la denitrificación requiere una cantidad adecuada de materia orgánica, para convertir el nitrato a nitrógeno gaseoso.

Las condiciones reductoras en el humedal artificial de flujo subsuperficial para el caso de la nitrificación son llevadas al nivel de las raíces de las plantas dado que no se utilizo fuente de aireación forzada (re aireación superficial, recirculación del efluente u otro), mientras la denitrificación es más efectiva, debido a que los nitratos se desnitrifican con pocos días de retención.

Ver a continuación la **Tabla N° 5.3:** “Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los Nitratos en el Humedal Piloto”, cuyos resultados confirman la capacidad remocional de los nitratos.

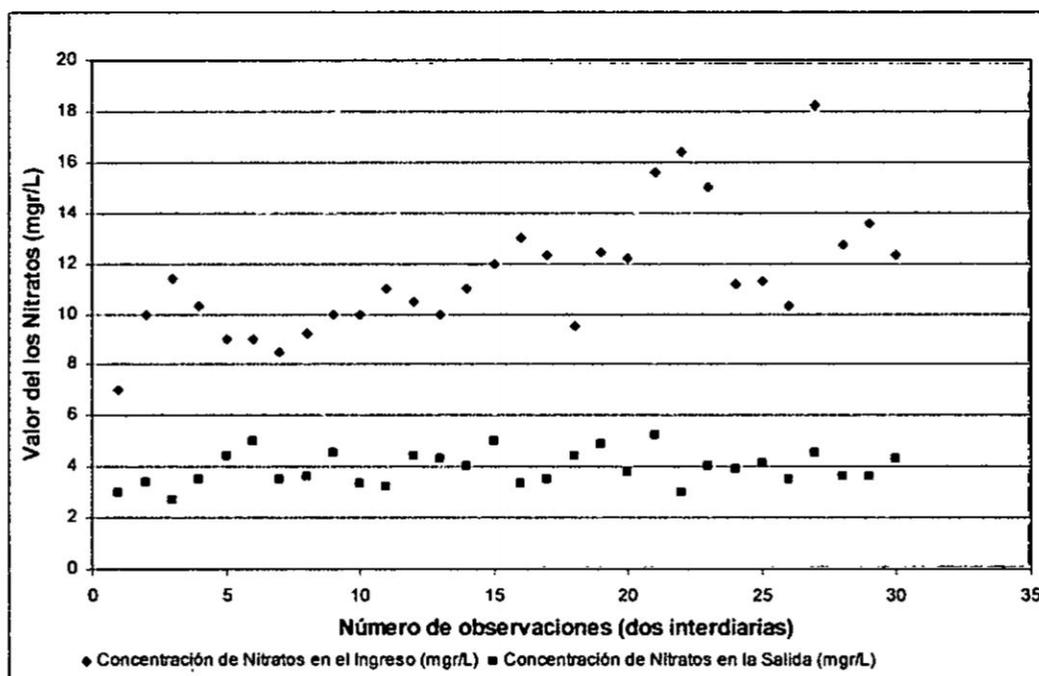
Y la **Figura N° 5.6:** “Concentración de los nitratos en la Entrada Vs. Concentración de los Nitratos en la Salida de Humedal Piloto”, el mismo que se ha graficado con los valores obtenidos de la tabla precedente, los resultados confirman la capacidad remocional del humedal piloto.

Tabla N° 5.3.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los Nitratos en el Humedal Piloto

Observac.	DIA	Nitratos (mg/L)		Observac.	DIA	Nitratos (mg/L)	
		EH	SH			EH	SH
1	15/07/07	07.00	3.00	16	12/08/07	13.00	3.30
2	17/07/07	10.00	3.40	17	14/08/07	12.30	3.50
3	19/07/07	11.40	2.70	18	16/08/07	9.50	4.40
4	20/07/07	10.30	3.50	19	18/08/07	12.44	4.85
5	21/07/07	09.00	4.40	20	20/08/07	12.20	3.80
6	23/07/07	09.00	5.00	21	22/08/07	15.60	5.20
7	25/07/07	08.50	3.50	22	24/08/07	16.40	3.00
8	27/07/07	09.20	3.60	23	26/08/07	15.00	4.00
9	29/07/07	10.00	4.50	24	28/08/07	11.20	3.90
10	31/07/07	10.00	3.30	25	30/08/07	11.30	4.10
11	02/08/07	11.00	3.20	26	01/09/07	10.30	3.50
12	04/08/07	10.50	4.40	27	03/09/07	18.22	4.50
13	06/08/07	10.00	4.30	28	05/09/07	12.70	3.60
14	08/08/07	11.00	4.00	29	07/09/07	13.60	3.60
15	10/08/07	12.00	5.00	30	09/09/07	12.30	4.30

Autoría propia

Figura N° 5.6.
Concentración de los nitratos en la Entrada Vs. Concentración de los Nitratos en la Salida de Humedal Piloto



Autoría propia

Máximo Baca Neglia

5.3.4. Remoción del Fósforo.- El mecanismo principal para la remoción del fósforo en el humedal artificial piloto es la adsorción, la precipitación química y la asimilación por parte de las plantas, la cual es rápida, pero a medida que las plantas mueren liberan fósforo, por ello la necesidad de contacto entre el agua residual y el terreno. Algunos sistemas en Europa usan arena en lugar de la grava para aumentar la capacidad de la retención del fósforo, pero este medio requiere instalaciones muy grandes, debido a la reducida conductividad hidráulica de la arena comparada con la grava. Si una importante remoción de fósforo es requisito para el proyecto, entonces se necesitará un área de terreno muy grande o métodos de tratamiento alternativos, además hemos de tener en cuenta que las plantas incorporan el fósforo durante su etapa de crecimiento y luego liberan alguna parte durante su vejez, preciso efectuar las podas correspondientes para mantener plantas jóvenes. Con las observaciones de las pruebas en el humedal piloto se ha confeccionado la **Tabla N° 5.4**, que se muestra a continuación:

**Tabla N° 5. 4.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción del Fósforo en el Humedal Piloto**

Observac.	DIA	EH - P mg/L	SH - P mg/L	Observac.	DIA	EH - P mg/L	SH - P mg/L
1	15/07/07	5.00	2.10	16	12/08/07	6.50	3.10
2	17/07/07	5.50	2.00	17	14/08/07	7.00	3.20
3	19/07/07	6.40	1.80	18	16/08/07	8.50	3.30
4	20/07/07	6.40	2.80	19	18/08/07	9.44	2.70
5	21/07/07	7.00	3.40	20	20/08/07	7.20	3.60
6	23/07/07	6.00	2.00	21	22/08/07	9.40	3.15
7	25/07/07	8.00	3.15	22	24/08/07	8.24	2.00
8	27/07/07	7.30	2.70	23	26/08/07	8.00	2.00
9	29/07/07	6.80	2.60	24	28/08/07	8.20	3.80
10	31/07/07	6.00	2.60	25	30/08/07	7.60	3.60
11	02/08/07	6.50	3.10	26	01/09/07	8.60	3.12
12	04/08/07	7.10	2.60	27	03/09/07	9.18	3.50
13	06/08/07	7.50	3.30	28	05/09/07	8.00	3.00
14	08/08/07	8.50	3.30	29	07/09/07	9.60	2.60
15	10/08/07	8.80	2.20	30	09/09/07	9.00	2.20

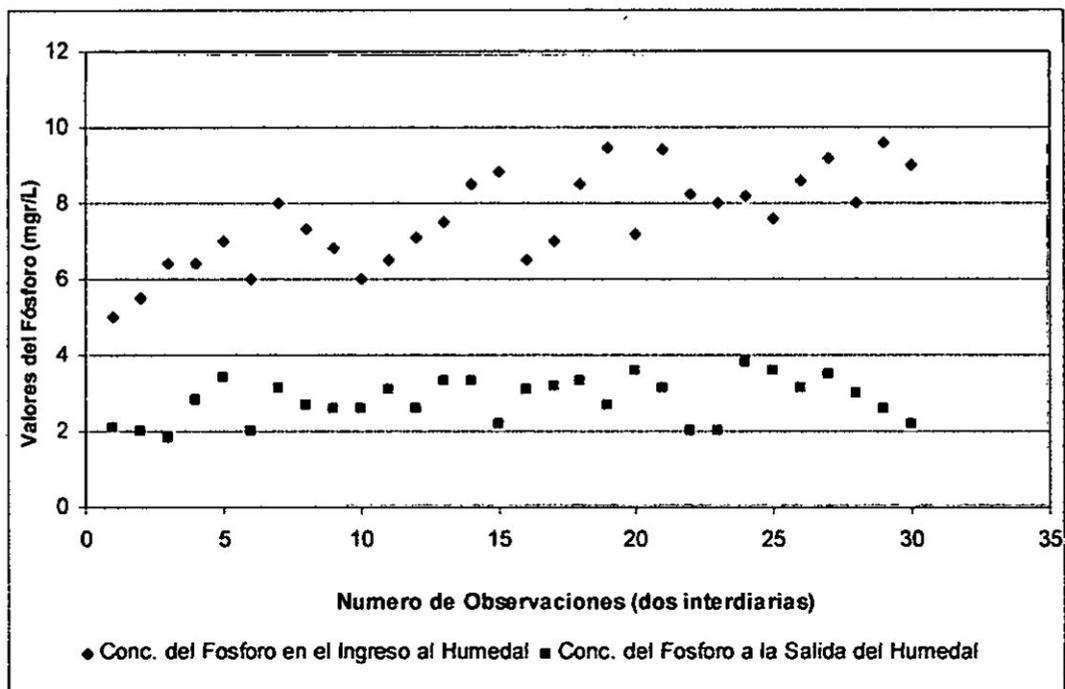
Autoría propia

A partir de estos valores se ha obtenido la **Figura 5.7**: "Concentración del Fósforo al Ingreso Vs. Concentración del Fósforo a la Salida del Humedal"



Piloto", demuestra la remoción del fósforo presente en la entrada y en la salida del efluente tratado en el humedal piloto, que se muestran a continuación:

Figura 5.7.
Concentración del Fósforo al Ingreso Vs. Concentración del Fósforo a la Salida del Humedal Piloto"



Autoría propia

5.3.5. Remoción de Metales.- Para este concepto de demostrar la capacidad de remoción de metales se evaluó el Hierro; el mismo cuyo mecanismo de eliminación es similar a los descritos anteriormente para el fósforo, incluyendo asimilación por parte de las plantas, adsorción, y precipitación. Como los sedimentos orgánicos e inorgánicos están aumentando continuamente (a una velocidad lenta) en los humedales, la disponibilidad de sitios de adsorción frescos esta también aumentando, el humedal artificial tiene la capacidad potencial de remoción de metales se mantiene durante todo el periodo de uso del sistema.

Los metales pueden acumularse en los humedales artificiales, pero las concentraciones que normalmente tienen las aguas residuales no representan una amenaza para los valores del efluente tratado o para los posibles usos a largo plazo. Como se aprecia la concentración del efluente tratado a la salida del humedal se hallan concentración de hierro que varían entre 0.60 y 010

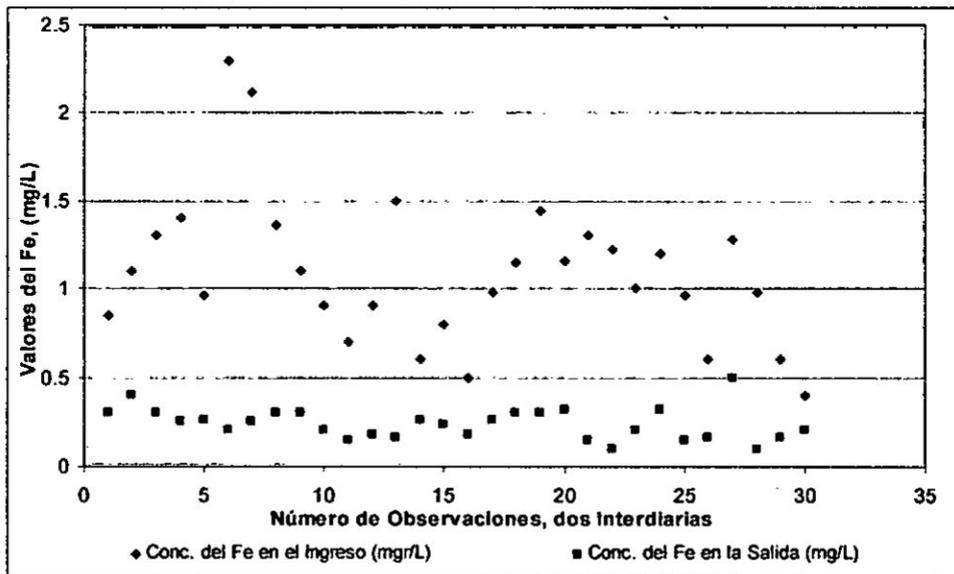
mg/L, mientras en la entrada, las concentraciones varían entre 2.30 y 0.50 mg/L. Con los valores obtenidos durante las pruebas en el humedal piloto se ha confeccionado la tabla siguiente:

Tabla N° 5.5.
Monitoreo de la Observaciones para la Remoción del Hierro en el Humedal Piloto

Observac.	DIA	EH - Fe mg/L	SH - Fe mg/L	Observac.	DIA	EH - Fe mg/L	SH - Fe mg/L
1	15/07/07	0.85	0.30	31	12/08/07	0.50	0.18
2	17/07/07	1.10	0.40	32	14/08/07	0.98	0.26
3	19/07/07	1.30	0.30	33	16/08/07	1.15	0.30
4	20/07/07	1.40	0.25	34	18/08/07	1.44	0.30
5	21/07/07	0.96	0.26	35	20/08/07	1.16	0.32
6	23/07/07	2.30	0.20	36	22/08/07	1.30	0.15
7	25/07/07	2.12	0.25	37	24/08/07	1.22	0.10
8	27/07/07	1.36	0.30	38	26/08/07	1.00	0.20
9	29/07/07	1.10	0.30	39	28/08/07	1.20	0.32
10	31/07/07	0.90	0.20	40	30/08/07	0.96	0.15
11	02/08/07	0.70	0.15	41	01/09/07	0.60	0.16
12	04/08/07	0.90	0.18	42	03/09/07	1.28	0.50
13	06/08/07	1.50	0.16	43	05/09/07	0.98	0.10
14	08/08/07	0.60	0.26	44	07/09/07	0.60	0.16
15	10/08/07	0.80	0.24	45	09/09/07	0.40	0.20

Autoría propia

Figura N° 5.8.
Variación de la concentración del Hierro en la Entrada Vs. Concentración del Hierro en la Salida del Humedal Piloto



Autoría propia

Máximo Baca Neglla

5.3.6. Remoción de Coliformes Fecales.- Con el total de las observaciones llevadas a cabo en el humedal piloto se confecciono la tabla y graficas siguiente:

**Tabla N° 5.6.
Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los Coliformes Fecales en el Humedal Piloto**

Observac.	DIA	EH NMP/100 ml	SH NMP/100 ml	Observac.	DIA	EH NMP/100 ml	SH NMP/100 ml
1	15/07/07	8 x10 ⁶	4.3x10 ²	16	12/08/07	6.3x10 ⁵	6x10 ²
2	17/07/07	1.3x10 ⁶	1.2x10 ²	17	14/08/07	7.5x10 ⁵	7.5x10 ²
3	19/07/07	4.3x10 ⁵	1.4x10 ²	18	16/08/07	6.9x10 ⁵	1x10 ²
4	20/07/07	5.3x10 ⁵	1.0x10 ²	19	18/08/07	4.6x10 ⁵	0.96x10 ²
5	21/07/07	3.6x10 ⁵	1.3x10 ²	20	20/08/07	6.3x10 ⁵	1x10 ²
6	23/07/07	7.6x10 ⁵	1.5x10 ²	21	22/08/07	2.9x10 ⁵	5x10 ²
7	25/07/07	5.8x10 ⁵	1.6x10 ²	22	24/08/07	9.6x10 ⁵	3x10 ²
8	27/07/07	5.56x10 ⁵	9x10 ²	23	26/08/07	6.3x10 ⁵	0.8x10 ²
9	29/07/07	6.6x10 ⁵	4x10 ²	24	28/08/07	6.1x10 ⁵	12x10 ²
10	31/07/07	5.7x10 ⁵	6x10 ²	25	30/08/07	7.2x10 ⁵	12x10 ²
11	02/08/07	5.8x10 ⁵	5x10 ²	26	01/09/07	6.3x10 ⁵	11x10 ²
12	04/08/07	3.9x10 ⁵	4x10 ²	27	03/09/07	6.3x10 ⁵	10x10 ²
13	06/08/07	8.33x10 ⁵	2x10 ²	28	05/09/07	5.6x10 ⁵	9x10 ²
14	08/08/07	7.3x10 ⁵	1x10 ²	29	07/09/07	6.6x10 ⁵	9x10 ²
15	10/08/07	6.5x10 ⁵	1x10 ²	30	09/09/07	5.8x10 ⁵	9x10 ²

Autoría propia

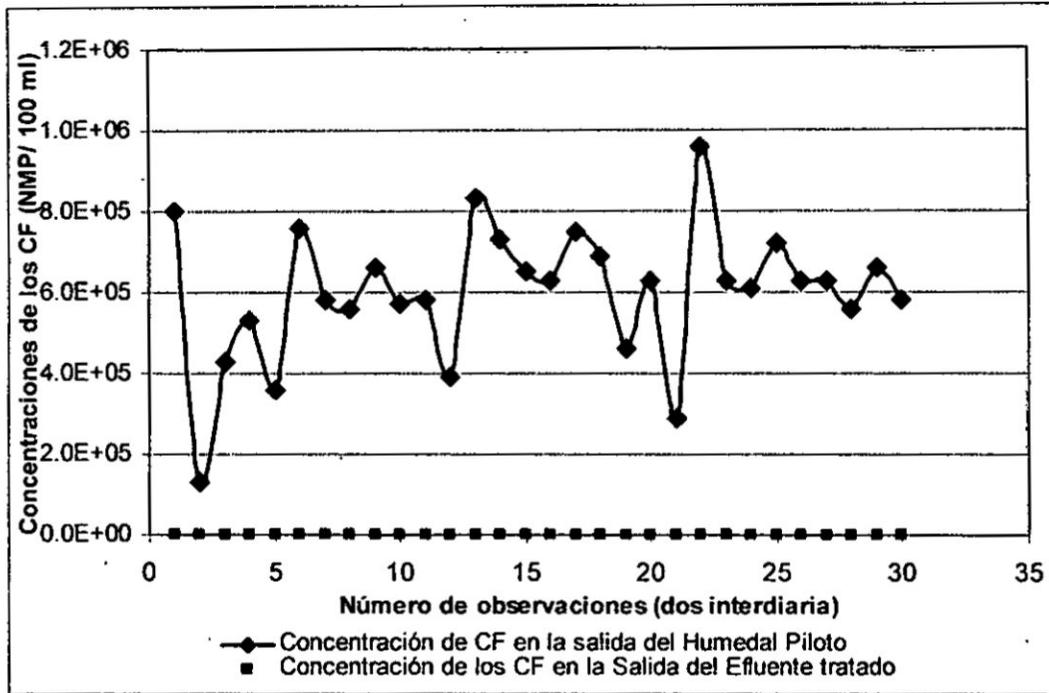
La experiencia nos permite determinar que con ayuda del una dosis optima de desinfectante (de 1 a 2.5 ppm de cloro o su equivalente en hipoclorito de sodio, se lograra eliminar la contaminación residual, la misma que se halla por debajo de 100 NMP/100ml.

A partir de las observaciones se obtiene la **Figura N° 5.9:** "Variación de los Coliformes Fecales al ser removidos por el Humedal Piloto", podemos apreciar las variaciones de las concentraciones de los Coliformes Fecales realizadas en las pruebas en el humedal artificial en general es capaz de una reducción de coliformes fecales de entre 4 a 5 logaritmos con tiempos de retención hidráulica de 6 ½ días que en muchos casos es suficiente para satisfacer los requisitos de la descarga que a menudo especifican < 200 NMP/100 ml. Para asegurar la calidad del efluente se dispondrá de una desinfección final. En nuestro piloto, que cuenta como medio con piedra chancada de ¼" los coliformes fecales se



han reducido de 8×10^6 NMP /100 ml a 60/100 ml, la figura siguiente, muestra los resultados obtenidos en un total de 30 observaciones de Ingresos y salidas.

Figura N° 5.9
Variación de los Coliformes Fecales al ser removidas en el Humedal Piloto



Autoría Propia

VI.- DISCUSION

6.1. De los resultados obtenidos durante las pruebas en el humedal piloto:

6.1.1. Los resultados con respecto a la DBO₅, obtenidos en el humedal piloto, para un tiempo de retención de 6.5 días, indican que el sistema utilizando papiros sembradas sobre piedra chancada, pueden reducir de forma significativa la DBO₅ de 140 mg/L en afluente, mientras en el efluentes se tiene 13 mg/L, es decir **90.71 %** de remoción, siendo este mayor a casos tales como: Operación a tamaño real, marzo a noviembre de 1988, ubicación Benton, Kentucky, con tratamiento preliminar (laguna de Oxidación), para un afluente de 23 mg/L y efluente de 8 mg/L, es decir **65 %** de remoción y tiempo de retención nominal de 5 días²⁵, (8.33).

i. Operación a tamaño real, enero de 1994 a enero de 1995, ubicación Mesquite, Nevada, con tratamiento preliminar (laguna de oxidación), para afluente de 78 mg/L y efluente de 25 mg/L, es decir **68 %** de remoción y tiempo de retención nominal de 3.3 días²⁶, (8.29)

ii. Operación piloto a escala, 1984, ubicación Santee, California, con tratamiento preliminar (primario), para afluente de 118 mg/L y efluente de 17 mg/L, es decir **85.59 %** de remoción y tiempo de retención nominal 6 días²⁷, (8.19).

iii. Operación piloto a escala, desde diciembre de 1985 hasta febrero de 1986, ubicación en Sydney, Australia, con tratamiento preliminar (Secundaria), para afluente de 33 mg/L y efluente de 4.6, es decir remoción de **86 %** y tiempo de retención de 7 días²⁸. (8.4).

6.1.2 Los resultados con respecto a la SST, obtenidos en el humedal piloto, para un tiempo de retención de 6.5 días, indican que el sistema utilizando papiros sembradas sobre piedra chancada, pueden reducir de

25 WATSON, J. T. REED, S. C. KADLEC, R. H. KNIGHT, R. L. AND A.E. WHITEHOUSE, A.E., Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands, in D.A., USA, ed. Hammer, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, pp. 319-351, Lewis Publishers, Chelsea, MI 1989

26 CRITES, Ron. TCHOBANOGLOUS Georges; Sistema de Manejo de Aguas Residuales; Ed. Mc Graw Hill, Pág. 2º Tomo (601-602), 2000

27 GERBERSG, R. M. ELKINS, B. V. LYONS, R. and GOLDMAN, C.R. Role of Aquatic Plants in Wastewater Treatment by Artificial Wetlands, Water Research, Vol. 20, pp. 363 - 367 (1985)

28 BAVOR, H. J. ROSER, H. FISHER, P. J. and SMALLS, I. C. Joint Study on Sewage Treatment Using Shallow Lagoon - Aquatic Plant Systems. NSW, Australia, Vol. 2, Treatment of Secondary Effluent, Water Research Laboratory Hawkesbury Agricultural Collage, Richmond. 1989.

forma significativa los SST de 110 mg/L en afluente, mientras en el efluentes se tiene 10.70 mg/L, es decir **90.27 %** de remoción, siendo este ligeramente menor al caso registrado de **96 %** de remoción en Boca Raton²⁹, (8.6).

6.1.2. Los resultados con respecto a los Nitratos, obtenidos en el humedal piloto, determinan una remoción del orden del **85.18 %** para un afluente de 18.22 mg/L y efluente de 2.72 mg/L, mientras el registrado en Santee, fue capaz de retirar 86%, y otros sistemas reportan remociones del orden del **20 a 70%** para tiempos de retención de mayores de 6 a 7 días³⁰, (7.29).

6.1.3. Para el caso del Fósforo, los resultados de remoción son del orden del **81.25 %** para un efluente con 9,60 mgr/L y efluente con 1.80 mgr/L, mientras otras experiencias reportan remociones del orden del **10 al 40 %** para concentraciones del orden del 7 y 10 mgr/L³¹, (7.29).

6.1.4. Caso de Metales, la evaluación para nuestro caso se evaluó el Hierro total (Fe), siendo la remoción del orden de **95.65 %**, para efluente con 2.30 mg/L y efluente de 0.10 mg/L, por analogía, se demuestra la capacidad del humedal, a través de los papiros que se logra una remoción bastante importante de otros metales, según reportes de otras experiencias en el caso de aguas de drenajes de minas para concentraciones de 14.3 mg/L en el afluentes se ha reducido a 0.8 en el efluente es decir remoción del orden de **99.9 %**³², (7.29).

6.1.5. Remoción de Organismos Patógenos, se evaluó la presencia de Coliformes Fecales, siendo el porcentaje de remoción del orden del **99.99 %** encontrándose valores en el afluente de 8×10^6 NMP / 100ml mientras en el efluente la concentración es del orden de 80 NMP / 100ml, similares remociones se reportan para experiencias desarrolladas en Santee, California en que se reportan remociones del orden del **99 %** para tiempos de retención de 6 días³³, (7.29).

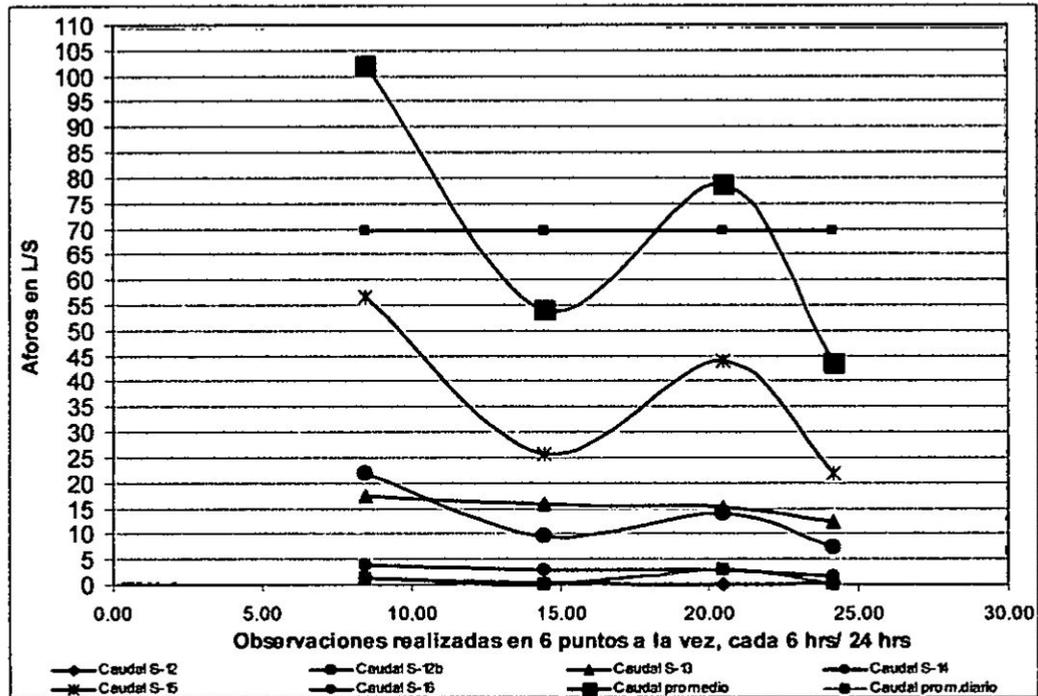
29 BRIX, H. Wasterwater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Performance, in G.A. Moshiri, (ed.) Constructed Weatlands for Water Quality Improvement: Lewis Publishers. Boca Raton, pag. 9 – 22, 1993.
30/31/32/33 RITES, Ron. TCHOBANOGLIOUS Georges; Sistema de Manejo de Aguas Residuales; Ed. Mc Graw Hill, Pág. 2° Tomo (601-602), 2000.

6.2. Los efluentes domésticos y su disponibilidad para el riego:

6.2.1. La disposición continúa de los desagües a las aguas del mar que baña las costas de San Juan de Marcona de acuerdo al resultado de monitoreo efectuado por Shougan Hierro Perú, muestra que la calidad de las Aguas marinas naturales (Océano Pacífico), no muestran aun contaminación, dado que el volumen de los desagües registrados de **75 L/S** y la características permiten que la bahía de San Nicolás mantengan su capacidad depuradora, sin embargo las especie marinas si pueden asimilar en sus organismos algunos contaminantes los mismos que llegan al ser consumidas por los habitantes cuando las especies son pescadas.

6.2.2. De los caudales registrados durante las pruebas de aforo, se encontró un caudal de **69.605 L/S**, el mismo que difiere al proporcionado por el Departamento de Medio Ambiente de **SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. 73.10 L/S**, en **3.495 L/S** inferior al registrado por SHP, no obstante ello lo hallamos dentro de un orden estadístico aceptable. El suministro que entrega **SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.** conformados por **46 L/S** de agua dulce y un estimado de **46 L/S** de agua salada de esta aproximadamente el **15 %** es consumida (no retorna al sistema de alcantarillado), mientras el **85 %** restante es derivada al desagüe (**73.10 L/S**), (según explicación del Departamento de Medio Ambiente de SHP SAA). El flujo medido por persona alcanza los **600 lts/persona/día**, cuatro veces los valores típicos de **150 L/persona/día** para comunidades rurales, y dos veces al de Lima y Callao que alcanza los **300 a 350 L/persona/día**. Por otro lado como resultado de las Pruebas de aforo realizadas el día Sábado 15 de Abril de 2006 durante La Semana Santa en los puntos de monitoreo, se ha confeccionado el **Cuadro N° 5.2: “Registro de aforos en los diferentes emisores existentes”**, para lo cual se utilizo el correntometro Flow Probe., confeccionándose el grafico siguiente que nos presenta las variaciones de caudal de los efluentes domésticos generados en los diferentes puntos de descarga ya enumerados nombrados anteriormente.

Grafico N° 6.1.
Variaciones de los Aforos en las Descargas de Desagües de SJM



Autoría propia

Por lo tanto el agua de riego disponible sería del orden de **69.605 L/S**, desde luego el caudal final dependerá por otro lado del caudal que se trate a través de los humedales el que ha de depender del área disponible para implementar los humedales y as u vez del área de riego, pues por ello se podrá disponer como política eliminar el uso del agua de mar a nivel de su uso en los sanitarios, dado que el suministro per cápita de 300 L/persona/día, es suficiente.

6.2.3. La ciudad de San Juan de Marcona no cuenta con áreas verdes de significancia, como lo observamos en las fotos que se muestran en el apéndice como **Vista N° 9.9:** "Vistas panorámicas de la ciudad de San Juan de Marcona, obsérvese la mínima existencia jardines y áreas verdes, dada la escasez de agua para riego, especialmente bajo estas circunstancias de escasez, se debe conseguir que un determinado uso del agua no imposibilite otros posteriores, es decir, el uso del agua para abastecimiento urbano, debe solo destinarse para el fin que fue

concebido, mientras una correcta depuración de las aguas servidas deberá aplicarse, para que permita su reutilización para regadíos de las áreas verdes, como elemento que no perturbe el equilibrio biológico de las zonas de vertido

6.3. De la calidad de los efluentes domésticos:

6.3.1. Las características del agua residual generadas en San Juan de Marcona, presentan un grado de contaminación media (Manual de depuraciones de aguas Residuales Uralita Productos y Servicios S.A). Composición que permite un tratamiento a través de un sistema de humedales artificiales. Donde se observa que la DBO_5 a la entrada contra la DBO_5 de salida están en una relación de 130:20, encontrándose los valores del efluente por debajo del nivel de referencia para el uso requerido.

6.3.2. Durante el monitoreo en la ciudad de SJM, durante la Semana Santa de Abril de 2006, se obtuvieron los resultados que se muestran en el **Cuadro N° 5.3:** "Valores de los parámetros monitoreados en las diversas estaciones de aforos de los emisores" de la cual podemos concluir con lo siguiente:

a. Se encontró poca cantidad de materia orgánica biodegradable (expresada como mg/L de DBO) y a la vez poca cantidad de sólidos suspendidos totales (expresada como mg/l de SST), lo cual es lógico debido a que las concentraciones de DBO y SST guardan relación directa entre si.

b. De acuerdo a las concentraciones de DQO y DBO obtenidas, la relación DQO/DBO resulta fuera del rango usual de 1.8 a 2.2, para aguas doméstica biodegradables. Sin embargo, tomando en cuenta que las aguas residuales analizadas son una mezcla de agua dulce y salada, en dicha mezcla estaría presente una elevada cantidad de material orgánico no biodegradable, sustancia que son oxidables químicamente las cuales están como DQO .



c. Por otro lado la concentración de cloruro (expresada como mg/l) se encontró bastante elevada en los emisores S-12b, S-13 y S-14, los cuales transportan una gran cantidad de aguas salada que los demás emisores.

d. Los valores de coliformes totales y fecales presentes están dentro del rango para aguas residuales domésticas entre 10^6 y 10^9 NMP/100ml. La dotación de agua per cápita de 600 l/habitante/día, la cual es bastante elevada, es la que provocaría la dilución de la DBO y de los SST, y por ello los bajos valores de concentración hallados.

6.3.3 La composición promedio de los desagües es la siguiente:

Caudal (m^3 /día)	:	6013.872
DBO ₅ (mg/L)	:	220
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	:	1.6×10^6
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	:	13,916
Temperatura mínima del agua ($^{\circ}C$)	:	14

6.4. Del área requerida para implementar los humedales

6.4.1. De acuerdo a los resultados obtenidos en el humedal piloto, se estima que la Carga Superficial (C_s) = $0.025 m^3 / m^2/d$, si el volumen diario del desagüe que se dispone para su tratamiento en SJM es (V): 69.605 L/S es decir $6013.872 m^3/día$, siendo por ello el Área requerida (A): $240,554.88 m^2$, aproximadamente **24 ha**.

6.4.2. El área estimada en el párrafo precedente se distribuirá a nivel de cada descarga registrada según el **Cuadro N° 9.34: "Caudal Promedio y Área requerida para los humedales"**, en la que se concluye que para las seis distintas estaciones, cuyos caudales de efluente indicadas líneas abajo se requerirá un área como también se indica:

1. Estación S-12, Cuartos Palomares, con caudal de 0.45 L/S. se requiere 0.15 ha.
2. Estación S-12b, Oficinas, con caudal de 1.075 L/S. se requiere 0.37 ha.
3. Estación S-13, Miramar, con caudal de 15.21 L/S. se requiere 5.25 ha.
4. Estación S-14, Playa Hermosa, con caudal de 2.80 L/S. se requiere 0.97 ha.
5. Estación S-15, R, emisor principal, con caudal de 36.93 L/S. se requiere 12.76 ha
6. Estación S-16, Obresros, AAHH y PPJJ, ingreso lagunas de oxidación, con caudal de 13.13 L/S. se requiere 4.54 ha.

VII. CONCLUSIONES

- 7.1. El caudal de los efluentes domésticos generados en la ciudad de San Juan de Marcona es de 69.605 L/S.

Mientras la composición promedio de los desagües es la siguiente:

DBO ₅ (mg/L)	:	96.5
DQO (mg/L)	:	502.35
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	:	98.33
Cloruros (mg/L)	:	471
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	:	2.7×10^9
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	:	1.1×10^7
Temperatura mínima del agua (°C)	:	14

- 7.2. De acuerdo a las concentraciones de DQO y DBO obtenidas, la relación DQO/DBO resulta fuera del rango usual de 1.8 a 2.2, para aguas doméstica biodegradables. Sin embargo, tomando en cuenta que las aguas residuales analizadas son una mezcla de agua dulce y salada, en dicha mezcla estaría presente una elevada cantidad de material orgánico no biodegradable, sustancia que son oxidables químicamente las cuales están como DQO.

- 7.3. Las pruebas de tratamiento con el humedal piloto validado, se realizaron teniendo en cuenta los siguientes parámetros de control:

Caudal	:	86 L/día
Periodo de retención	:	6.5 días
Piedra chancada	:	1/4"
Vegetales	:	Papiros

- 7.4. La DBO₅ removida de los efluentes domésticos en el humedal piloto de Flujo Subsuperficial, alcanzo el 90.71%, (entre el rango: entrada 140 mg/L y salida 13 mg/L), siempre para un residual por debajo de los límites de la clase III, (15 mg/L).

- 7.5. Los SST removida de los efluentes domésticos en el humedal piloto de Flujo Subsuperficial, alcanzo el 90.27%, (entre el rango: entrada 110 mg/L y salida 10.7 mg/L), limite ajustado para el diseño del humedal (10 mg/L), mientras el límites de la clase III, pequeñas cantidades.

- 7.6. Los Nitratos removidos de los efluentes domésticos en el humedal piloto de Flujo Subsuperficial, alcanzo el 85.18%, (entre el rango: entrada 18.22 mg/L y salida 2.72 mg/L), limite ligeramente por encima del exigido por el de la clase III, (0.1 mg/L).
- 7.7. El Fósforo removido alcanzo el 81.25%, el residual es un nutriente importante para los otros vegetales que recibirán el agua al momento de su uso en el riego.
- 7.8. El Hierro alcanzo una remoción del 95.65 %, logrando un residual en el efluente de 0.1 mg/lt, es decir muy por debajo del limite exigido por la clase III (1.0 mg/lt).
- 7.9. La remoción de organismos patógenos para el caso los Coliformes Fecales se logro una remoción del orden del 99.99%, siempre por debajo de un residual de exigido por la clase III, es decir 5×10^3 .
- 7.10. El sistema de tratamiento de humedales artificiales del tipo Subsuperficial es una tecnología viable para la depuración de las aguas residuales domésticas, en especial para países como el nuestro en vías de desarrollo, y para zonas rurales, que tengan climas tropicales, subtropicales e inclusive secos escasos de agua.
- 7.11. De acuerdo a los resultados obtenidos en el humedal piloto, se estima que la Carga Superficial (C_s) = $0.025 \text{ m}^3 / \text{m}^2/\text{d}$, si el volumen diario del desagüe que se dispone para su tratamiento en SJM es (V): 69.605 L/S es decir $6013.872 \text{ m}^3/\text{día}$, siendo por ello el Área requerida (A): $240,554.88 \text{ m}^2$, aproximadamente **24 ha**.
- 7.12. Los resultados obtenidos permiten demostrar que el humedal modifica la calidad del efluente dentro de los parámetros requeridos, pero esto se logra operando el propio humedal, es decir ajustando de ser necesario los parámetros de diseño, tales como periodo de retención, caudal, carga de entrada y de salida, como fue el de nuestro caso.
- 7.13. Esta aplicación, de utilizar este tipo de tratamiento por humedales artificiales para los desagües, se justifica con mayor razón cuando el agua es escasa y cara, como en el caso de la Ciudad de San Juan de Marcona, que muestra una ciudad de aspecto árido, (ver titulo 4.3), carente de áreas verdes, debido a no contar con fuente de agua dulce propia.



VIII.- REFERENCIALES

- 8.1. ANSOLA, G. y DE LUIS, E. Concentración de nutrientes en helófitos acuáticos utilizados en depuración de agua residual. Colombia: Limnetica, 2ª edición, 1994. pág. 33 – 36.
- 8.2. ANSOLA, G. FERNÁNDEZ, C. y DE LUIS, E. Removal of organic matter and nutriens from urban wastewater by using an experimental emergent aquatic macrophyte system. Ecological Engineering: cap5: pág. 13 -19. 1995.
- 8.3. APHA, AWWA & WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992
- 8.4. BAVOR, H. J. RÖSER, H. FISHER, P. J. and SMALLS, I. C. Joint Study on Sewage Treatment Using Shallow Lagoon – Aquatic Plant Systems. NSW, Australia: Vol. 2, Treatment of Secondary Effluent, Water Research Laboratory, Hawkesbury Agricultural Collage, Richmond. 1989.
- 8.5. BRIX, H. Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants- the root zone method. Water Sci. Technol: pág. 107 -118, 1987.
- 8.6. BRIX, H. Wasterwater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Perfomance, in G.A: Moshiri Ed. pág. 9 – 22, 1993.
- 8.7. BRIX, H. & SCHIERUP H.H. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. In GA: Ambio Ed. pág 100 - 107, 1989.
- 8.8. BRÖDIE, G. A. HAMMER, D. A and TOMLJANOVIČ, D. A. Treatment of Acid Drainage with a Constructed Wetland at the Tennessee Valley Authority 950 Cola Mine, in D. A: Hammer Ed. 1989
- 8.9. CANO, A. A. COLLADO, L. R. La lenteja de agua como sistema blando de depuración de aguas residuales de bajo coste, en Tecnología del Agua N° 174. pág 18 -25. Marzo de 1998.



- 8.10.** CASTRO DE ESPARZA Y LEÓN SUEMATSU, Guillermo, Estudios Preliminares de la Remoción de Vibrio Cholerae en algunas Lagunas de Estabilización de San Juan de Miraflores Lima - Perú: CEPIS, 1992.
- 8.11.** COLLADO, R. Aplicación de macrófitas a la depuración de aguas residuales. Curso de Aplicación de Tecnologías Blandas a la depuración de aguas residuales. Proyecto Agua. Valencia: EGEVASA. 1997.
- 8.12.** CRITES, AND TCHOBANOGLOUS; Sistema de Manejo de Aguas Residuales; Colombia: Ed. Mc Graw Hill, Pág. (563-640), 2000.
- 8.13.** EDITORES: HARBERL, R. PERFLER, R. LABER, J. COOPER, P. Wetland Systems for water pollution control 1996, en Water Science and Technology Vol 35, N° 5, 1997.
- 8.14.** EDITORES: KADLEC, R.H. BRIX, H. Wetland systems for water pollution control 1994, en Water Science and Technology, Vol 32, N° 3, 1995.
- 8.15.** ESTEVEZ, S.F. Diseño y explotación de sistemas de depuración de aguas residuales en pequeños núcleos y comunidades, Asociación nacional de químicos españoles, Agrupación territorial de Castilla la Mancha, Sección técnica de medio ambiente.
- 8.16.** ESTEINER, G.R. WATSON, J.F. & CHOATE, K.D. General desing, Construction, Operation Guidelines for Small Constructed Wetlands Wastewater Treatment System. MI: LEWIS PUBLISHER. 1993
- 8.17.** FINDLAY, G.E., El proceso de CBR y lechos de juncos de Severn Trent. Curso de Aplicación de Tecnologías Blandas a la depuración de aguas residuales. Proyecto Agua. Valencia: EGEVASA. 1997.
- 8.18.** GARCÍA, J. RUIZ, A. & JUNQUERTAS, X. Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidos. Tecnología del Agua, N° 165: pág. 58-65. 1997



- 8.19.** GERBERSG, R. M. ELKINS, B. V. LYONS, R. AND GOLDMAN, C.R. Role of Aquatic Plants in Wastewater Treatment by Artificial Wetlands, Water Research, Vol. 20, pp. 363 – 367 (1985)
- 8.20.** GLYNN HENRY; GARY W. HEINKE, Ingeniería Ambiental, México: Editora Prentice Hall; Segunda Edición, 1996.
- 8.21.** HAMMER, D.A. Creating Freshwater Wetlands, Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1992.
- 8.22.** HERNANDEZ MUÑOZ, HERNANDEZ LEHMANN, Manual de Depuración Uralita, Madrid: Ed. Paraninfo S.A, Primera edición, 1995.
- 8.23.** KAYS, W. B., Construction of living for Reservoirs, Tanks, and Pollution Control Facilities. New York: Wiley – Interscience 2nd ed, 1986.
- 8.24.** MARTÍN, I. & FERNÁNDEZ, J. Nutrient dynamics and growth of a cattail crop (*Typha latifolia*) developed in an effluent with high eutrophic potential-application to wastewater purification systems Bioresource Technology. Pag. 7-12. 1992.
- 8.25.** METCALF AND EDDY, Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Colombia: 3ª Ed, Mc Graw-Hill, 1995.
- 8.26.** REED S.C, CRITES R.W, MIDDLEBROOKS, E.J, Natural systems for waste management and treatment. USA: 2ª Ed, McGraw-Hill, 1995.
- 8.27.** REED, S.C. CRITES, R.W. MIDDLEBROOKS, E.J. Natural systems for waste management and treatment, USA: 2ª Ed, McGraw-Hill, 1995.
- 8.28.** REED, S. C. Natural Systems for Wastewater Treatment, Manual Of Practice FD-16, Water Pollution Control Federation (WEF). Alexandria: VA, 1990.
- 8.29.** CRITES, Ron. TCHOBANOGLOUS, Georges. Sistema de Manejo de Aguas Residuales. Colombia: Ed. Mc Graw Hill, Pág. 2º Tomo (601-602), 2000.



8.30. TORRES BARDALES, C. El Proyecto de Investigación Científica. Lima: Editorial Libros y Publicaciones, Tercera Edición 2005, 251 pp.

8.31. TORRES BARDALES, C. Metodología de la Investigación Científica. Lima: Editorial Libros y Publicaciones, Novena Edición 2007, 376 pp.

8.32. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Design Manual Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment, USA: EPA, 1988

8.33. WATSON, J. T. REED, S. C. KADLEC, R. H. KNIGHT, R. L. AND A.E. WHITEHOUSE, A.E., Performance Expectations and Loading Rates for Constructed Wetlands, in D.A. USA: Ed. Hammer and Lewis Publishers, Chelsea, MI 1989.

8.34. WEF/ASCE (Water Environment Federation / American Society of Civil Engineers), Design of Municipal Waste Water Treatment Plants, Vols, I, II, Brattleboro, Wt. Book Press 1992

Máximo Baca

IX.- APENDICE

Cuadro N° 9.1: Nombre de las estaciones de aforos de los emisores

	Estación	Zona	Punto de descarga	Observación
1	S - 12	Cuartos Palomares	Mar	
2	S - 12b	Oficinas	Mar	
3	S - 13	Miramar	Mar	
4	S - 14	Playa Hermosa	Mar	
5	S - 15	Zona R	Mar	Emisor Principal
6	S - 16	Obreros, AAHH y PPJJ	Laguna de Estabilización	Entrada Laguna

Autoría propia, Puntos de descarga en la ciudad de San Juan de Marcona
Similar Cuadro N° 5.1.

Cuadro N° 9.2: Población de la Ciudad en el Distrito de San Juan de Marcona

Año	N° de Trabajadores en SHP	Población Aproximada
1996	1,505	7,525
1997	1,480	7,400
1998	1,454	7,270
1999	1,400	7,000
2000	1,363	6,815
2001	1,323	6,625
2002	1,360	7,500
2003	1,365	8,800
2004	1,345	9,900
2005	1,380	11,570
2006	1,385	11,600
2007	1,390	11,600

Autoría propia, Población estimada en el Distrito de SJM

Cuadro N° 9.3: Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal piloto, 15 observaciones, para la DBO₅ (Ingreso Vs Salida, del 02 al 16/01/07)"

Observaciones	DIA	CAUDAL L / día	EH - DBO ₅ mg/L	SH - DBO ₅ mg/L
1	02/01/07	86	101	15.30
2	03/01/07	86	122	14.80
3	04/01/07	86	113	14.60
4	05/01/07	86	152	15.80
5	06/01/07	86	163	14.90
6	07/01/07	86	164	14.00
7	08/01/07	86	107	16.00
8	09/01/07	86	156	17.60
9	10/01/07	86	130	13.80

Máximo Baca Neglia

"Calidad de Efluentes Domésticos tratados a través de Humedales Artificiales para su Reutilización - San Juan de Marcona del Distrito de Marcona"

10	11/01/07	86	110	13.00
11	12/01/07	86	100	17.50
12	13/01/07	86	145	16.00
13	14/01/07	86	107	14.90
14	15/01/07	86	121	16.00
15	16/01/07	86	101	14.20

Autoría propia, Valores de la DBO₅, en el humedal piloto

Cuadro N° 9.4: Caudal Promedio y Área requerida para los humedales

	Estación	Denominación	Punto de descarga	Caudal L/S	Área terreno ha
1	S - 12	Cuartos Palomares	Mar	0.45	0.1555
2	S - 12b	Oficinas	Mar	1.075	0.3715
3	S - 13	Miramar	Mar	15.21	5.2566
4	S - 14	Playa Hermosa	Mar	2.805	0.9694
5	S - 15	R (emisor principal)	Mar	36.93	12.763
6	S - 16	Obreros, AAHH y PPJJ Entrada a laguna	Laguna de Estabilización	13.13	4.5377
Caudal prom. y área requerida para los humedales				69.605	24.0537

Autoría Propia

Cuadro N° 9.5: Valores promedio de los parámetros monitoreados en las diversas estaciones de afloramientos de los emisores

Parámetros	Estaciones					
	S-12	S-12b	S-13	S-14	S-15	S-16
DBO mg/L	222	94	90	25	52	96
DQO mg/L	903.6	415	401.6	192.8	391.6	709.5
SST mg/L	226	96	15	36	98	92
Cloruros mg/L	284	567	867	514	344	250
Coliformes Totales NMP/100ml	1.3 x 10 ⁹	5 x 10 ⁹	6 x 10 ⁷	1.1 x 10 ⁸	8 x 10 ⁸	9 x 10 ⁹
Coliformes Fecales NMP/100ml	2.4 x 10 ⁶	1.1 x 10 ⁷	1.1 x 10 ⁶	1.4 x 10 ⁶	3.5 x 10 ⁷	1.7 x 10 ⁷

Autoría propia, Valores en los diferentes emisores en ciudad de San Juan de Marcona



Tabla N° 9.1: Cálculos para la determinación de la t de Student

DIA	X	x- \bar{x}	(x- \bar{x}) ²	x ²
02/01/07	15.30	0.07	0.01	234.09
03/01/07	14.80	-0.43	0.18	219.04
04/01/07	14.60	-0.63	0.39	213.16
05/01/07	15.80	0.57	0.33	249.64
06/01/07	14.90	-0.33	0.11	222.01
07/01/07	14.00	-1.23	1.50	196.00
08/01/07	16.00	0.77	0.60	256.00
09/01/07	17.60	2.37	5.63	309.76
10/01/07	13.80	-1.43	2.04	190.44
11/01/07	13.00	-2.23	4.96	169.00
12/01/07	17.50	2.27	5.17	306.25
13/01/07	16.00	0.77	0.60	256.00
14/01/07	14.90	-0.33	0.11	222.11
15/01/07	16.00	0.77	0.60	256.00
16/01/07	14.20	-1.03	1.05	201.64
Σ	228.40	0.00	23.27	3614.80

Autoría propia

Figura N° 9.1: Fotografía que muestra los tanques de almacenamiento de agua dulce

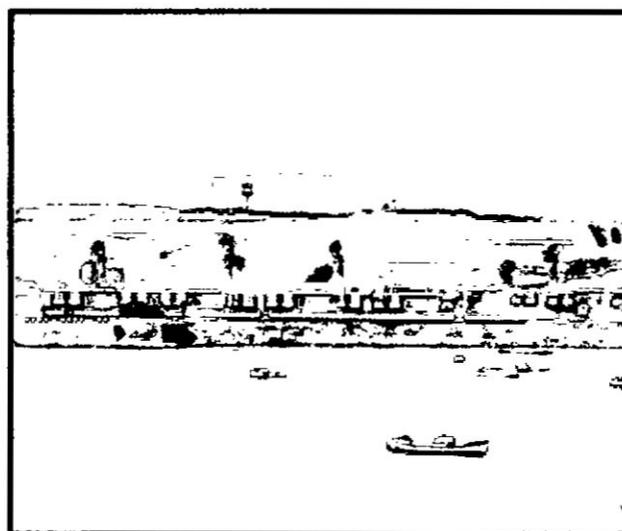


Figura N° 9.2: Fotografía que muestra la bomba de agua de mar

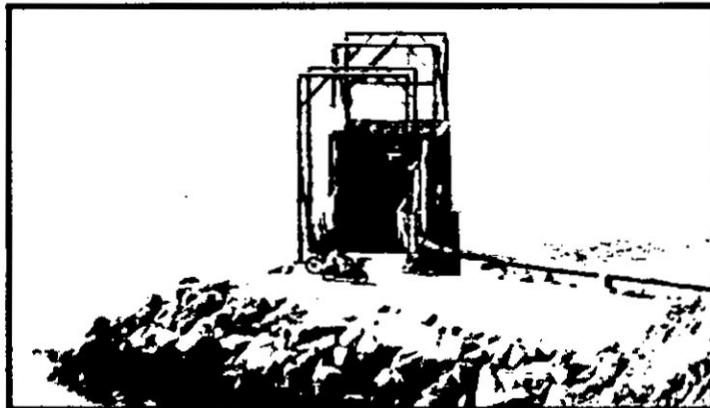


Figura N° 9.3: Emisor S-12, Zona Pescadores-Cuartos Palomares

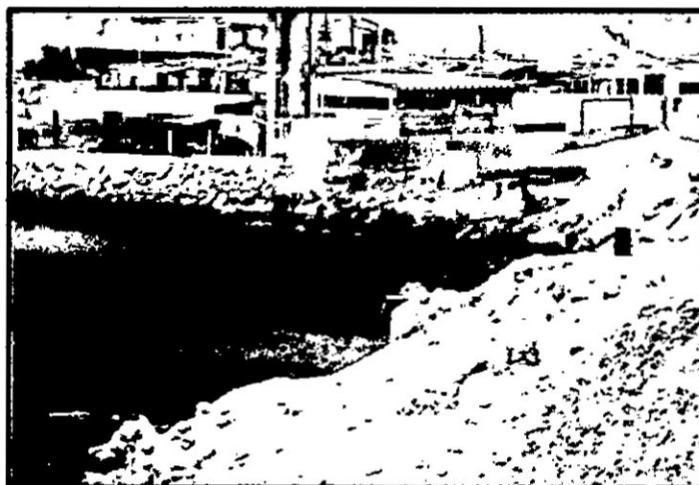


Figura N° 9.4: Emisor S-12b, Oficinas



Figura N° 9.5: Emisor S-13, Zona Miramar



Figura N° 9.6: Emisor S-14, Playa Hermosa”



Figura N° 9.7: Emisor S-15, Zona R



Figura Nº 9.8: Emisor S-16, Ingreso lagunas de Oxidación

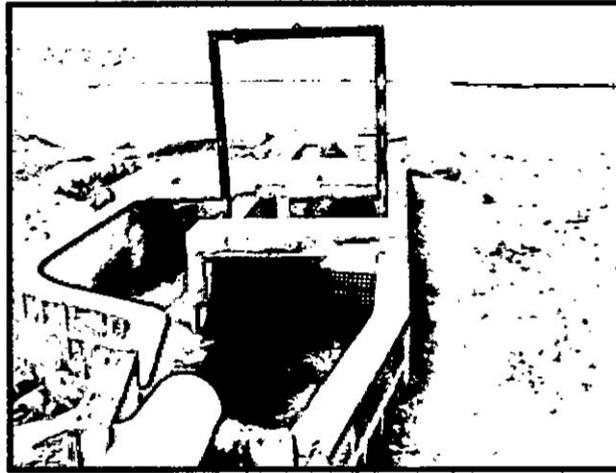


Figura Nº 9.9: "Figuras panorámicas de la ciudad de San Juan de Marcona, obsérvese la mínima existencia de jardines y áreas verdes"



Figura Nº 9.10: Jardín de la FIARN en la Ciudad de la UNAC



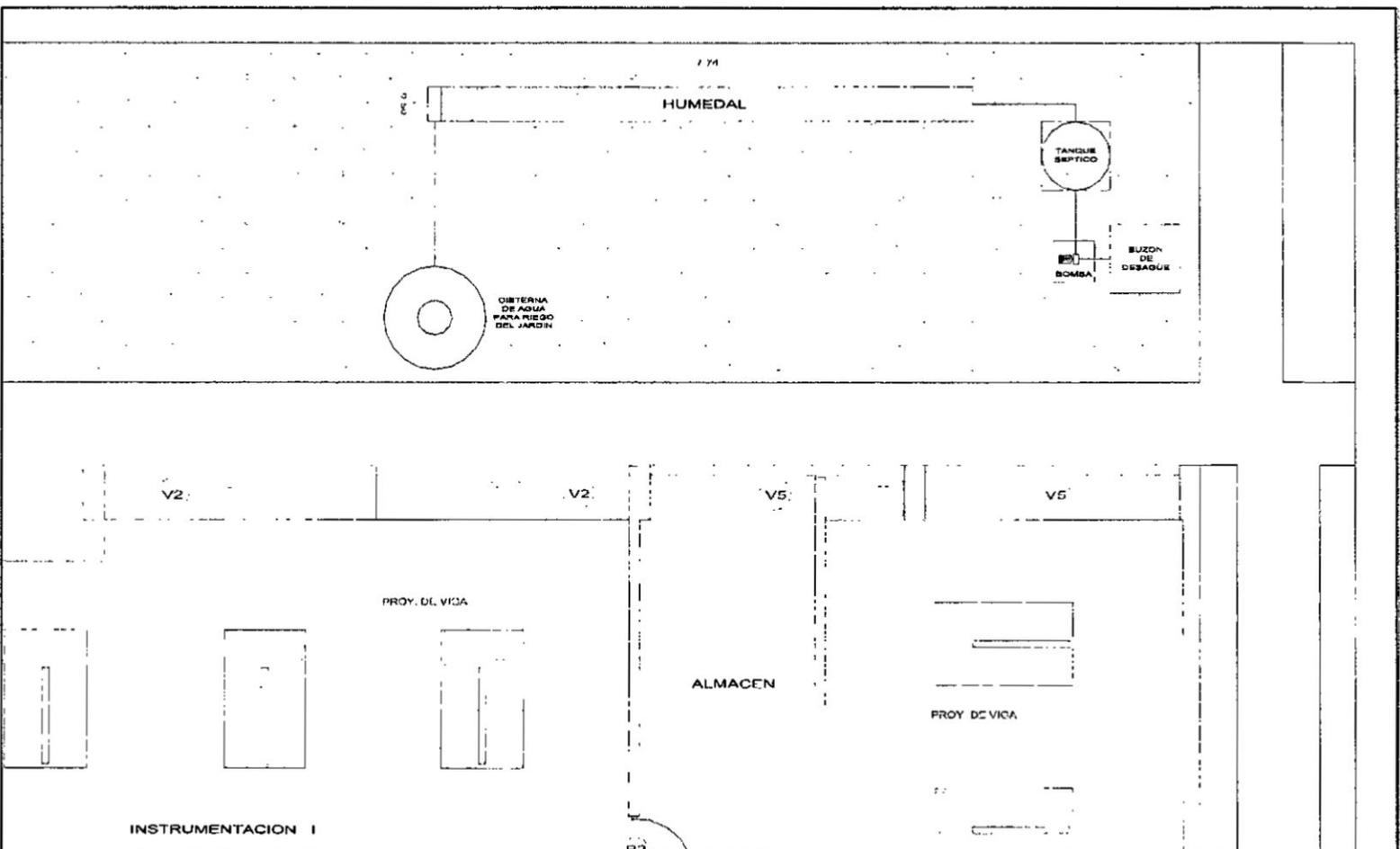
Figura panorámica del jardín donde se ubica el humedal piloto el que es alimentado con agua de desagüe. En la figura de la derecha obsérvese la caseta de seguridad para la electrobomba de toma de los desagües.

Figura N° 9.13: Conjunto de figuras fotográficas que muestran al humedal piloto operando"



Figuras del humedal durante el periodo de evaluación de los mismos, se aprecia el mayor desarrollo de los mismos desde julio a fines de setiembre del 2007.

Plano N° 9.1A: "Plano de dimensionamiento del humedal piloto"



X ANEXOS

Tabla Nº 10.1: "Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales".

Constituyente	Mecanismo de remoción
Sólidos suspendidos	Sedimentación / Filtración
Materia orgánica biodegradable (DBO)	Degradación microbiana (aerobia, anaerobia y facultativa), Sedimentación/ Filtración
Nitrógeno	Amonificación seguida por la nitrificación-denitrificación bacteriana. Volatilización del Amonio. Toma por la planta
Fósforo	Porción en el suelo (reacciones de adsorción - precipitación con el aluminio, hierro, calcio y minerales de la arcilla en el suelo), Toma por la planta
Metales pesados	Sedimentación. Adsorción sobre la superficie de la planta y los detritos
Patógenos	Sedimentación/ Filtración. Muerte natural. Radiaciones ultravioleta. Excreción de antibióticos por las raíces de las plantas.

Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

Tabla Nº 10.2 "Contaminantes y sus efectos potenciales"

Contaminante	Efecto potencial
Nitrógeno Salud medioambiente	Suministro de agua a niños pequeños Eutrofización
Fósforo Salud medioambiente	No tiene impacto directo Eutrofización
Patógenos Salud medioambiente	Formación de aerosoles en el suministro de agua para cultivos. Acumulación en el terreno y contaminación de la vida salvaje
Metales Salud medio ambiente	Suministro de agua a cultivos y animales en la cadena alimenticia humana A largo plazo daños en el terreno y es tóxico para plantas y animales
Elementos de traza orgánicos Salud medio ambiente	Suministro de agua para plantas y animales en la cadena alimenticia. Acumulación en el terreno

Fuente: GLYNN HENRY; GARY W. HEINKE, Ingeniería Ambiental; Ed Prentice Hall; México 1996.

Tabla N° 10.5: "Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales".

Constituyente	Mecanismo de remoción
Sólidos suspendidos	Sedimentación / Filtración
Materia orgánica biodegradable DBO)	Degradación microbiana (aerobia, anaerobia y facultativa), Sedimentación/ Filtración
Nitrógeno	Amonificación seguida por la nitrificación-denitrificación bacteriana. Volatilización del Amonio. Toma por la planta
Fósforo	Porción en el suelo (reacciones de adsorción – precipitación con el aluminio, hierro, calcio y minerales de la arcilla en el suelo), Toma por la planta
Metales pesados	Sedimentación. Adsorción sobre la superficie de la planta y los detritos
Patógenos	Sedimentación/ Filtración. Muerte natural. Radiaciones ultravioleta. Excreción de antibióticos por las raíces de las plantas.

Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

Tabla N° 10.6: Características usuales del medio para los humedales de Flujo Subsuperficial.

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10} , mm	Porosidad del efuente, α	Conductividad hidráulica, pie/d
Arena mediana	1	0.30	1640
Arena gruesa	2	0.32	3280
Arena pedregosa	8	0.35	16,400
Grava mediana	32	0.40	32,800
Grava gruesa	128	0.45	328,000

Nota: d_{10} es el diámetro de una partícula en una distribución de peso de partículas que es más pequeñas que todas, menos el 1 0% de las partículas.

Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)



Tabla N° 10.7: Remoción total de DBO observada en humedales de Flujo Subsuperficial:

Ubicación	Tratamiento preliminar	Concentración, mg/L		Remoción, %	Tiempo de retención nominal, d
		Afluente	Efluente		
Benton, Kentucky ¹	laguna de Oxidación	23	8	65	5
Mesquite, Nevada ¹	laguna de Oxidación	78	25	68	3.3
Santee, California ²	Primario	118	1.7	88	6
Sydney, Australia ³	Secundario	33	4.6	86	7

¹Operación a tamaño real, marzo a noviembre de 1988 a 80 mm/d (Watson et al., 1989)

¹Operación a tamaño real, enero de 1994 a enero de 1995.

²Operación piloto a escala, 1984, o@ a 50 mrd (Gersberg et al, 1985).

³Operación piloto a escala en Richmond, New South Wales, cerca de Sydney, operando o 40 mm/d desde diciembre de 1985 hasta febrero de 1986 (Bavor et al, 1987).

Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

Tabla N° 10.8: Criterios usuales de diseño y de la calidad del efluente esperado en humedales artificiales de flujo FS"

Elemento	Unidad	Valor
Parámetro de diseño		
Tiempo de retención	d	3-4 (DBO), 6-10 (N)
Tasa de carga de DBO	lb/ac.d	<100
Tasa de carga de la entrada de SST	lb./pie ² d	0.008
Profundidad del agua	pie	1-2
Profundidad del medio	pie	1.5-2.5
Control de mosquitos		No es necesario
Programa de siego		No es necesario
Calidad esperada del afluente *		
DBO ₅	mg/l	<20
SST	mg/L	<20
N total	mg/L	<10
P total	mg/L	<5

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

Fuente : (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

Tabla N° 10.9: "Comparación del comportamiento de arena, la grava y los filtros de roca 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	Obstrucción en > 5 años Obstrucción en 50 días Obstrucción en < 10 días
		10	
		30	
	0.40	10	Obstrucción en > 0.5 años Obstrucción en 35 días Obstrucción en 10 días
		30	
		70	
	0.68	20	Obstrucción en > 0.5 años Obstrucción en 50 días Obstrucción en 20 días
		40	
		80	
Grava	5 - 10 (entrada)	40	Infiltración por + 3 años Obstrucción en 3 meses Infiltración por + 3 años Infiltración por + 1 año
	5 - 10 (w/g)	200	
	40 (entrada)	18	
	40 (entrada - primaria)	80 - 160	
Roca	9 - 25	13 - 464 ^t	Obstrucción en 11 meses Infiltración por + de 17 meses, pobre remoción de SST Infiltración por + 14 meses, pobre remoción de SST
	10 - 50	113 - 629 ^t	
	63 - 127	102 ^t	

* De Boyar y Schuiz (1 993).
 t 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 calculadas para aplicarse por metro cuadrado de superficie disponible para la infiltración. Los datos para los filtros de arena y roca se adoptaron 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.

Tabla N° 10.10: Característica del periodo anual del 2006 con respecto a Temperatura (media mensual), Precipitación (total mensual), Humedad Relativa (media mensual), Dirección y velocidad media del viento.

Año 2006	Temperatura Media Mensual (°C)	Precipitación Total Mensual (mm)	Humedad Relativa Media Mensual (%)	Dirección y Velocidad Media del Viento (km/h)
Enero	22.4	0.2	68	S - 18.9
Febrero	23.3	0.0	65	S - 17.4
Marzo	22.7	0.0	70	S - 18.7
Abril	21.0	0.0	74	S - 23.6
Mayo	18.3	0.0	75	S - 21.2
Junio	16.5	0.0	78	S - 22.6
Julio	15.1	0.0	85	S - 18.7
Agosto	15.3	0.0	89	SSE - 22.3
Setiembre	15.6	0.0	84	S - 18.3
Octubre		0.0		
Noviembre		0.0		
Diciembre		0.0		

Fuente: SHÓUGANG HIERRÓ PERU S.A.A.

M. Baca

Tabla N° 10.11: Resultados del Monitoreo de Calidad de aire

AÑO 2004	Según LMP del MEN ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Estación Sobre el techo de la sub estación eléctrica
Enero	Nivel Máximo $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	31.14
Febrero		36.18
Marzo		58.20
Abril		47.00
Mayo		25.69
Junio		37.94
Julio		33.10
Agosto		35.49
Septiembre		31.89
Octubre		37.04
Noviembre		22.46
Diciembre		36.33

Fuente: (PAMA de SHOUGAN HIERRO PERU S.A.A.)

Tabla N° 10.12: Resultados Analíticos del Cuerpo Receptor

Nombre de la Empresa		SHOUGAN HIERRO PERU S.A.A.				
Nombre del lugar		SAN NICOLAS				
Nombre del Punto de Control		Punto Blanco al Norte de San Juan y al Sur de San Nicolás				
Ubicación:		Bahía San Juanito, al sur de San Nicolás, 400 m de la costa y al lado izquierdo del islote. UTM 8'314,483N, 474,635E				
Trimestre (muestreo trimestral)			Primero	Segundo	Tercero	Cuarto
Fecha			21/01/04	27/04/04	19/07/04	17/07/04
Elementos	Unidad	LMP				
pH	U.E.	5.5 – 10.5	8.08	7.54	8.08	8.02
Temperatura	°C		16	14	14	14
TSS	mg/l		344	94	236	335
OD	mg/l	4	1.5	7.5	8	4.8
Cd	mg/l	0.004	<0.005	0.009	<0.005	<0.005
Cr	mg/l	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Fe	mg/l	5	0.21	0.03	0	0.23
Pb	mg/l	0.03	0.03	0.03	0.1	0.07
Hg	mg/l	0.0002	0.09	<0.001	<0.001	<0.001
Ni	mg/l		0.18	0	0	0.02
Ag	mg/l		<1	<1	<1	<1
Colif. Totales	NMP/100mi	20,000	<20	<20	2	<20
Colif. Fecales	NMP/100mi	4,000	<20	<20	2	<20
DBO	mg/l	10	6	10	4	5

Nota: (LMP: Límites Máximos Permisibles)

Fuente: PAMA de SHOUGAN HIERRO PERU S.A.A

Tabla 10.13: Principales aves registradas

AVES		INDICADORES
Nombre Científico	Nombre Común	
Larus dominicanus Larus cirrocephalus Charadrius hiaticula semipalmatus Charadrius alexandrinus Catharthe aura jota Arenaria interpes morinella	Gaviota peruana Gaviota Capuchón Chorlo de un collar Chorlo nevado Gallinazo cabeza roja Vuelvepedras	Zona: Lagunas de oxidación de SJM. Simpson: 0.263 Shannon: 1.461 I.P.A.:4 ind/Ha
Haematopus ostralegus pitanay Haematopus ater Larus dominicanus Larus cirrocephalus Numenius phaeopus hudsoniacus Catharthes aura jota Pelecanus taghus Caladris alba Charadrius hiaticula semipalmatus Sula variegata	Ostrero común Ostrero negro Gaviota peruana Gaviota capuchón gris Zarapito Gallinazo cabeza roja Pelicano Playero Blanco Chorlo de un collar Piquero	Zona: Playa Hermoza de SJM. Simpson: 0.249 Shannon: 1.669 I.P.A.:127 ind/Km ²
Haematopus ostralegus pitanay Haematopus ater Larus dominicanus Larus cirrocephalus Numenius phaeopus hudsoniacus Catharthes aura jota Pelecanus taghus Caladris alba Charadrius hiaticula semipalmatus Arenaria interpes morinella Phalacrocorax bougainvilli Hirundo rustica erythrogaster	Ostrero común Ostrero negro Gaviota peruana Gaviota capuchón gris Zarapito Gallinazo cabeza roja Pelicano Playero Blanco Chorlo de un collar Vuelvepedras Guanay Golondrina	Zona: Playa Los leones y los Pingüinos de SJM. Simpson: 0.174 Shannon: 2.004 I.P.A.:3 ind/70 min.

Fuente: PAMA de SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A

Tabla N° 10.14: Principales especies ictiológicas

Nombre Científico	Nombre Común	Indicadores
Mugil curema Mugil cephalus Odontesthes regia Paralichthys adspersus Seriolaella violacea Mustellus whiney Engraulis ringens Palabrax humeralis Paralonchurus peruanus Sardinops sagax sagax Trauchurus sinmetricus Scomber japonicus Scartichthys gigas Hypsoblennius robustus Sicyases sanguineus	Corvina Lisa Pejerrey Lenguado Cojinova Tollo Anchoveta Cabrilla Coco Sardina Jurel Caballa Borracho Tramboyo Peje sapo	Presencia indirecta mediante aparejos de pesca artesanal

Fuente: PAMA de SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A

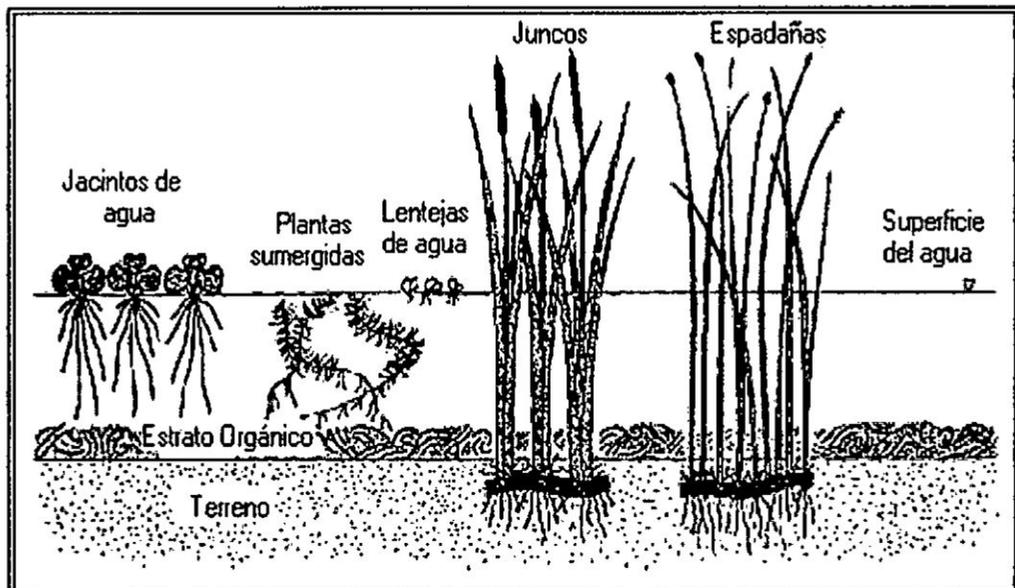


Tabla N° 10.15: Distribución t de Student

gl	Intervalo de confianza				
	80%	90%	95%	98%	99%
	Nivel de simplificación para prueba de una cola				
	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005
	Nivel de significación para una prueba de dos colas				
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947

Fuente: Tablas Estadística de Pedro Díaz Bustos

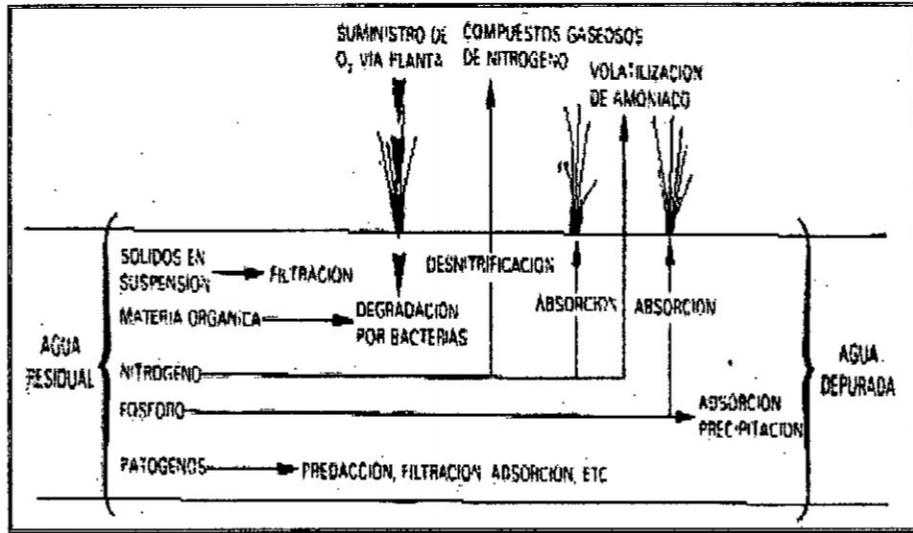
Figura N° 10.1 "Plantas acuáticas comunes"



Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

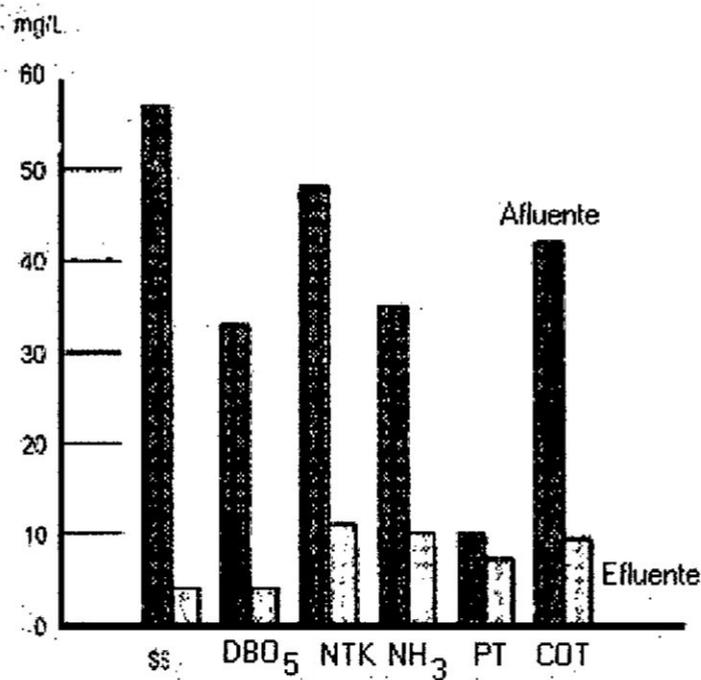
cf. Baca

Figura N° 10.2 "Procesos de depuración de los humedales artificiales"



Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

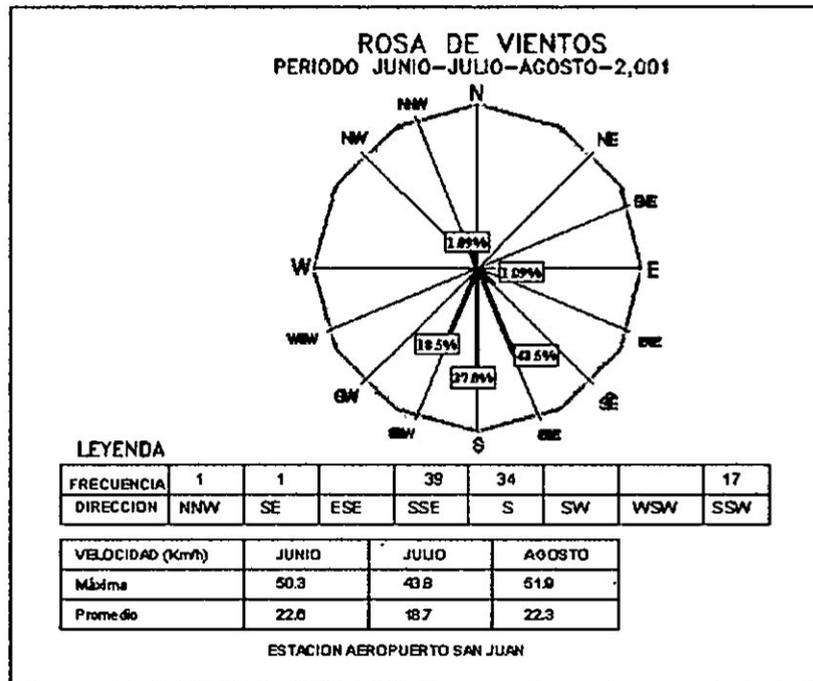
Figura N° 10.3 "Rendimientos de remoción típicos"



Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

Máximo Baca Neglia

Figura N° 10.4: Rosa de Vientos-Periodo Junio, Julio, Agosto 2001



Fuente: PAMA de SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.

Figura N° 10.5: “Figura Satelital donde se aprecia el distrito de San Juan de Marcona”



Fuente: Terra Google

Máximo Baca

