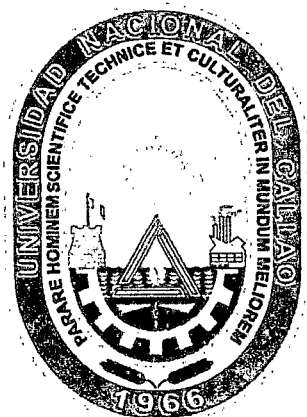


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE**

**CIENCIAS ECONÓMICAS**



**“TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS  
MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL  
RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL DISTRITO DE  
SAN JUAN DE MARCONA”**

28

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA.  
CON MENCIÓN EN DOCENCIA UNIVERSITARIA**

**AUTOR: Ing. MAXIMO FIDEL BACA NEGLIA**

**CALLAO- PERÚ**

**2012**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

## ESCUELA DE POSGRADO

### SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD CIENCIAS ECONOMICAS

## MAESTRIA EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA

Resolución N° 028-2011-SPG-FCE-UNAC, que nombra el jurado examinador para evaluar en acto Publico.

Presidente:	Dr. GERARDO SIU ROJAS
Secretario:	Mg. MARÍA TERESA VALDERRAMA ROJAS
Miembro:	Dr. COLONIBOL TORRES BARDALES
Miembro:	Mg. JOSÉ CORBERA CUBAS
Asesor de Tesis:	Mg. CARMEN ELIZABETH BARRETO PIO



*Universidad Nacional del Callao*  
*Facultad de Ciencias Económicas*  
*Sección de Posgrado*

**RESOLUCIÓN N° 028-2011-SPG-FCE-UNAC**

Bellavista, 24 de Octubre del 2011.

**LA DIRECCIÓN DE LA SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**

**VISTA:**

La solicitud de fecha 20 de Octubre del 2011, presentada por el Ing. **MAXIMO FIDEL BACA NEGLIA**, solicitando el **Nombramiento de un Jurado Examinador**, así como el día y la hora para sustentar la Tesis intitulada: **"TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DOMESTICOS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL RIEGO DE AREAS VERDES EN EL DISTRITO DE SAN JUAN DE MARCONA"**.

**CONSIDERANDO:**

Que, habiendo sido declarado Expedido el Ing. **MAXIMO FIDEL BACA NEGLIA**, mediante **Resolución N° 027-2011-SPG-FCE-UNAC** de fecha 20 de Octubre del 2011, teniendo los informes favorables de los integrantes del Jurado Revisor y habiendo presentado sus 04 ejemplares de la Tesis de Maestría antes mencionada;

En uso de las atribuciones que le confiere al Director de la Sección de Post Grado de la Facultad de Ciencias Económicas, de los Arf. 70°, 71° del Reglamento de Estudios de Maestría, aprobado por Resolución N° 081-2011-CU de fecha 29 de abril de 2011;

**RESUELVE:**

1.- **Designar como Jurado Examinador para evaluar en Acto Público** el día viernes 18 de Noviembre del 2011 a las 12:00 horas en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Económicas de esta Casa Superior de Estudios, la Tesis del Ing. **MAXIMO FIDEL BACA NEGLIA**, intitulada: **"TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DOMESTICOS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL RIEGO DE AREAS VERDES EN EL DISTRITO DE SAN JUAN DE MARCONA"**, Para optar el Grado Académico de Maestro en Investigación y Docencia Universitaria con Mención en Docencia Universitaria, el cual está conformado por los siguientes Docentes:

➤	<b>Dr. GENARO SIU ROJAS</b>	<b>Presidente</b>
➤	<b>Mg. MARIA TERESA VALDERRAMA ROJAS</b>	<b>Secretario</b>
➤	<b>Dr. COLONIBOL TORRES BARDALES</b>	<b>Miembro</b>
➤	<b>Mg. JOSÉ CORBERA CUBAS</b>	<b>Miembro</b>
➤	<b>ASESORA DE TESIS</b>	<b>: Mg. CARMEN ELIZABETH BARRETO PIO</b>

2.- Transcribir la presente Resolución a las Dependencias Académicas que corresponda, y a la interesada para los fines consiguientes.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

DDC/eb

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
Facultad de Ciencias Económicas  
Sección de Posgrado  
D. U. S.  
DIRECCIÓN DE LA SECCIÓN DE POSGRADO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS  
SECCIÓN DE POSGRADO

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN  
INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA CON MENCIÓN  
EN DOCENCIA UNIVERSITARIA**

Siendo las *12:00 horas* del día Viernes diez y ocho de Noviembre del dos mil Once, en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional del Callao, se reunió el Jurado Examinador conformado por los siguientes docentes:

<b>Dr. GENARO SIU ROJAS</b>	<b>Presidente</b>
<b>Mg. MARIA TERESA VALDERRAMA ROJAS</b>	<b>Secretario</b>
<b>Dr. COLONIBOL TORRES BARDALES</b>	<b>Miembro</b>
<b>Mg. JOSÉ CORBERA CUBAS</b>	<b>Miembro</b>

Con el fin de evaluar la sustentación de Tesis del **Ing. MAXIMO FIDEL BACA NEGLIA**, Intitulada: **"TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DOMESTICOS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL RIEGO DE AREAS VERDES EN EL DISTRITO DE SAN JUAN DE MARCONA"**. Con el quórum establecido según el correspondiente reglamento de Estudios de Maestría de la Universidad Nacional del Callao (Resolución de Consejo Universitario N° 081-CU del 29 de abril del 2011), vigente y luego de la exposición del sustentante, los Miembros del Jurado hicieron las respectivas preguntas, las mismas que:

*..... fueron absueltas satisfactoriamente*

En consecuencia, este Jurado acordó *..... por unanimidad Aprobar con 17*  
La tesis, para optar el **GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA UNIVERSITARIA** con mención en **DOCENCIA UNIVERSITARIA**, conforme al artículo (30° inc. b) del reglamento mencionado, del **Ing. MAXIMO FIDEL BACA NEGLIA**, con lo que se dio por terminado el Acto, siendo las ..... del mismo día.

Bellavista 18 de Noviembre del 2011.

*[Signature]*  
.....  
Dr. GENARO SIU ROJAS  
Presidente

*[Signature]*  
.....  
Mg. MARIA T. VALDERRAMA ROJAS  
Secretario

*[Signature]*  
.....  
Dr. COLONIBOL TORRES BARDALES  
Miembro

*[Signature]*  
.....  
Mg. JOSÉ CORBERA CUBAS  
Miembro

**DEDICATORIA:**

A la memoria de mis padres,

Máximo y Dora

Porque sin ellos nada de lo hecho

Pudiera haber sido posible.

## INDICE

PROLOGO	pág. 006
RESUMEN	007
ABSTRACT	008
I.- PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN	009
1.1. Identificación del problema	009
1.2. Formulación de problemas	010
1.3. Objetivos de la investigación	012
1.4. Justificación	012
1.4.1. Por su naturaleza	012
1.4.2. Según su magnitud	013
1.4.3. Por su trascendencia	013
1.4.4. Por su vulnerabilidad	014
1.4.5. Económica y socio – política	014
1.5. Limitaciones y facilidades	015
1.6. Hipótesis de partida	015
II.- MARCO TEORICO	017
2.1. Caracterización de la Aguas Residuales Domésticas	017
2.1.1. Aguas Residuales	017
2.1.2. Contaminación de las Aguas Residuales	017
2.1.3. Aguas residuales domésticas	018
2.2. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales	018
2.2.1. Partículas en Suspensión, (Sólidos Totales)	018
2.2.2. Contenido de microorganismos	019
2.2.3. Contenido Orgánico	019
2.2.4. Contenido de nutrientes	020
2.2.5. pH	020
2.2.6. Cloruros	020
2.2.7. Grasas	021
2.2.8. Alcalinidad	021
2.3. Reutilización de las aguas residuales	021
2.4. Problemática Ambiental	022
2.5. Normas Legales	022
2.5.1. La Constitución Política de 1993	023
2.5.2. Ley General de Aguas – D.S. N°. 17752	023
2.5.3. Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Decreto Legislativo N° 613	024
2.5.4. Código Sanitario – Decreto Ley N° 1705	024
2.5.5. Ley General del Ambiente – Ley N° 28611	025
2.5.6. Decreto N° 003 – 2010 – MINAM	025
2.6. Tratamientos de las aguas residuales	025
2.6.1. Alternativas de tratamiento	026

2.6.1.1. Lagunas de estabilización	026
2.6.1.2. Lagunas Naturales	026
2.6.1.3. Lagunas Aireadas	026
2.6.1.4. Humedales	027
2.7. Humedales Artificiales	027
2.7.1. Tipos de Humedales Artificiales	029
2.7.1.1. Humedales con Flujo Libre, (FL)	029
2.7.1.2. Humedales de Flujo Subsuperficiales, (FS)	029
2.7.1.3. Ventajas de los Humedales de FS respecto a los Humedales de FL	029
2.7.2. Componentes del Humedal	030
2.7.2.1. Plantas	030
2.7.2.2. El suelo y el medio soporte	032
2.7.2.3. Microorganismos	033
2.7.3. Mecanismos de Remoción	034
2.7.3.1. Remoción de la DBO <sub>5</sub>	034
2.7.3.2. Remoción de Sólidos Suspendidos	035
2.7.3.3. Remoción de Nitrógeno	035
2.7.3.4. Remoción del Fósforo	037
2.7.3.5. Remoción de Metales	037
2.7.3.6. Remoción de Patógenos	038
2.8. Sistema de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial, (FS)	039
2.8.1. Descripción del Proceso	039
2.8.2. Localización	039
2.8.3. Recubrimientos	039
2.8.4. Tipos de vegetación	039
2.8.5. Medio del lecho	040
2.8.6. Mecanismos de remoción y transformación de los constituyentes	040
2.9. Consideraciones en el Diseño del Proceso	040
2.9.1. Tiempo de retención para la remoción de la DBO	041
2.9.2. Área superficial requerida	041
2.9.3. Relación de aspecto	042
2.9.4. Carga de Sólidos Suspendido en la zona de entrada	043
2.9.5. Profundidad del medio	043
2.9.6. Tiempo de retención para la remoción de Nitrógeno	044
2.9.7. Consideraciones Hidráulicas	044
2.9.8. Implantación de vegetación	045
2.9.9. Características físicas de los Humedales de FS	046
2.9.9.1. Estructuras de entrada y salida	046
2.9.9.2. Recirculación	046
2.9.9.3. Recubrimiento de los lechos	046
2.10. Descripción de la ciudad de San Juan de Marcona	046
2.10.1. Ubicación y Vías de acceso	046
2.10.2. Descripción del Medio Ambiente Físico	047
2.10.2.1. Clima y Calidad de Aire	047
2.10.2.2. Geología	049
2.10.2.3. Fisiografía y Geomorfología	049
2.10.2.4. Sismicidad	050
2.10.2.5. Suelos	050

2.10.3. Descripción del Medio Ambiente Biológico	051
2.10.4. Uso potencial de las tierras	052
2.10.5. Hidrografía	052
2.10.5.1. Aguas superficiales y subterráneas	053
2.10.5.2. Agua y Desagüe	053
2.10.5.3. Cuerpo Receptor	054
2.10.5.4. Caracterización de las Aguas Residuales	055
2.10.6. Ambiente Humano	056
2.10.7. Perspectivas del desarrollo de San Juan de Marcona	057
<b>III.- METODOLOGIA</b>	<b>059</b>
3.1. Relación entre las variables de la investigación	059
3.2. Tipo de investigación	060
3.3. Diseño de la Investigación	061
3.4. Metodica de cada momento de la investigación	062
3.4.1. Técnicas de recopilación de información	063
3.4.2. Técnicas Estadísticas	063
3.4.2. Técnicas de Laboratorio	064
3.5. Operacionalización de variables	065
3.6. Población y muestra	065
3.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	066
3.7.1. Técnicas de Caracterización de los Desagües	066
3.7.2. Técnicas para las pruebas experimentales	068
3.7.2.1. Cálculo de Diseño del Humedal Piloto	069
3.7.3. Recolección de datos durante las pruebas experimentales	071
3.8. Procedimientos de recolección de datos	072
3.8.1. Actividades de Pre-Muestreo	072
3.8.1.1. Equipos e Instrumentos	072
3.8.1.2. Tipos de Recipientes de Muestreo	073
3.8.1.3. Volumen de Muestra	073
3.8.1.4. Preservante Químico y Solución de Calibración	073
3.8.1.5. Tiempo Máximo de Almacenamiento	073
3.8.1.6. Materiales de Apoyo para Muestreo	074
3.8.1.7. Equipo de Seguridad para el Muestreo	074
3.8.2. Actividades de Muestreo y Recolección de la Muestra	074
3.8.2.1. Toma de Muestra	074
3.8.2.2. Rotulado de las Muestras	074
3.8.2.3. Conservación y Preservación de la Muestra	075
3.8.2.4. Transporte y Almacenamiento	075
3.8.2.5. Precauciones durante el muestreo	075
3.8.2.6. Mediciones in Situ	075
3.8.3. Actividades Post-muestreo	075
3.8.3.1. Calibración de Equipos	075
3.8.3.2. Análisis Químicos	076
3.8.3.3. Garantía de Calidad	076
3.9. Procesamiento estadístico y análisis de datos	076
<b>IV.- RESULTADOS</b>	<b>078</b>
4.1. Resultados parciales.- Validación del Humedal Piloto	078



4.2. Resultados finales	082
4.2.1. Remoción de la DBO <sub>5</sub>	083
4.2.2. Remoción de SST	084
4.2.3. Remoción de los Nitratos	086
4.2.4. Remoción de los Fosfatos	088
4.2.5. Remoción de Metales	090
4.2.6. Remoción de Coliformes Fecales	092
V.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS	095
5.1. Contrastación de hipótesis con los resultados	095
5.1.1. Contrastación de la DBO <sub>5</sub>	095
5.1.2. Contrastación de los SST	098
5.1.3. Contrastación de los Nitratos	101
5.1.4. Contrastación de los Fosfatos	104
5.1.5. Contrastación de los Metales	107
5.1.6. Contrastación de los Coliformes Fecales	110
5.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares	113
5.2.1. Los resultados con respecto a la DBO <sub>5</sub>	113
5.2.2. Los resultados con respecto a los SST	114
5.2.3. Los resultados con respecto a los Nitratos	114
5.2.4. Los resultados con respecto a los Fosfatos	114
5.2.5. Los resultados con respecto a los Metales	115
5.2.6. Los resultados con respecto a los Organismos Patógenos	115
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES	118
REFERENCIALES	120
APENDICE:	124
Cuadro 1.1. Matriz de Consistencia	
Cuadro 1.2. Cobertura del tratamiento de los desagües al 2009	
Cuadro 2.3. Nombre de las estaciones de aforos de los emisores	
Figura 2.4. Vistas panorámicas de la ciudad de San Juan de Marcona	
Figura 2.7. Emisor S - 12, Zona Pescadores – Cuartos Palomares	
Figura 2.8. Emisor S - 12b, Oficinas	
Figura 2.9. Emisor S - 13, Zona Miramar	
Figura 2.10. Emisor S - 14, Playa Hermosa	
Figura 2.11. Emisor S - 15, Zona R	
Figura 2.12. Emisor S - 16, Ingreso laguna de Oxidación	
Cuadro 2.4. Valores promedio de los parámetros que caracterizan el efluente doméstico en las emisiones existentes en San Juan de Marcona	
Cuadro 2.5. Población en el Distrito de San Juan de Marcona	
Cuadro 3.6. Determinación de aforos promedio en los emisores existentes	
Cuadro 3.7. Registro de aforos horarios en los emisores existentes	
Cuadro 3.8. Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales	
Cuadro 3.9. Datos para el diseño del Humedal Piloto	
Figura 3.13. Plano de ubicación del Humedal Piloto	

- Figura 3.14. Vistas donde se ubica el Humedal Piloto
- Figura 3.15. Vistas donde se aprecia la construcción del Humedal Piloto
- Figura 3.16. Otras donde apreciamos la construcción del Humedal Piloto
- Figura 3.17. Vistas que apreciamos el material filtrante del Humedal Piloto
- Figura 3.18. Conjunto de vistas que muestran el Humedal Piloto operando
- Cuadro 6. Caudal Promedio y Área requerida para los humedales

**ANEXO:**

136

- Tabla 2.1. Características de las aguas residuales urbanas
- Tabla 2.2. Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual
- Tabla 2.3. Contaminantes y sus efectos potenciales
- Tabla 2.4. Clasificación de los cursos de agua (ley general de aguas, DL N° 17752), Límites Máximos Permisibles de las sustancias potencialmente tóxicas para las 6 clases
- Figura 2.1. Plantas acuáticas comunes
- Tabla 2.5. Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales
- Tabla 2.6. Principales mecanismos de remoción y transformación de los contaminantes en los humedales
- Figura 2.2. Procesos de depuración de los humedales artificiales
- Figura 2.3. Rendimientos de remoción típicos
- Tabla 2.7. Características usuales del medio para los humedales de flujo subsuperficial
- Tabla 2.8. Criterios usuales de diseño y de la calidad del efluente esperado en humedales artificiales de Flujo Subsuperficial
- Tabla 2.9. Comparación del comportamiento de arena, la grava y los filtros de roca que funcionan con diferentes tasas de carga de sólidos suspendidos
- Tabla 2.10. Características típicas del medio en sistemas de humedales de flujo subsuperficial
- Tabla 2.11. Características del periodo anual del 2006 con respecto a Temperatura, Precipitación, Humedad Relativa y Velocidad media del viento
- Figura 2.5. Rosa de Vientos Periodo Junio – Julio – Agosto 2001
- Tabla 2.12. Resultados del Monitoreo de Calidad de Aire.
- Tabla 2.13. Principales aves registradas
- Tabla 2.14. Principales especies ictiológicas
- Tabla 2.15. Resultados Analíticos del Cuerpo Receptor
- Figura 2.6. Vista Satelital donde se aprecia el distrito de San Juan de Marcona y los puntos de descargas o de emisiones
- Cuadro 3.10. Criterio para Recolección, Preservación y Almacenamiento
- Tabla 5.16. Áreas bajo la curva normal
- Tabla 5.17. Remoción total de DBO<sub>5</sub>, observada en humedales de Flujo Supsuperficial

## PROLOGO

El motivo principal por el cual he desarrollado el presente trabajo tesis, fue mi participación como Ingeniero asesor de la Sociedad Civil de San Juan de Marcona, (SJM), durante el periodo de aprobación del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, (PAMA), de la empresa Shougang Hierro Perú S.A.A. por parte del Ministerio de Energía y Minas (MEM), para el Tratamiento de los efluentes domésticos generados en la ciudad de SJM, y no aprovechamiento de las aguas tratadas para el riego de áreas verdes.

La experiencia como profesional y docente de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales (FIARN) de la Universidad Nacional del Callao, a cargo de la asignatura de Diseño de Plantas de Tratamiento y especialista en el tratamiento de Efluentes Industriales y Domésticos, me permitió proponer el método de Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial (HAFS), para tratar los efluentes domésticos, que permita al mismo tiempo, el tratamiento y la reutilización de los efluentes tratados para el riego de áreas verdes y creación de otras más, con lo cual se evitaría derivar las aguas al mar, de modo que no se contribuiría con la Contaminación de la Bahía de San Juan de Marcona.

La importancia relevante de la tesis, es por su aporte, al demostrar que es viable utilizar métodos que imiten la capacidad de la naturaleza, (humedales), para depurar efluentes domésticos, frente a métodos que utilizan altas tecnologías, y que a partir de los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales en el humedal piloto, podamos replicar su aplicación para resolver problemas similares en ciudades carentes de sistemas de tratamiento de efluentes y que una vez tratadas las podamos reutilizar en el riego de áreas verdes, evitando a cambio utilizar como medio de disposición final un curso natural de agua y la contaminación del mismo.

## RESUMEN

La presente Tesis, titulada: **“Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona.”**, nos permitió demostrar la capacidad remocional de los Humedales Artificiales, frente a los efluentes domésticos, que se generan en el distrito de San Juan de Marcona, (SJM), que por analogía se puede replicar en otras problemáticas similares, es decir de disposición final de los desagües y su reutilización para el riego de áreas verdes.

Esta aplicación, se justifica aún más cuando el agua es escasa y cara, como en el caso de la ciudad de SJM, que muestra una ciudad de aspecto árido, carente de áreas verdes, debido a no contar con suficientes fuentes de agua dulce, para cubrir las necesidades de agua potable, el agua es traída de pozos ubicados a 30 km. de distancia. Mientras los efluentes domésticos crudos, (caudal de 69.605 L/s), son conducidas a través de seis emisores, de los cuales cinco de ellos se disponen al mar sin ningún tratamiento contribuyendo con la Contaminación Ambiental de la Bahía de SJM, y uno de ellos se descarga a unas lagunas de oxidación las mismas que no cuentan con capacidad (10 L/s) y adolecen de mantenimiento, causando problemas de salubridad.

Para demostrar la hipótesis de investigación, hubo la necesidad de construir un Humedal piloto, el mismo que previamente fue validado para utilizarse en las pruebas experimentales, esta unidad se construyó y operó en las instalaciones de la Universidad Nacional del Callao, utilizándose los efluentes generados en la ciudad universitaria, en razón, de que por sus características estos son similares a los domésticos.

Durante las pruebas de evaluación, para el caso de la  $DBO_5$  se obtuvo una remoción del orden de 90.71%, (salida 13 mg/L), los SST removidos alcanzaron una remoción de 90.90%, (salida 10.7mg/L), los Nitratos removidos alcanzaron el 50.06%, (salida 8.0 mg/L), mientras los Fosfatos removidos fueron del orden de 94.50%, (salida 0.50 mg/L), para el caso del Hierro se removió 90.30%, logrando un residual en el efluente de 0.6 mg/L, la remoción de los organismos patógenos, caso de los Coliformes Fecales alcanzo una remoción del orden de 99.99%, en todos los casos se cumplió con las

exigencias de los Límites Máximos Permisibles de la Clase III, de agua para su reutilización en el riego de áreas verdes.

## **ABSTRACT**

The present thesis, entitled: "Treatment of domestic effluents using artificial wetlands for irrigation of green areas in the District of San Juan of Marcona.", allowed us to demonstrate removal of the artificial wetlands, versus domestic effluents, generated in the District of San Juan of Marcona, (SJM), by analogy can be replicated in other similar problems i.e. final disposition of sewers and reuse for irrigation of green areas. This application is even more justified where water is scarce and expensive, as in the case of the city of SJM, showing a city green areas, arid, lacking aspect due to not having enough supply fresh water, the existing needs of drinking water is brought from wells located 30 km away.. While unbleached domestic effluents, (69.605 L/s flow), are conducted in six issuers, of which five of them have sea without any treatment, contributing to the environmental pollution in the Bay of SJM, and they download a few gaps of oxidation which do not have capacity (10 L/s) and lack of maintenance, causing health problems. To demonstrate research hypothesis, there was the need to build a pilot wetland, the same that was previously validated for use in the pilot tests, this unit is built and operated in the facilities of the National University of Callao, using effluents generated in University, city in reason, that by their characteristics are similar to the domestic. During tests, in the case of the BOD<sub>5</sub> obtained a removal order 90.71% (exit 13 mg/L), removed Total Suspended Solids reached a removal of 90.90%, (exit 10.7mg/L), removed Nitrates reached the 50.06% (output 8.0 mg/L), while the removed Phosphates were the order of 94.50%, (output 0.50 mg/L), 90.30 is removed in the case of Fierro %, making a residual in the effluent of 0.6 mg/L, the removal of pathogenic organisms, the Fecal Coliforms case reached a clearance, order of 99.99%, in all cases met the requirements of the Limits Permisibles Maximums of class III, water for reuse in irrigation of green areas.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN

**1.1. Identificación del problema.-** Shougang Hierro Perú S.A.A. (en adelante SHP), empresa minera dedicada a la explotación, procesamiento y comercialización de mineral de hierro, viene explotando desde Agosto de 1992 en que adquirió la concepción de los yacimientos de Hierro que fueran antes explotados por Hierro Perú (ex Marcona Mining Company, empresa Norteamericana a cargo de la explotación de los yacimientos desde su fundación en el año 1953 hasta el año 1975 que es Nacionalizada), se ubica en el distrito de Marcona, y es en cumplimiento con la ejecución del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), que SHP tiene la obligación legal de tratar los desagües domésticos generados en la Ciudad de San Juan de Marcona (Ex Campamento Minero), capital del distrito de Marcona, provincia de Nazca, departamento de Ica, como consecuencia de ello presentó su Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del campamento de San Juan de Marcona (SJM), utilizando la técnica del Lagunas Aireadas, con disposición final de las descargas de efluentes tratados en la playa o balneario más próxima a la ciudad, considerando un emisor de solo 20 metros, es decir que los efluentes tratados estarían prácticamente en la orilla con el consiguiente malestar para los usuarios veraneantes que hacen uso de este balneario en la temporada de playas (verano) y para los pescadores artesanales. Por esta situación al proyectarse la ubicación de la planta de tratamiento en una zona próxima a la playa y descargar las aguas tratadas, en la misma, aleja la posibilidad de reutilizar el agua tratada con fines de riego para áreas verdes. El autor de la presente Tesis, Ingeniero asesor de la Sociedad Civil de SJM propuso durante el periodo de aprobación del PAMA por parte del Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Tratamiento de los desagües por el método de Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial (HAFS) que permita al mismo tiempo, el tratamiento y la reutilización de los efluentes tratados para el riego de áreas verdes y creación de otras más, con lo cual se evitará derivar las aguas al mar.

Para el presente tema de investigación, se tomo como base la Ley General de Aguas que clasifica las Aguas para su uso (específicamente la clase III que permite su uso para riego de áreas verdes) entre otras y las consideraciones técnicas de diseño, referido a un sistema de tratamiento del tipo de HAFS de aguas residuales.

Estos sistemas de tratamiento por HAFS beneficiarán a toda la población de SJM y sus alrededores puesto que el sistema existente de descarga al mar, presenta serios riesgos para la salud de la población, y como plan de trabajo de investigación se ha elaborado el Cuadro 1.1 "Matriz de Consistencia" que se presenta en el apéndice.

**1.2. Formulación del problema.-** El problema del que se ocupa la presente Tesis, en su aspecto general, se halla dentro de la Contaminación Ambiental, (CA), originada por el ser humano.

La acción del hombre sobre la naturaleza con el afán de satisfacer sus necesidades es decir buscar su bien - estar, ha logrado Impactar al Medio Ambiente es decir generar CA, la misma que se ha venido incrementado con una mayor dinámica a partir de la mitad del siglo pasado, esta dinámica de interacción de la naturaleza con la esfera económica y cultural de nuestra sociedad, es un proceso dinámico que cuenta con muchas variables que lamentablemente no han logrado su control, a pesar de que la Organización de las Naciones Unidas (ONU), busca lograr el "**desarrollo sostenible**". Este concepto quiere decir el hecho de lograr el mayor desarrollo de los pueblos sin poner en peligro el medio ambiente. Para ello se creó, en 1972, el Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio ambiente, (PNUMA), que se encarga de promover actividades medioambientales y crear conciencia entre la población sobre la importancia de cuidar el medio ambiente.

La sociedad tiene que darse cuenta, que mientras la ciencia que se nutre de la investigación, no logre aún definir, medir y controlar, por lo menos los más importantes parámetros de control o de interrelación, el destino de nuestro Medio Ambiente debido a la CA resulta cada día más incierto.

Obviamente, conscientes de esta problemática, una creciente mayoría de la población ligada a la clase científica está buscando rápidas soluciones, lamentablemente muchas de estas propuestas e iniciativas no son aplicadas en la magnitud del impacto y con la prontitud que esta requiere, los componentes básicos del medio ambiente, a decir de los suelos, el aire y las aguas se encuentran a merced del hombre, las aguas sean estas de un lago, río o mar son utilizadas como medio de disposición final de los efluentes líquidos generados por las actividades del hombre, sufriendo el impacto y generando por ello la CA de este importante componente que contiene vida de gran diversidad biológica.

Una forma de remediar esta situación última es aplicar los métodos de mitigación y/o remediación que el propio hombre ha desarrollado o que inclusive la naturaleza misma nos permite conocer de ella misma, al proponernos desarrollar investigaciones de mitigación y/o de disposición final de los efluentes contribuiremos con la reducción de la CA para el beneficio del desarrollo de la sociedad.

Es una práctica común en nuestro país utilizar los cursos naturales de aguas para la disposición final de los desagües domésticos, contaminando estos cursos causando más de una vez la reducción de la vida marina con el consiguiente impacto ambiental que ello representa, peor aún cuando el recurso hídrico es escaso y este no es aprovechado racionalmente de tal manera que se apliquen las técnicas pertinentes para reutilizar los desagües una vez que estos sean tratados y acondicionados a la calidad para su uso en el riego, o de disposición final y eliminar el impacto.

El tratamiento de los desagües domésticos para su disposición final en nuestro país, no alcanza aun su totalidad, si bien es cierto existen en las ciudades importantes del país plantas de tratamiento estas no cuentan con la capacidad suficiente.

En el Cuadro 1.2. "Cobertura del tratamiento de los desagües al 2009", que se muestra en el apéndice, nos permite mostrar la situación de cobertura con respecto al tratamiento de desagües al 2009, situación



que se mantiene prácticamente en la actualidad dado que no se han inaugurado obras de importancia en nuestro país desde el año 2009 a la fecha, (Junio 2010).

Por ello la presente tesis titulada: **“Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona.”**, recoge el problema de disposición final de los desagües generados en la ciudad de SJM y propone una solución a la problemática existente.

**¿Será el sistema de humedales artificiales el más adecuado de los tratamientos de los efluentes domésticos del distrito SJM para su utilización como agua de riego y que eviten la contaminación de su Bahía?**

### **1.3. Objetivos de la investigación.-**

El **Objetivo General** trazado en mi trabajo tesis se refirió:

Contribuir con la solución de disposición final de los efluentes domésticos que generan Contaminación Ambiental de la Bahía de San Juan de Marcona.

Mientras los **Objetivos Específicos** se refirieron a:

- Caracterizar los efluentes domésticos generados en la ciudad de San Juan de Marcona.
- Diseñar un modelo piloto de humedal sub superficiales, para las pruebas experimentales de remoción de contaminantes.
- Demostrar que el tratamiento de los efluentes doméstico mediante el sistema de humedales sub superficiales es eficiente.

### **1.4. Justificación.-** El presente proyecto de investigación, se justificó en base a los siguientes argumentos:

**1.4.1. Por su naturaleza.-** el tema central está conectado con los siguientes sub temas:

- Caracterización de los efluentes domésticos desde el punto de vista Químico, Físico Químico y Bacteriológico.

- Aforo de efluentes producidos, se requerirá efectuar la medición de los caudales que se generan en los diferentes sectores de la ciudad.
- Humedales Artificiales, la naturaleza propia del sistema de tratamiento por el método de humedales está constituida de componentes paisajistas que generan ecosistemas y un impacto visual positivo, asimismo, esto permite mediante un aprovechamiento sostenible de sus recursos, desarrollar actividades de eco negocio (lo que permite su propia sostenibilidad).
- Control de Calidad de los Efluentes, la importancia del presente tema de investigación radica principalmente en la reutilización de las aguas tratadas mediante el método de humedales artificiales para ser usados en el riego de áreas verdes repercutiendo así en el mejoramiento de las condiciones ambientales y paisajistas de las que carece en la actualidad la localidad de SJM.
- Clasificación de las aguas y pruebas en plantas piloto.

Todos los sub temas necesitan ser tratados con profundidad, por lo que determinamos que es un tema de tipo Compuesto.

#### **1.4.2. Según su magnitud.-**

- El distrito de Marcona en la actualidad cuenta con una población de 12,000 habitantes cuyo riesgo de contraer enfermedades por efecto de las aguas residuales que se disponen sin previo tratamiento en la zona costera se incrementa ostensiblemente con el tiempo.
- La construcción de la carretera Interoceánica considera la implementación de un Mega Puerto en la localidad de SJM lo que permitirá un flujo de turistas y actividades económicas conexas que necesariamente ha de exigir a SJM que presente un entorno ambiental agradable.

#### **1.4.3. Por su trascendencia.-**

- Paralelamente, hoy en día, los efluentes tratados para su reutilización en el uso de áreas verdes es una práctica que ha tomado en cuenta el actual gobierno y por ello se encuentra dentro de los lineamientos de política ambiental de los Gobiernos Regionales,

Nacionales y Municipales, así como de Organismo de Financiamiento Internacionales que apoyan el desarrollo sostenible.

- Este sistema de tratamiento podría ser replicado en zonas contaminadas por los propios desagües y deficientes de recursos hídricos, pudiéndose adoptar el método con el fin de reutilizarlos en actividades de revegetación y mejoramiento del ornato público.

#### **1.4.4. Por su vulnerabilidad.-**

- Por las condiciones que presenta el problema es posible su investigación, dado que conocemos sus causas y las consecuencias que acarrearía de no corregirse o tomar medidas de mitigación, por ello se plantea el presente trabajo de investigación.

#### **1.4.5. Económica y socio – política.-**

- Los vegetales utilizados en los humedales (carrizos, cañas, papiros o totoras entre otros) podrían servir como materia prima para la fabricación de artesanías, generando fuentes de trabajo para el mantenimiento de los propios humedales y el aprovechamiento del material vegetal cosechado por requerimiento de poda, por lo que se conseguirá la sostenibilidad del proyecto, reduciendo la pobreza de un sector de la población que le daría valor agregado a estos materiales generando trabajos de artesanías.

- El entorno paisajista que se conseguirá al implementarse los sistemas de humedales, contribuirán a realzar el ambiente natural y mejoramiento del propio medio ambiente que permitirá la recepción de los habitantes y del flujo de turistas para cuando entre en servicio el ramal de la vía interoceánica en actual construcción al mismo tiempo que considera la implementación del Mega Puerto en la localidad de SJM entre otras industrias pronto a instalarse como las del tipo petroquímicas.

### **1.5. Limitaciones y facilidades.-**

Las limitaciones fueron de falta de un local apropiado para la construcción del humedal piloto, inicialmente cuando se iniciaron las coordinaciones de apoyo a la Sociedad Civil de SJM se tuvo el compromiso del Monseñor Julio Saldaña, párroco de la Iglesia, quien en todo momento apoyo nuestra iniciativa, dando inclusive el hospedaje y alimentos durante todas las visitas a la ciudad de SJM, lamentablemente por presiones de carácter político el Padre Julio Saldaña fue removido a otra ciudad del interior del país, y su remplazo lamentablemente no apoyo como lo hubiésemos querido, situación que nos obligó a construir el humedal piloto en los jardines de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, situación esta última que facilitó nuestro trabajo Tesis dado que las efluentes tratados tenían características muy similares a los efluentes de la ciudad de SJM es decir del tipo doméstico.

Durante la etapa revisión de documentación contamos con el apoyo del propio Gerente General de SHP, Ing. Raúl Vera La Torre quien sin embargo había contratado a las Cías. Consultora Ecoproject a cargo del Diseño de la Planta de Tratamiento de los efluentes domésticos de SJM constituida por lagunas aireadas y la Consultora Vector Perú S.A.C. (Vector) para que desarrolle el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyectos de las Plantas de Tratamiento propuesto por Ecoproject. Así mismo nos facilitó la toma de muestras y mediciones de aforo realizado a nivel de cada uno de los emisores, no obstante ello, solo apoyó parcialmente la posibilidad de tratar los efluentes a través del Sistema de Tratamiento Humedales Artificiales de Flujo Sub superficial.

### **1.6. Hipótesis de partida.-**

**“Los efluentes domésticos generados en el distrito de San Juan de Marcona al ser tratados por el sistema de humedales artificiales de flujo sub superficiales cumplirán con los Límites Máximos Permisibles y podrán utilizarse como aguas de riego”.**

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, fue necesario su operacionalización, determinado por ello las variables y los indicadores que a continuación se mencionan:

**Variable Independiente: X =** Sistema de tratamiento mediante humedales artificiales sub superficiales.

**Indicadores:**

- Características del Sistema Tratamiento

Caudal. ( $M^3/seg$ )	$X_1$
Tiempo de Retención, días (d)	$X_2$
Área Superficial, ( $m^2$ )	$X_3$
Altura del lecho, (H)	$X_4$
Relación de aspecto, ( $R_A$ )	$X_5$

**Variable Dependiente: Y =** Calidad de los efluentes domésticos

**Indicadores:**

- Concentración de componentes físicos químicos:

Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )	$Y_1$
Sólidos Sedimentables Totales (SST)	$Y_2$
Nitratos ( $NO_3^-$ )	$Y_3$
Fosfatos ( $PO_4^{-3}$ )	$Y_4$
Hierro (Fe)	$Y_5$

- Existencia de Coliformes Fecales  $Y_6$

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### **2.1. Caracterización de las Aguas Residuales Domésticas.-**

##### **2.1.1. 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, (22).

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).

##### **2.1.2. 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 ( $DBO_5$ , 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, proteínas, pesticidas, agentes tensoactivos, alcalinidad, cloruros, metales pesados, nitrógeno, fósforo, sulfuro de hidrógeno, oxígeno, microorganismos, bacterias, virus, etc.

### **2.1.3. Aguas residuales domésticas.-**

Son aguas procedentes de los vertidos de las actividades humanas. Su composición es muy variable dependiendo del uso que se le dé, 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.

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

**2.1.2. 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.

**2.2.2. Contenido de 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.

**2.2.3. 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, (DBO<sub>5</sub>).**- 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 DBO<sub>5</sub> a los 5 días y a 20 °C (DBO<sub>5</sub>), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub> 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.

#### **2.2.4. 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).

**2.2.5. 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.

**2.2.6. 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.

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

**2.2.8. 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 2.1 "Características de las aguas residuales urbanas", ver anexo, se pueden observar las características mínimas y suficientes para definir un vertido urbano, además podemos apreciar la Tabla 2.2 "Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes y presentes en el agua residual", ver anexos.

**2.3. Reutilización de las aguas residuales.-** La reutilización de aguas en riegos 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 utilizado, (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.

**2.4. 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.

El volumen creciente de residuos orgánicos y químicos que potencialmente entran en la red de aguas superficiales, cuyo reuso sin tratamiento alguno, genera problemas de contaminación ambiental, afectando la salud de la población. Ver en anexo la Tabla 2.3 "Contaminantes y sus efectos potenciales".

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

**2.5. Normas Legales.-** El reuso 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.S. N° 17752), D.S. 261-69-A
- Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Decreto Legislativo N° 613.
- Código Sanitario, establecido por el Decreto Ley N° 1705.
- Ley General del Ambiente - Ley N° 28611.

➤ Decreto N° 003 – 2010 – MINAM.

### **2.5.1. 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 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 está 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.

**2.5.2. Ley General de Aguas – D.S. N° 17752.-** Promulgada a través del 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 2.4. "Clasificación de los cursos de agua (ley general de aguas, DL N° 17752), Límites Máximos Permisibles de las sustancias potencialmente tóxicas para las 6 clases".

**2.5.3. 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 u otras formas de materia o de energía que alteren las aguas en proporción capaz de hacer peligrosa su utilización, la autoridad competente debe 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.

**2.5.4. Código Sanitario – Decreto Ley N° 1705.-** El código Sanitario fue establecido por el Decreto Ley N° 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 para 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.

**2.5.5. Ley General del Ambiente - Ley N° 28611.-** En su artículo 32 numeral 32.1 define al Límite Máximo Permisible –LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

**2.5.6. Decreto N° 003 – 2010 – MINAM.-** Decreta en su artículo 1º Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR).

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

**2.6. 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.

**2.6.1. 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.

**2.6.1.1. 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.

**2.6.1.2. 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.

**2.6.1.3. 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.

**2.6.1.4. 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, eneas 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 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 ácidos de minas, lixiviado de relleno de tierra y desagüe urbano, (22).

**2.7. Humedales Artificiales.-** Los humedales artificiales, son humedales contruidos 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 microbiana, (33), (6).



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; Gersberg et al 1986; Gersberg et al, 1989; Gearheart et al 1989. (33).

El estudio realizado sobre la descontaminación de aguas utilizando la *Schoenoplectus Tatora* (TOTORA) demuestra que este sistema de tratamiento da buenos resultados en la purificación de aguas contaminadas inclusive con metales pesados (SALM H, *SCHOENOPLECTUS Tatora* (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 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.

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

**2.7.1.1. 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.

**2.7.1.2. Humedales de Flujo Subsuperficial, (FS).-** Los humedales de 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.

**2.7.1.3. Ventajas de los Humedales de FS respecto a los Humedales de FL.-** En los humedales con FS el medio poroso 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 nevadas, (26). Sin embargo, a pesar de todas las ventajas antes expuestas hay que señalar que los humedales de FS tienen como desventajas el costo del medio soporte utilizado, así como su traslado y colocación.

**2.7.2. 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:

**2.7.2.1. 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 más 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 la Figura 2.1. "Plantas acuáticas comunes" y la Tabla 2.5. "Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales", en anexos.

Las plantas presentan varias propiedades que las hacen ser un componente indispensable en los humedales construidos. La función de mayor importancia de las macrófitas en relación con el proceso de tratamiento de las aguas residuales es el efecto físico que ellas producen en 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 urbano, (21).

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 hallan 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 hacía 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<sup>2</sup> 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 estacionales, (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 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 en estos sistemas es preponderante, que las raíces penetren 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 humedal, (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 la presencia de plantas limitan, además, la penetración de la luz y evitan el crecimiento de las algas.

**2.7.2.2. 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 medio, (26).

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 microorganismos adheridos a la superficie sumergida de las plantas. Los suelos con algún contenido de arcilla son muy efectivos en la remoción de fósforo, ocurriendo el proceso de remoción en la matriz del suelo; sin embargo, se considera

que este proceso tiende a un equilibrio después del primer año de funcionamiento del humedal. Por otra parte, los suelos arcillosos tienen cierta capacidad de intercambio iónico lo que les permite remover, al menos temporalmente, el nitrógeno presente en las aguas residuales en forma de Ion Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), sin embargo, la mayoría de las veces esta capacidad se agota debido a que la superficie de contacto se encuentra bajo agua y las condiciones son anaerobias.

En los sistemas con FS el medio puede ser suelo, arena o grava y los espacios libres del medio sirven como canales para el flujo del agua. Sobre la superficie del medio poroso crece la masa de microorganismos semejante a lo que ocurre en un filtro percolador, sin embargo, se considera que el crecimiento microbiano en estos sistemas no debe provocar obstrucciones como ocurre en los filtros percoladores. En el caso de los humedales con FS Horizontal que emplean suelo presentan un potencial de remoción de fósforo y amonio semejante al reportado en los sistemas con flujo libre. En los sistemas con FS Vertical debido a que el flujo es intermitente las condiciones aerobias se restauran periódicamente y el amonio adsorbido, por el suelo puede liberarse por la vía de la nitrificación bacteriana y los sitios de intercambio quedarían libres para futuras adsorciones. En los sistemas con FS que emplean grava la capacidad de remoción de fósforo es muy limitada.

**2.7.2.3. Microorganismos.-** En los humedales se desarrollan una gran variedad de organismos que abarcan desde microorganismos como bacterias y protozoos hasta pequeños animales; siendo las bacterias el grupo fundamental en el proceso depurador de las aguas residuales. Como se ha explicado anteriormente, los humedales son sistemas de tratamiento biológico de las aguas residuales con biomasa adherida, presentando características semejantes a las de un filtro percolador. Como en todo sistema de tratamiento biológico, en los humedales se requiere de un sustrato para el desarrollo de los microorganismos 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.

**2.7.3. 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.

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 DBO<sub>5</sub>, SST y Organismos Patógeno. Los mecanismos principales de remoción son la conversión biológica, la filtración física y la sedimentación o 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 2.6. "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, así como en la Figura 2.2. "Procesos de depuración de los humedales artificiales", en la figura se pueden apreciar los principales procesos que se llevan a cabo en un humedal y que permiten la depuración del agua residual.

**2.7.3.1. Remoción de la DBO<sub>5</sub>.-** 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.

**2.7.3.2. 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.

**2.7.3.3. Remoción de Nitrógeno.-** El mecanismo fundamental para la remoción del nitrógeno en los humedales es la nitrificación - desnitrificación; la toma por la planta es otra vía, pero se considera que



mientras no haya cosecha de plantas no hay remoción, no obstante, hay autores que señalan que por esta vía solo se logra alrededor del 10% de remoción, (12), (26).

El nitrógeno orgánico que entra al humedal generalmente lo hace en forma de materia orgánica sólida, dicha materia orgánica sufre un proceso de descomposición denominado amonificación, mediante el cual el nitrógeno orgánico es transformado a amonio por una amplia variedad de bacterias heterótrofas las cuales pueden encontrarse en condiciones aerobias o anaerobias, el proceso es más lento bajo condiciones anaerobias. Este amonio liberado, así como el que contienen las aguas residuales puede encontrarse en dos formas relacionadas: como ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o como gas amoniaco disuelto ( $\text{NH}_3$ ), el balance entre estas dos formas depende del pH y de la temperatura.

El proceso de nitrificación se efectúa en dos etapas y mediante dos grupos de bacterias. La primera etapa es la oxidación del amonio a nitrito, dicho proceso es llevado a cabo, fundamentalmente, por bacterias del género *Nitrosomonas*, la oxidación posterior de nitrito a nitrato la realiza las bacterias del género *Nitrobacter*. La nitrificación solo ocurre bajo condiciones aerobias, pudiendo ocurrir a concentraciones de oxígeno tan bajas como 0,3 mg/L, (26).

Otros factores que son esenciales para que ocurra la nitrificación es que: haya suficiente alcalinidad, una temperatura adecuada y una concentración de materia orgánica por debajo de 20 mg/L, esto último se debe a que es necesario que las bacterias heterótrofas no compitan con las bacterias nitrificantes por el oxígeno. En los humedales se ha comprobado que la nitrificación es limitada por la cantidad de oxígeno, teóricamente se requieren 4,6 g de oxígeno para oxidar 1 g de amonio. En el caso de los humedales construidos la cantidad de oxígeno utilizable está directamente relacionado con la aireación atmosférica para los humedales con flujo libre, y con la extensión en la penetración y la eficiencia en la transferencia del oxígeno por las raíces de las plantas, para el caso de los humedales con FS.

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.

**2.7.3.4. 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, gran cantidad de plantas mueren, 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  $\text{Fe}^{+3}$  se une al fosfato para formar un complejo estable; sin embargo, si el suelo se vuelve anaerobio como resultado de estar inundado, el  $\text{Fe}^{+3}$  se reducirá a  $\text{Fe}^{+2}$  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 solo 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.

**2.7.3.5. 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 se lleven a cabo. 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 *Schoenoplectus Tatora* (TOTORA) demuestra que este sistema de tratamiento da buenos resultados en la purificación de aguas contaminadas metales pesados, (33).

**2.7.3.6. 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 de soporte la grava fina de río los, Coliformes fecales se han reducido de  $8 \times 10^4$  NMP /100 ml a 10 NM/100 ml de media.

En la Figura 2.3. "Rendimientos de remoción típicos", que se incluye en el anexo, se observan 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 en forma significativa los SS, la  $DBO_5$ , 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.

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

**2.8.1. 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.

**2.8.2. 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.

**2.8.3. 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, (23).

**2.8.4. 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, (5).

Las raíces también liberan sustancias orgánicas a medida que se degradan, lo cual sostiene la desnitrificación. La parte de la vegetación ubicada por encima del suelo no es de gran utilidad, salvo porque allí hay toma de nutrientes y crecimiento vegetal.

**2.8.5. 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 2.7. "Características usuales del medio para los humedales de flujo subsuperficial" que se muestra en anexos, se presentan medios característicos para los humedales FS.

**2.8.6. Mecanismos de remoción y transformación de los constituyentes.-** Tal como ocurre con los humedales de FL, se puede esperar que los humedales de FS produzcan un efluente de alta calidad en términos de DBO<sub>5</sub>, SST, Nitratos, Fosfatos, Metales y Organismos Patógenos, (Coliformes fecales y otros). Los mecanismos principales de remoción son la conversión biológica, la filtración física acompañada de la sedimentación o también la precipitación química conjuntamente con la adsorción. La remoción depende del tiempo de retención, las características del medio, las tasas de la carga y las prácticas de manejo, (similares a los descritos en el ítem 2.7.3. "Mecanismos de Remoción").

**2.9. 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 2.8 "Criterios usuales de diseño y de la calidad del efluente esperado en humedales artificiales de Flujo Sub superficial", que se muestra en el anexo, se presentan criterios representativos del

diseño del proceso, del cual más adelante ilustraremos su procedimiento de cálculo.

**2.9.1. Tiempo de retención para la remoción de la 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<sup>-1</sup>. 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 DBO<sub>5</sub>.

**2.9.2. 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<sub>prom</sub> : Caudal promedio diario a través del humedal, M gal/d.

A<sub>s</sub> : Área superficial

H : Relación de espacio vacío respecto al número de plantas, en general 0.65 a 0.75.

d<sub>w</sub> : Profundidad en metros.

t : Tiempo de retención en días.

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

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

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

$$W = \left( \frac{A}{R_A} \right)^{1/2}$$

Donde:

W : Ancho del humedal de flujo libre, (pies) m

A : Área del humedal

R<sub>A</sub> : 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 necesitara 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:

$$A = (d_w W) = \frac{Q}{kS}$$

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, pie<sup>3</sup>/d (m<sup>3</sup>/d)

K : Conductividad hidráulica, de acuerdo con la tabla que hace referencia el titulo 2.8.5, (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. 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.

**2.9.4. Carga de Sólidos Suspendidos en la zona de entrada.-** Si se utiliza una relación de aspecto mayor que 4:1, la carga de sólidos del afluente puede ser motivo de preocupación. Para evitar el atascamiento de la zona de entrada con sólidos suspendidos, los valores de la carga de sólidos en entrada deben verificarse. Aunque en Estados Unidos no se han establecido límites para la carga o sólidos suspendidos, la experiencia en Australia ha llevado a la recomendación de que el límite de SST en la zona de entrada no debe exceder 0.008 lb/pie<sup>3</sup>d (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:

$$L_{SSR} = \frac{\text{Carga másica del constituyente, } lb/d}{\text{área de la sección transversal de la zona de entrada, } (w.d_m \cdot pie^2)}$$

En el Anexo se muestra la Tabla 2.9. "Comparación del comportamiento de arena, la grava y los filtros de roca que funcionan con diferentes tasas de carga de sólidos suspendidos", se compara la experiencia del atascamiento del suelo como función del tamaño del medio.

**2.9.5. 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.

**2.9.6. Tiempo de retención para la remoción de Nitrógeno.-** Algunos sistemas de FS han sido diseñados para retirar amonio, con el problema 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 amonio, (4).

$$A = \frac{Q(\ln N_0 - \ln N_e)}{k(dw\eta F)}$$

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, pie<sup>3</sup>/d, (m<sup>3</sup>/d)

N<sub>0</sub> : Concentración de NH<sub>4</sub>-N en el afluente, mg/L

N<sub>e</sub> : Concentración de NH<sub>4</sub>-N en el efluente, mg/L

K : Constante de velocidad de primer orden dependiente de la temperatura, d<sup>-1</sup>. (0.107 d<sup>-1</sup> a 20°C)

d<sub>w</sub> : 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 pie<sup>2</sup>/ac (10,000 m<sup>2</sup>/ha)

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

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

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

$$A = (d_w W) = \frac{Q}{kS}$$

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, pie<sup>3</sup> /d (m<sup>3</sup>/d)
- $K_s$  : Conductividad hidráulica, (de acuerdo con la tabla que hace referencia el título 2.8.5), (m/d), ó de acuerdo con la tabla 2.10. Características típicas del medio en sistemas de flujo subsuperficial, tabla que se incluye en anexos.
- 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. Para lechos con pendiente, se debe utilizar la pendiente del fondo, la cual puede variar de 0 a 1 por ciento o más. Cuando se usa un lecho plano y el gradiente se controla con un vertedero para el rebose, se debe utilizar 0.001 para S.

**2.9.8. 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 eneas y cada 1.5 pies (0.5 m<sup>2</sup>) para juncos y carrizos, (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.

**2.9.9. Características físicas de los Humedales de FS.-** 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.

**2.9.9.1. 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 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.

**2.9.9.2. Recirculación.-** En los sistemas FS se puede incorporar la capacidad de recircular el efluente tratado con el fin de diluir la concentración del afluyente, 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.

**2.9.9.3. 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, (22). Es común el uso de una membrana de superficie suave de plástico de 30 milésimas de pulgada, (24).

## **2.10. Descripción de la ciudad San Juan de Marcona.**

**2.10.1. Ubicación y Vías de acceso.-** La zona de estudio es la Ciudad de San Juan de Marcona (SJM), Capital del Distrito de Marcona, se

localiza 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 de investigación son las coordenadas 482,420.80 E y 8'300,773.21 N. En la Figura 2.4. "Vistas panorámicas de la ciudad de San Juan de Marcona", que se muestra en el apéndice, se puede apreciar la ciudad con escasas áreas verdes.

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.

De	A	Distancia	Tiempo estimado	Tipo
Lima	Nazca	445 km.	5 ½ horas	Asfaltada
Nazca	Marcona	78 km.	1 hora	Asfaltada

- 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).

De	A	Distancia	Tiempo estimado
Lima	San Juan de Marcona	430 km.	1 hora 10 minutos

## 2.10.2. Descripción del Medio Ambiente Físico.-

**2.10.2.1. Clima y Calidad de Aire.-** El clima de la zona de San Juan de Marcona está 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 los 40 msnm. El clima es templado y el ambiente semi cálido, con temperaturas medias que oscilan entre los 19 y 20 °C. En Anexo se muestra la Tabla 2.11. "Característica del periodo anual del 2006 con respecto a Temperatura, Precipitación, Humedad Relativa, Dirección y velocidad media del viento".

a. **Temperatura.-** La temperatura corresponde a un clima semi cálido, registrándose entre enero y marzo las temperaturas más 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 varía 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%), que se muestran en la Figura 2.5. “Rosa de Vientos Periodo Junio – Julio – Agosto 2001” que se muestra en el Anexo.

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 2.12: "Resultados del Monitoreo de Calidad de aire"

**2.10.2.2. 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.

La totalidad del área proyectada para la construcción de los humedales para el tratamiento de las aguas residuales está compuesta por arcillas bentoníticas 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.

**2.10.2.3. 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 restos de fósiles, fragmentos de minerales de fierro 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.

**2.10.2.4. 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.

**2.10.2.5. Suelos.-** Dentro del área en estudio se tienen suelos derivados a partir de materiales de textura gruesa de origen 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 evaporíticas (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%).

**2.10.3. Descripción del Medio Ambiente Biológico.-** La flora y fauna son propias del área del proyecto, las mismas que 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 2.13. "Principales aves registradas" y Tabla 2.14. "Principales especies ictiológicas".

**2.10.4. 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. 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 de 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.

**2.10.5. 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 Choclón, San Nicolás, 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 Lucía, en Tinco, registra una descarga media anual de 0.362 m<sup>3</sup>/seg.

**2.10.5.1. 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.

**2.10.5.2. 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 Túpac 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 aprovisionarse 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 todavía no es efectivo debido a que no se ha 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, (AAHH de SJB ) 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, situación que crea un problema, los vecinos a estas pozas se quejan de que éstas 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, lo cual pudimos constatar.

**2.10.5.3. Cuerpo Receptor.-** El cuerpo receptor es el Océano Pacífico 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 2.15 "Resultados Analíticos del Cuerpo Receptor", elaborado por la Oficina de Medio Ambiente de SHP SAA, presenta los resultados del monitoreo trimestral de la calidad del cuerpo receptor, realizado

durante el año 2009, en el punto de control ubicado entre las bahías de San Juan y San Nicolás.

Los límites máximos permisibles a los que se hace referencia en la tabla, 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).

**2.10.5.4. Caracterización de las Aguas Residuales.-** Durante la visita que se efectuó a la ciudad de SJM se constataron y observaron seis (06) puntos de descarga de efluentes domésticos, 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 las lagunas de estabilización. Ver en el apéndice el Cuadro 2.3. "Nombre de las estaciones de aforos de los emisores", en el anexo Figura 2.6. "Vista Satelital donde se aprecia el distrito de San Juan de Marcona y los puntos de descarga o de emisiones. Podemos apreciar en los diferentes emisores y puntos de aforos en la secuencias de figuras que se muestran en el apéndice, con la siguiente denominación: Figura 2.7. "Emisor, Zona Pescadores – Cuartos Palomares"; Figura 2.8. "Emisor S – 12b, Oficinas"; Figura 2.9. "Emisor S – 13, Zona Miramar"; Figura 2.10. "Emisor S – 14, Playa Hermosa"; Figura 2.11. "Emisor S – 15, Zona R"; y Figura 2.12 "Emisor S – 16, Ingreso laguna de Oxidación".

El consumo medido por persona fue de 600 L/persona x día, cuatro veces los valores típicos de 150 L/persona x día para comunidades rurales y dos veces el promedio en la ciudad de Lima (300 L/persona x 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 Agosto de 2008, salinidad alcanza un valor máximo de 2.5%.

Si bien la salinidad del agua podría influenciar en la habilidad de tratar las aguas, también es cierto que los microorganismos presentes en los efluentes domésticos tienen como característica adaptarse al medio en el que se desarrollan.

El EIA, que se efectuó con motivo del proyecto de Lagunas Aireadas que contratara SHOUGANG 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), cuyo valor varía de 1 para agua pura, a un valor de 0.98 para agua de mar.

Por otra 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 se sostiene 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 2.4. "Valores promedio de los diferentes parámetros que caracterizan el efluente doméstico de San Juan de Marcona", ver en el anexo.

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.

**2.10.6. Ambiente Humano.-** 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 ha verificado 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 2.5. "Población de la Ciudad en el Distrito de SJM", ver anexo, 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/seg, (600 L/hab/día), para el caso de agua dulce el abastecimiento es de 46 L/seg, (331 L/hab/día), siendo este último similar a los de Lima y Callao.

#### **2.10.7. Perspectivas del desarrollo 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/seg) 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 percole o se reutilice para riego.

Durante el 2009 el estado peruano declaro a Marcona como zona geográfica para la instalación de industrias petroquímicas al sur del Perú, por lo que a la fecha SHP concesionaria de los terrenos a cedido dos importantes lotes para el desarrollo del Complejo petroquímico, que involucraría la instalación de varias plantas petroquímicas cerca de la ciudad y puerto de Marcona. Las primeras plantas en instalarse serian

las empresas petroquímicas CF Industries de EEUU y Orica Nitratos Perú de Austria. La primera para la fabricación de Fertilizantes, Urea y Amoniaco, mientras la segunda haciendo sinergia con la primera fabricaría Nitrato de Amonio, (Explosivos para la industria Minera).

Como consecuencia de esto se incrementaría el empleo de cientos de trabajadores de la localidad y de la región Ica así como también el desarrollo directo e indirecto a las ciudades y poblaciones en toda el área de influencia del polo petroquímico.

## CAPITULO III

### METODOLOGIA

**3.1. Relación entre las variables de la Investigación.-** La investigación realizada durante el desarrollo de la Tesis fue netamente experimental, en ese sentido existe una relación del tipo Causa – Efecto, por lo que las variables están íntimamente relacionadas, según la relación:

**(Variable Independiente “X” → Variable Dependiente “Y”),**

Dado que durante el experimento una o más variables independientes afectan una o más variables dependientes, específicamente para nuestro trabajo como lo hemos indicado en el Sub capítulo 1.6. Hipótesis de partida, en el cual presentamos los dos tipos de variables con sus respectivos indicadores:

**Variable Independiente: X =** Sistema de tratamiento mediante humedales artificiales sub superficiales.

#### Indicadores:

- Características del Sistema Tratamiento:

Caudal. ( $m^3/seg$ )	$X_1$
Tiempo de Retención, días (d)	$X_2$
Área Superficial, ( $m^2$ )	$X_3$
Altura del lecho, (H)	$X_4$
Relación de aspecto, ( $R_A$ )	$X_5$

**Variable Dependiente: Y =** Calidad de los efluentes domésticos

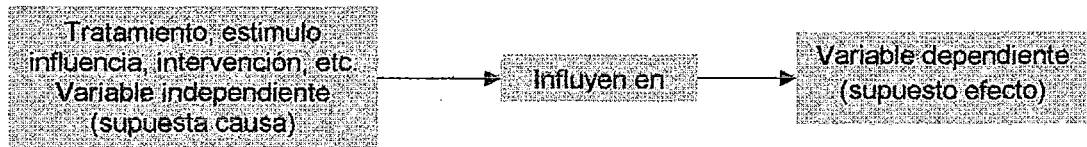
#### Indicadores:

- Concentración de componentes físicos químicos:

Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )	$Y_1$
Sólidos Sedimentables Totales (SST)	$Y_2$
Nitratos ( $NO_3^-$ )	$Y_3$
Fosfatos ( $PO_4^{-3}$ )	$Y_4$
Fierro (Fe)	$Y_5$
• Existencia de Coliformes Fecales	$Y_6$



SAMPIERE (2006) los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control, como lo apreciamos en la figura:



Para el desarrollo del trabajo de Investigación, hubo de construir un Humedal Piloto en el cual se convino en mantener los Indicadores de la Variable Independiente fijos, y como resultado de ello había de demostrarse a la vista de los valores de los indicadores de la Variable Dependiente la caracterización de los efluentes tratados para su reutilización de estas en el riego de áreas verdes, por lo tanto hubo necesidad de medir el valor de la variable dependiente a través de sus indicadores para ver el efecto que tiene la variable independiente sobre ella.

**3.2. Tipos de Investigación.-** Existen muy diversos tratados sobre las tipologías de la investigación, las controversias para aceptar las diferentes tipologías sugieren situaciones confusas en estilos, formas, enfoques y modalidades. En rigor, y desde un punto de vista semántico, los tipos son sistemas definidos para obtener el conocimiento. Algunos autores establecen diversas tipologías, una síntesis de los tipos mostrados por diferentes autores se presentan, con la intención de sistematizar y especificar el tipo de nuestro trabajo de Investigación:

Según las variables:

**Experimental.**  
Cuasi experimental.  
Simple y compleja.

Según la fuente de información: Investigación documental.

**Investigación de Campo.**

Según la extensión del estudio: Investigación censal.

**Investigación de caso.**  
Encuesta

Según el nivel de medición y análisis de la información:

**Investigación cuantitativa.**

Investigación cualitativa.

Investigación cuali-cuantitativa.

Investigación descriptiva. Investigación explicativa.

Según las técnicas de obtención de datos:

Investigación de alta y baja estructuración.

Investigación participante.

**Investigación participativa.**

Investigación proyectiva.

Investigación de alta o baja interferencia.

Según su ubicación temporal: Investigación histórica.

**Investigación longitudinal o transversal**

Investigación dinámica o estática.

Según el objeto de estudio: Investigación pura.

**Investigación aplicada.**

Como lo definiéramos inicialmente nuestro trabajo de investigación fue del tipo experimental, tipología que se deduce a partir de las variables en la que la variable independiente incidirá sobre la variable dependiente (manipulada), la que fuera medida a través de sus indicadores, para ello se sometieron la Muestra problema (efluentes domésticos) al Humedal Piloto, en la que la variable independiente hipotéticamente será una de las causas que generó el supuesto cambio en las variables dependientes en este caso sobre el efluente doméstico, lo que se evidenció al evaluar los valores de sus indicadores durante todas las observaciones realizadas. Las otras tipologías pueden definirse en forma sistematizadas de acuerdo a la clasificación que se muestra, y cuyas tipologías las hemos resaltado en negritas.

**3.3. Diseño de la investigación.-** Una vez que precisáramos el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de nuestra investigación, formulando la hipótesis, procedimos a diseñar nuestra investigación, que nos permita demostrar la hipótesis planteada, además de cubrir los objetivos específicos fijados:

- Caracterizar los efluentes domésticos generados en la ciudad de San Juan de Marcona.

- Diseñar un modelo piloto de humedal sub superficial, para las pruebas experimentales de remoción de contaminantes.
- Demostrar que el tratamiento de los efluentes doméstico mediante el sistema de humedales sub superficiales es eficiente.

En síntesis nuestra investigación del Tipo Experimental dentro de esta tipología que para algunos autores como el caso de Cambell y Stanley (1966), quienes dividen los diseños experimentales en tres clases:

- a) preexperimentos,
- b) experimentos "puros", y
- c) cuasi experimentos.

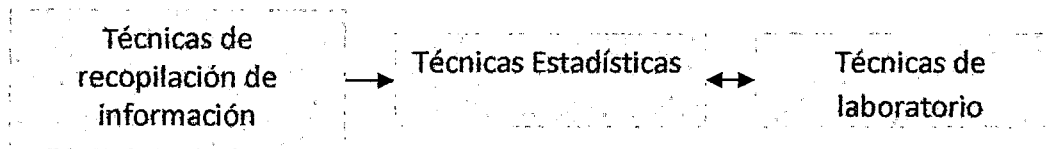
Teniendo como referencia esta clasificación, nuestro trabajo de investigación se encuadra dentro del diseño preexperimental, con preprueba – posprueba, el mismo se efectuó con el uso de un modelo piloto, en la que a un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo (tratamiento experimental), después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo, según el esquema siguiente:

**G                    0<sub>1</sub>    X    0<sub>2</sub>**

En este diseño conocimos un punto de referencia inicial (**0<sub>1</sub>**) para ver qué nivel tenía el grupo (**G**) en la variable dependiente ante del estímulo o tratamiento (**X**) y posteriormente qué nivel (**0<sub>2</sub>**) alcanza luego del tratamiento.

**3.4. Metódica de cada momento de la investigación.-** Desde que definiéramos el Tipo de Investigación de nuestra Tesis, una Investigación netamente Experimental en tanto que la variable independiente incidiría sobre la variable dependiente, hubo que reproducir artificialmente el fenómeno para conocer sus causas y consecuencias, por lo que requerimos de la experimentación para comprobar la hipótesis, para ello se sometieron la muestra problema (efluentes domésticos) al Humedal Piloto, en la que la variable independiente hipotéticamente será una de las causas que generó el

supuesto cambio de las variables dependientes en este caso sobre el efluente doméstico, lo que se evidenció al evaluar los valores de sus indicadores durante todas las observaciones realizadas. La metodología aplicada para cada momento de la investigación siguió la siguiente secuencia:



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

**3.4.2. Técnicas Estadísticas.-** A partir de la aplicación del Protocolo de Monitoreo implementado para determinar el caudal de los efluentes domésticos generados en el Distrito de SJM, su promedio, así como determinar la Caracterización de los mismos desde el punto de vista de Cualitativos y Cuantitativos de aquellos indicadores que permitan conocer la constitución de los desagües previos a su disposición final en cada uno de los emisores que utilizan la aguas de la Bahía de SJM como punto de disposición final y así como el que descarga a las lagunas de oxidación existente. Una vez obtenidos el valor de cada uno de estos indicadores se aplicaron las técnicas estadísticas que permitieron conocer las tendencias en cada uno de los puntos de aforo y promedio de caudal aforado y calidad. Ver en apéndice, Cuadro 3.6. "Determinación de aforos promedio en los diferentes emisores existentes" y el Cuadro 3.7. "Registro de aforos en los diferentes emisores existentes", donde obtuviéramos el caudal promedio (69.605 L/seg), el mismo que difiere al proporcionado por el Departamento de

Medio Ambiente de SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A. (73.10 L/seg), en 3.495 L/seg inferior al registrado por SHP, no obstante ello lo hallamos dentro de un orden estadístico aceptable.

Para la determinación de los parámetros de calidad del efluente se realizó un muestreo aleatorio compuesto, tomándose un tamaño de muestra correspondiente a 25 litros de muestra de cada punto de descarga existente, y de cada punto se tomaron cuatro muestras coincidiendo con el día y horas de aforo. Mientras los resultados promedios de calidad de las aguas arrojaron los valores de la tabla siguiente:

**Valores promedios de calidad de los efluentes**

<b>Parámetro</b>	<b>DBO<sub>5</sub> mg/L</b>	<b>DQO mg/L</b>	<b>SST mg/L</b>	<b>Cloruros mg/L</b>	<b>Coliformes Totales NMP/100ml</b>	<b>Coliformes Fecales NMP/100m</b>
<b>Valor</b>	96.5	502.35	98.33	471	$2.7 \times 10^9$	$1.1 \times 10^7$

Autoría propia

Ver en anexos el Cuadro 2.4. “Valores promedio de los parámetros que caracterizan el efluente domestico monitoreados en las diferentes puntos de emisiones existentes en San Juan de Marcona”, donde se registran cada uno de los valores obtenidos en los diferentes monitoreos.

Por otro lado durante la fase experimental en la que se sometieron los efluentes domésticos para ser tratados en los humedales piloto como lo explicáramos en el sub capítulo 3.3., se recolecto valores de indicadores los mismo que también se trabajaron estadísticamente para obtener las curvas de tendencias y de modo que podamos visualizar los resultados con las conclusiones correspondientes.

**3.4.3. Técnicas de Laboratorio.-** Para determinar los valores de cada uno de los Indicadores de las variables o parámetros de calidad se utilizaron, los métodos normalizados para análisis de aguas residuales, dados por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods) for the examination of water and wasterwater 21 edición. 2005, las mismas que se muestran

en apéndice el Cuadro 3.8. "Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales".

### 3.5. Operacionalización de Variables.-

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, hubo la necesidad de operacionalizarla a través de sus variables, y de los indicadores de cada una de ellas, es así que a través de la relación causa – efecto, sometido el efluente a su paso a través del humedal piloto, se evaluó la Variable Dependiente:  $Y =$  Calidad de los efluentes domésticos, para los cual se establecieron sus Indicadores:

- Concentración de componentes físicos químicos:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Y <sub>1</sub>
Sólidos Sedimentables Totales (SST)	Y <sub>2</sub>
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Y <sub>3</sub>
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	Y <sub>4</sub>
Fierro (Fe)	Y <sub>5</sub>
- Existencia de Coliformes Fecales Y<sub>6</sub>

Durante las pruebas experimentales se realizaron las observaciones necesarias para conocer cuantitativamente el valor de cada uno de los indicadores de la variable dependiente, es decir la caracterización del efluente antes de su ingreso y a la salida del humedal piloto, manteniendo fijo los indicadores de la Variable Independiente (Sistema de tratamiento humedal piloto del tipo Sub superficial).

3.6. **Población y muestra.-** La Población o Universo (N) del presente trabajo Tesis, son los efluentes domésticos generados en la ciudad de SJM, los mismos cuya disposición final son los causantes de la Contaminación Ambiental de la Bahía de SJM, como se vio en el Sub Capítulo 3.4.2 en la que precisáramos que el caudal aforado promedio fue de 69.605 L/seg el mismo que difiere solo en 3.495 L/seg al proporcionado por el Departamento de Medio Ambiente de SHP en 73.10 L/seg, no obstante ello lo hallamos dentro de un orden estadístico aceptable +/- 5%.

Los desagües generados a nivel doméstico en una ciudad como SJM pueden considerarse homogéneos y más si se trata de ciudades pequeñas con un mismo tipo de desarrollo del tipo Social y Cultural cuyas características las definiéramos dentro del Capítulo II Marco Teórico Sub capítulo 2.1 Caracterización de las Aguas Residuales Domésticas, en su apreciación general, mientras la caracterización de los efluentes de la ciudad de SJM es decir la específica se determinó en base al programa de monitoreo cuyo resultados se aprecian en el apéndice, Cuadro 2.4. "Valores promedio de los parámetros que caracteriza el efluente monitoreado en los diferentes puntos de emisiones existentes en San Juan de Marcona", en consecuencia y dado que las variaciones de sus indicadores en cada uno de los puntos de descarga no son significativas estas se consideraron como efluentes doméstico homogéneos.

### **3.7. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.-**

Las Técnicas e Instrumentos de recolección de datos que hubo que aplicar para nuestro trabajo Tesis, son específicas para cada momento de la propia investigación:

- Primero en su etapa de caracterización de los efluentes generados en la ciudad se SJM en su aspecto de cantidad (caudal o aforo) y de calidad (es decir químicas, físico químicas y biológicas).
- Segundo en su etapa experimental los efluentes domésticos son tratados a través del humedal piloto que permitió demostrar la hipótesis planteada, es decir recolectar datos que se generan durante la manipulación de la variable dependiente

**3.7.1. Técnicas de Caracterización de los Desagües.-** Para caracterizar los efluentes domésticos generados en la ciudad de SJM, se desarrolló un programa de muestreo de mediciones y análisis basado en el Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos Emisiones Atmosféricas, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 026-2000-ITINCI/DM del 28 de Febrero del 2000. Este programa de monitoreo consideró:

- **Objetivos.-** El objetivo principal del monitoreo de los efluentes líquidos es la obtención de información adecuada sobre la composición de los efluentes y la cantidad relativa o tasa de la materia que se emite en la disposición final. Específicamente caracterizar los efluentes domésticos y determinar los caudales, identificando los puntos de descargas.
- **Parámetros a medir.-** Los parámetros a medir dentro del programa de monitoreo dependerá de los objetivos del Programa de Monitoreo, para lo cual se seleccionaron los indicadores más importantes, como: Caudal, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales, Cloruros, Coliformes totales y Coliformes Fecales.
- **Selección de los puntos de muestreo.-** La selección de los puntos de muestreo se ubicaron en los seis puntos de descarga existentes en la ciudad de SJM y que hemos denominado estaciones de aforo de emisiones, conocidas también como: Cuartos Palomares (S-12), Oficinas (S-12b), Miramar (S-13), Playa Hermosa (S-14), Emisor Principal (S-15) y Entrada a lagunas de oxidación (S-16), las cuales se aprecian en las Figuras 2.6.; 2.7.; 2.8.; 2.9.; 2.10.; 2.11. y 2.12. que se hace referencia en el Capítulo II, ítem 2.10.5.4 y que se observa en el apéndice.
- **Toma de muestra, mediciones en situ y su frecuencia.-** La recolección y manipulación de muestras fue una de las etapas más importantes en el monitoreo, porque permitió garantizar resultados satisfactorios de los análisis correspondientes tales como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales, Cloruros, Coliformes totales y Coliformes Fecales. Las muestras procedentes de los efluentes considerados en cada estación de aforo, consideradas en el presente documento se colectaron en un balde de 25 litros de capacidad, se homogenizaron y se registró su temperatura respectiva, de esta muestra homogenizada se colectaran las submuestras en recipientes independientes destinadas para los análisis de los indicadores respectivos. La frecuencia establecida para esta etapa de caracterización fue la de extracción de



una muestra cada seis horas durante 24 horas, primera toma a las 08:30 hrs., segunda toma a las 14:30 hrs., tercera toma a las 20:30 hrs. y la cuarta toma a las 02:30 hrs, realizadas entre el 15 y 16 de agosto del 2008.

- **Selección de los métodos analíticos.-** Los métodos analíticos utilizados son los métodos normalizados para análisis de aguas residuales, dados por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 21 edition. 2005), los mismos que se muestran en el Cuadro 3.8. "Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales".

Mientras para conocer el caudal generado en cada estación de aforo se utilizó el correntometro Flow Probe FP 101, con el cual se determinó primero la velocidad de flujo ( $V$ ) y luego se aplica sobre el área ( $A$ ) de la sección de la tubería según la ecuación:

$$\text{Caudal} = \text{Velocidad} \times \text{Area}$$

Este programa de monitoreo nos permitió conocer el caudal promedio en la ciudad de SJM, para ello se midieron los caudales a nivel de las seis diferentes descargas existentes denominadas estaciones de aforo de emisiones, efectuando un total de cuatro aforos cada seis horas, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 3.7. "Registro de aforos en los diferentes emisores existentes", al mismo tiempo de conocer el aforo en la estación se procedería a tomar muestras en cada una de ellas para efectos de realizar la caracterización del efluente doméstico generado.

**3.7.2. Técnicas para las pruebas experimentales.-** Con el fin de efectuar las pruebas experimentales necesarias para demostrar la hipótesis planteada se requirió el diseño y construcción de un humedal artificial piloto del tipo de Flujo Sub superficial, (FS), utilizando para dicho diseño la Teoría precisada en el Marco Teórico sub título 2.9, el piloto se construyó y operó en las instalaciones de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, 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 ciudad universitaria, la ubicación y características del humedal piloto se pueden apreciar en las Figuras 3.1. "Plano de ubicación del Humedal Piloto"; 3.2. "Vistas donde se ubica el Humedal Piloto"; 3.3. "Vistas donde se aprecia la construcción del Humedal Piloto"; 3.4. "Otras donde apreciamos la construcción del Humedal Piloto" y 3.5. "Vistas que apreciamos el material filtrante del Humedal Piloto", que se muestran en el apéndice.

A continuación se presenta el cálculo de diseño del Humedal Artificial Piloto de FS, en base a la información teórica que se detalla en el Cuadro 3.9. "Datos para el diseño del humedal piloto".

**3.7.2.1. Cálculo de Diseño del Humedal Piloto:**

a. - Seleccionamos la profundidad del o humedal piloto en el orden (h = 0.40 m) donde se ubicarán los pápiros y/o juncos.

b. - Seleccionamos los valores de  $\infty$ ,  $K_s$ ,  $K_{20}$ , de la Tabla 2.6 ubicada en Anexos, para el uso de piedra chancada, donde:

$\infty$  (porosidad) : 0.35  
 $K_s$ (Conductividad hidráulica) : 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d

$K_{20}$  (constante de velocidad de 1º orden dependiendo de la Temp.): 0.86

c. - Determinar el valor de  $K_T$  a 15 °C

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

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

$$K_{15} = 0.86 (1.1)^{-5}$$

$$K_{15} = 0.53 \text{ d}^{-1}$$

d. - Determinación del tiempo de detención en los poros intersticiales (T), utilizando la ecuación:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-K_T T) \dots\dots\dots T = \frac{\text{Ln } C_e/C_o}{K_{\text{aparente}}}$$

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

$$C_0 = 285 \text{ mg/L}$$

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

$$T = -\ln(15 / 220) / 0.53 \text{ d}^{-1}$$

$$T = 5.56 \text{ d}$$

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

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

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

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

$$S = \text{pendiente (0.01)}$$

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

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

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

$$W = A_c / h$$

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

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

g. - Determinamos la longitud ( $L$ ) del estanque, utilizando la ecuación:

$$T = (L W \infty h) / Q$$

$$L = T Q / W \infty h$$

$$L = 5.56 \text{ d} \times (0.1 \text{ m}^3 / \text{d}) / (0.5 \text{ m} \times 0.35 \times 0.40 \text{ m})$$

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

h- Determinamos el Área Superficial ( $A_s$ ) necesaria:

$$A_s = L \times W$$

$$A_s = 7.94 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$$

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

i. - Comprobamos la Carga Hidráulica ( $L_w$ ):

$$L_w = Q / LW$$

$$L_w = \frac{(0.1m^3/d)}{3.97m^2}$$

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

$$0.016 m^3 / m^2 d < L_w < 0.053 m^3 / m^2 d$$

ó la superficie aparente ( $A_{sp}$ )

$$A_{sp} = \frac{1}{L_w}$$

$$A_{sp} = \frac{1}{0.025}$$

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

$$20 < A_{sp} < 70$$

j.- Comprobamos la carga de DBO<sub>5</sub> por hectárea día, ( $L_s / A_s$ ):

$$\frac{L_s}{A_s} = \frac{(0.100m^3 / d) (220mg / L) (1kg / 10^6 mg) (103L / m^3)}{3.97m^2 \times 10^{-4} m^{-2} / ha}$$

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

$$\frac{L_s}{A_s} = 55.41kgDBO / ha.d$$

### 3.7.3. Recolección de datos durante las pruebas experimentales.-

En su etapa experimental se requirió recolectar datos de los efluentes domésticos tratados a través del humedal piloto, lo que permitiría demostrar la hipótesis planteada, esta recolección de datos se realizó a partir de la evaluación de los valores de los indicadores de la variable dependiente.

De modo que al conocer los valores de estos indicadores y comparados por los valores de la Clase III de la Ley de Aguas permitió al mismo tiempo conocer la calidad final del efluente que de modo que se

demostraría el cumplimiento de la Hipótesis, y conocer cuan eficiente es el tratamiento para aprovechar el efluente tratado para el riego de áreas verdes.

Para esto hubo necesidad de elaborar un Protocolo de Monitoreo para el muestreo en el humedal piloto. Se evaluaron las muestras extraídas del programa de monitoreo establecido, para conocer las características de los indicadores de la variable dependiente, se programó un total de 60 observaciones, (cada observación correspondería a un día de trabajo en la se extraería una muestra de efluente tanto en el ingreso como en la salida de la unidad piloto), replicándose el Diseño de Investigación previsto en el Sub capítulo 3.3.

**G                    0<sub>1</sub>    X    0<sub>2</sub>**

En el que **G** representa el grupo de muestra de efluente doméstico, (**0<sub>1</sub>**), es el valor referencial inicial del indicador (variable dependiente), antes del estímulo o tratamiento a través del humedal piloto **X** (la variable independiente), y posteriormente (**0<sub>2</sub>**) el nivel que alcanzó luego del tratamiento. Para conocer los valores de los indicadores de la variable dependiente antes y después del tratamiento se utilizaron los métodos normalizados para análisis de aguas residuales, dados por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 21 edition. 2005).

**3.8. Procedimientos de recolección de datos.-** Durante el muestreo de campo hecho en la ciudad de SJM se realizó el procedimiento de toma de muestra, almacenamiento (dependiendo del parámetro sujeto al análisis), conservación, etiquetado, embalaje y transporte. Para garantizar la representatividad de las muestras se llevaron a cabo además las siguientes sub actividades:

**3.8.1. Actividades de Pre-Muestreo.-**

**3.8.1.1. Equipos e Instrumentos.-** Los equipos e instrumentos de medición in situ cumplieron con las normas establecidas en el protocolo de monitoreo, el cual establece que estos deben encontrarse limpios y calibrados antes de ir a campo y quedar en las mismas condiciones al

final del trabajo. Equipos: Potenciómetro (medidor de Temp. °C y pH) y Cooler con refrigerante para muestras.

**3.8.1.2. Tipos de Recipientes de Muestreo.-** Los envases utilizados para la toma de muestra y su posterior análisis fueron proporcionados por el laboratorio de la FIARN y eventualmente se acudió a servicios externos, estos envases fueron previamente esterilizados, sellados y etiquetados por el laboratorio en mención. Para la realización del programa de monitoreo se utilizarán los siguientes envases:

- 24 unidades de botellas de polietileno de 1,000 mL
- 12 botellas de vidrio color ámbar de 1,000 mL
- 12 frascos esmerilado Wykler de 300 mL

**3.8.1.3. Volumen de Muestra.-** Se recolectó de 1 a 2 L para la realización del análisis químico simple, y de 0.25 a 1 L para el análisis bacteriológico. En este punto, debido a las características de los efluentes, se tomaron muestras de 25 litros por cada muestra, cada seis horas de acuerdo al protocolo establecido, para luego extraer una muestra representativa para un posterior análisis de laboratorio.

**3.8.1.4. Preservante Químico y Solución de Calibración.-** Al llevarse a cabo un programa de monitoreo, en el cual se tiene que tomar muestras para ser transportadas al laboratorio, es necesario que se conserven adecuadamente a fin de mantener las condiciones físicas, químicas y biológicas del efluente, garantizando de este modo la veracidad de los resultados, por lo cual en algunos envases es necesario agregarle un producto químico como preservante y conservarlo en un ambiente frío (Cooler). Para el caso de los equipos, estos deben estar previamente calibrados antes de realizar las mediciones.

**3.8.1.5. Tiempo Máximo de Almacenamiento.-** El análisis inmediato constituye la mejor forma de reducir el margen de error, por ello se establece que durante el muestreo se tiene que preservar y acondicionar a temperaturas menores de 4 °C (refrigerar en el cooler) para ser llevados posteriormente al Laboratorio de la FIARN y al de servicio

externo. En el Cuadro 3.10. "Criterios para Recolección, Preservación y Almacenamiento" para cada parámetro seleccionado para el presente estudio.

**3.8.1.6. Materiales de Apoyo para el Muestreo.-** Para realizar la toma de muestras y las mediciones de parámetros in situ se contó además con los siguientes materiales:

- 2 Vasos precipitado (Backer) de 500 mL
- 1 Vaso precipitado (Backer) de 200 mL
- 1 Probeta de plástico transparente de 50 mL
- 02 Cilindro PVC de 25 Litros
- 1 Embudo pequeño
- 1 Balde de plástico de 5 Litros
- 5 Botellas de polietileno plásticas de 1,000 mL

**3.8.1.7. Equipo de Seguridad para el Muestreo.-** Para realizar la toma de muestra y los análisis en el laboratorio se contó además con los implementos de seguridad, para evitar tener contacto directo con la muestra y los productos químicos. Entre ellos tenemos:

- 02 mandiles o guardapolvo blanco
- 02 pares de lentes de laboratorio
- 02 mascarillas de doble filtro
- 12 mascarillas desechables
- Una caja de 100 unidades de guantes quirúrgicos desechables

**3.8.2. Actividades de Muestreo y Recolección de la Muestra.-**

**3.8.2.1. Toma de Muestra.-** Las muestras para el análisis fueron tomadas durante el horario establecido, se recolectaron en un recipiente de 25 litros.

**3.8.2.2. Rotulado de las Muestras.-** Los recipientes de las muestras fueron rotulados correctamente registrando en las etiquetas la siguiente información antes de ser enviada al laboratorio para su análisis respectivo:

- Procedencia de la Muestra
- Nombre de la Fuente
- Punto de Muestreo
- Código de la Muestra
- Fecha de Muestreo
- Hora de la toma de muestra
- Técnica de preservación.
- Responsable del Muestreo
- Condiciones Meteorológicas

**3.8.2.3. Conservación y Preservación de la Muestra.-** La conservación y preservación de las muestras se efectuaron de acuerdo a lo indicado en el Cuadro 3.10. "Criterios para Recolección, Preservación y Almacenamiento", que se muestra en el anexo, donde los envases se preservaran de acuerdo al tipo de análisis que le corresponde, asimismo dichas muestras se refrigeraron a 4°C.

**3.8.2.4. Transporte y Almacenamiento.-** Para el transporte de los envases se utilizaron cajas térmicas aislantes (Cooler), que ayudaron a la preservación de las muestras hasta llegar al laboratorio.

**3.8.2.5. Precauciones durante el Muestreo.-** Cuando se prepararon los preservantes y durante el manejo de las muestras, se tuvo cuidado con el manejo de los reactivos ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Soluciones OD I y OD II), que son altamente tóxicos y corrosivos.

**3.8.2.6. Mediciones in Situ.-** Estas mediciones se realizaron en el momento que se tomaron las muestras. En este caso se realizaron mediciones in Situ del Potencial Hidrógeno (pH) utilizando el Potenciómetro y la temperatura.

**3.8.3. Actividades Post-muestreo.-**

**3.8.3.1. Calibración de Equipos.-** El personal a cargo de los análisis verificó que los equipos tengan la calibración establecida.



**3.8.3.2. Análisis Químicos.-** En los métodos de análisis que se seleccionó para la caracterización de los efluentes se consideró: límites de sensibilidad, detección y selectividad en los análisis; requisitos de exactitud y precisión, la desviación estándar (DS); y el coeficiente de variación.

**3.8.3.3. Garantía de Calidad.-** El laboratorio de la FIARN al igual que uno de servicio externo (MinLab) han de ser reconocidos por la confiabilidad de sus resultados.

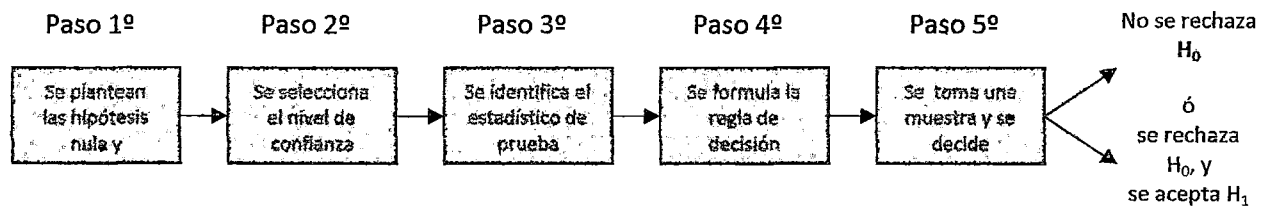
**3.9. Procesamiento estadístico y análisis de datos.-** La información resultante del monitoreo de los efluentes fue procesada en hojas de cálculos tales como el MIROSOFT EXCEL, de manera que el procesamiento de la información resultara lo más sencillo posible y quede disponible para los requerimientos del presente trabajo, es así que para la etapa de Validación del Humedal Piloto, se utilizaron las Pruebas de T de Student., mientras que para la etapa de Contrastación de Hipótesis el análisis de datos cuantitativos, el Programa computacional SPSS, creando una matriz de datos (observaciones) para cada una de los indicadores de la **Variable Dependiente: Y** (Calidad de los efluentes domésticos), de modo que al demostrar la Hipótesis:

**“Los efluentes domésticos generados en el distrito de San Juan de Marcona al ser tratados por el sistema de humedales artificiales de flujo sub superficiales cumplirán con los Límites Máximos Permisibles y podrán utilizarse como aguas de riego”**

Se pueda aseverar, que luego del tratamiento de los efluentes a través del humedal, las características del efluente tratado ó los valores de sus indicadores de la **Variable Dependiente**, sean iguales a los Límites Máximo Permisibles ó que estos valores se encuentren cercanos a ellos, es decir:

- Concentración de componentes físicos químicos: LMP
  - Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)  $Y_1 = 15.00$  mg/L
  - Sólidos Sedimentables Totales (SST)  $Y_2 = 10.0$  a  $20.0$  mg/L
  - Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)  $Y_3 = 10.00$  mg/L
  - Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>)  $Y_4 = 1.00$  mg/L
  - Fierro (Fe)  $Y_5 = 1.00$  mg/L
- Existencia de Coliformes Fecales  $Y_6 = 1000$  NMP/100ml

Para la etapa de contrastación de Hipótesis, se utilizará el procedimiento **Estadístico de Prueba de Hipótesis**, con nivel de significancia de 0.01 (1%) y comprobación a través del procedimiento de intervalos de confianza, como se indica en el esquema siguiente:



La comprobación final se realiza aplicando el procedimiento de nivel de intervalos de confianza.

En las figuras enumeradas a continuación que se muestra en el anexo, podemos apreciar el Humedal Piloto:

Figura 3.14. Vistas donde se ubica el Humedal Piloto

Figura 3.15. Vistas donde se aprecia la construcción del Humedal Piloto

Figura 3.16. Otras donde apreciamos la construcción del Humedal Piloto

Figura 3.17. Vistas que apreciamos el material filtrante del Humedal Piloto

Figura 3.18. Conjunto de vistas que muestran el Humedal Piloto operando.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

**4.1. Resultados Parciales.- 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 obtenidos del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), se demostró la Hipótesis ( $\mu$  : valor de la DBO<sub>5</sub>) y por lo tanto nuestro humedal piloto, como herramienta de trabajo quedó validado para las etapas de desarrollo, a continuación se muestran los resultados de esta validación:

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 1º de Diciembre del 2008, el muestreo lo iniciamos a partir del 2 de Enero del 2009, durante 15 días, periodo durante el cual se acumuló un total de 15 observaciones, la validación corresponde a un caudal de 86 L/día y tiempo de retención de 6.5 días.

**Cuadro 4.1**

**“Resultados obtenidos durante el monitoreo del humedal piloto, 15 observaciones, para la DBO<sub>5</sub>”**

<b>Observaciones</b>	<b>DIA</b>	<b>CAUDAL Lt / día</b>	<b>EH - DBO<sub>5</sub> mg/L</b>	<b>SH - DBO<sub>5</sub> mg/L</b>
1	02/01/09	86	101	<b>15.30</b>
2	03/01/09	86	122	<b>14.80</b>
3	04/01/09	86	113	<b>14.60</b>
4	05/01/09	86	152	<b>15.80</b>
5	06/01/09	86	163	<b>14.90</b>
6	07/01/09	86	164	<b>14.00</b>
7	08/01/09	86	107	<b>16.00</b>
8	09/01/09	86	156	<b>17.60</b>
9	10/01/09	86	130	<b>13.80</b>
10	11/01/09	86	110	<b>13.00</b>
11	12/01/09	86	100	<b>17.50</b>
12	13/01/06	86	145	<b>16.00</b>
13	14/01/09	86	107	<b>14.90</b>
14	15/01/09	86	121	<b>16.00</b>
15	16/01/09	86	101	<b>14.20</b>

(Ingreso Vs. Salida, del 02 al 16/01/09)”.

- ii. ¿Será razonable concluir que la concentración final de  $DBO_5$  obtenida con el piloto es la deseada?

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

$H_0$ :  $\mu = 15.00$  ..... es el valor de la media de  $DBO_5$

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

Asumimos el valor de  $\mu = 15.00$  ( $DBO_5 = 15.00$  mg/L, que corresponde al valor aceptado por la Ley General de Aguas, aprobada a través del Decreto Ley N° 17752, promulgada el 24 de julio de 1969 y el / D.S.N° 261-AP, promulgada el 13 de diciembre de 1969 /DS N° 007-83-SA, promulgada el 17 de marzo de 1983, 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, es el siguiente: Especificando para el Uso III el parámetro  $DBO_5$  (Demanda Bioquímica de Oxígeno) el límite de 15.00 mg/L”...

Por otro lado, el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, de fecha 31 de Julio de 2008, aprueban los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua, hace referencia, en la Categoría 3, “Riego de Vegetales y Bebidas de Animales”, entre otros, precisa el valor de la  $DBO_5$  (Demanda Bioquímica de Oxígeno)  $\leq 15.00$  mg/L.

- iii. Al contar solo con 15 Observaciones, (n), es decir menos de 30 y no conocer la desviación estándar de la población ( $\mu$ ), 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 grados de libertad, (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 gl, obtenido de la operación siguiente:

$$gl = n - 1$$

$$gl = 15 - 1$$

$$gl = 14$$

El valor de t, (t de student), se determino 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 4.1, denominada "Distribución t de Student" y que se muestra a continuación, obtenemos el valor  $t = 2.624$ .

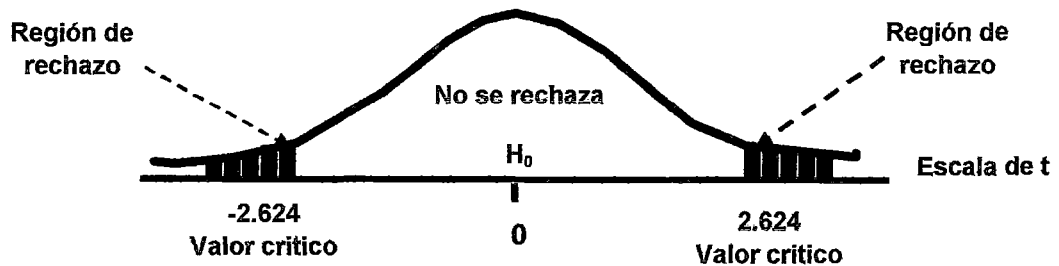
**Tabla 4.1**  
**Distribución t de Student**

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	<b>2.624</b>	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947

Fuente: Tablas Estadística de Pedro Díaz Bustos

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 en la figura siguiente:

**Distribución de los Valores Críticos para  $t$ , para el caso específico de 15 observaciones**



vi. Con los valores de cada una de las 15 observaciones obtenidas, confeccionamos la Tabla 4.2, denominada "Cálculos para determinación de la desviación estándar ( $S$ )"

**Tabla 4.2**

**Cálculos para determinación de la desviación estándar ( $S$ )**

DIA	$X$	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
02/01/2007	15.3	0.073	0.0054
03/01/2007	14.8	-0.427	0.1820
04/01/2007	14.6	-0.627	0.3927
05/01/2007	15.8	0.573	0.3287
06/01/2007	14.9	-0.327	0.1067
07/01/2007	14.0	-1.227	1.5047
08/01/2007	16.0	0.773	0.5980
09/01/2007	17.6	2.373	5.6327
10/01/2007	13.8	-1.427	2.0354
11/01/2007	13.0	-2.227	4.9580
12/01/2007	17.5	2.273	5.1680
13/01/2007	16.0	0.773	0.5980
14/01/2007	14.9	-0.327	0.1067
15/01/2007	16.0	0.773	0.5980
16/01/2007	14.2	-1.027	1.0540
$\Sigma$	228.4	0.000	23.2693
$\Sigma X / n$	15.227		

vii. Reemplazando los valores de la tabla en  $S$ , obtenemos el valor de  $S = 1.29$

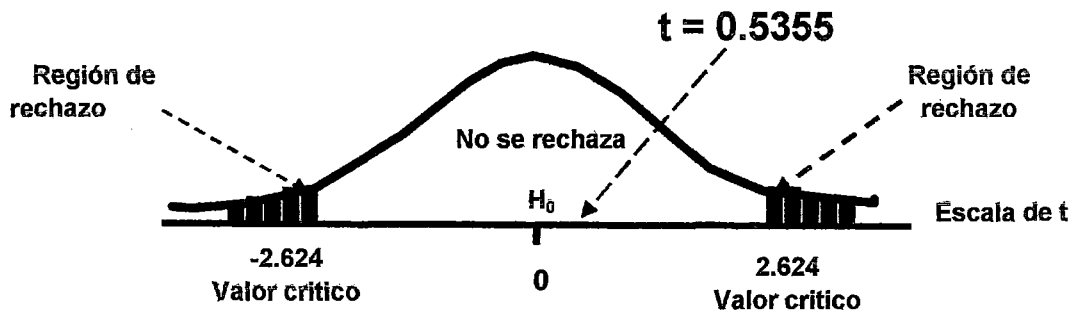
$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{(n-1)}}$$

viii. Con el valor de  $S$ , reemplazamos en:  $t = \frac{(\bar{X} - \mu)}{\left[ \frac{S}{\sqrt{n}} \right]}$

Haciendo  $\mu = 15.00$  que equivale al valor deseado como residual de  $\text{DBO}_5$  a la salida del humedal, obteniendo  $t = 0.5355$

ix. La Hipótesis nula no se rechaza, para una desviación estándar de la población ( $\mu = 15.00$  mg  $\text{DBO}_5/\text{L}$ ), porque,  $0.5355$ , que es el valor obtenido de  $t$  y está en el rango o intervalo entre  $-2.624$  y  $+2.624$ , es decir de no rechazo, lo que representamos en la figura siguiente:

**Distribución de los Valores Críticos para  $t = 0.5355$ , para el caso específico de 15 observaciones, de aceptación de la hipótesis**



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

**4.2. Resultados Finales.-** 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 con el fin obtener agua para riego, es decir de clase III, según la Ley General de Aguas vigente. Las pruebas se corrieron a partir del 1º de Febrero 2009 hasta el 1º de Abril del 2009, 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.

**4.2.1. Remoción de la DBO<sub>5</sub>.**- Con los resultados obtenidos se obtuvo la tabla siguiente:

**Tabla 4.2.1.**

**Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de la DBO<sub>5</sub> en el humedal piloto**

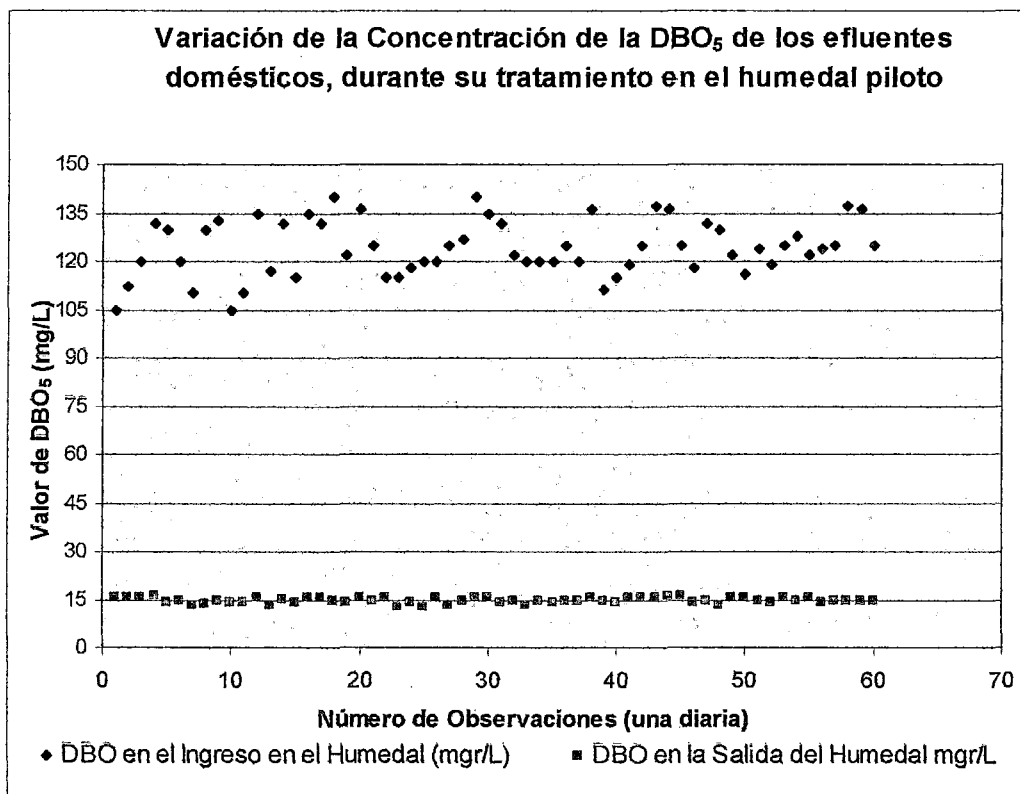
Observac.	DÍA	EH - DBO <sub>5</sub> mg/L	SH - DBO <sub>5</sub> mg/L	Observac.	DÍA	EH - DBO <sub>5</sub> mg/L	SH - DBO <sub>5</sub> mg/L
1	01/02/2009	105	15.80	31	03/03/2009	132	14.50
2	02/02/2009	112	15.80	32	04/03/2009	122	14.60
3	03/02/2009	120	15.90	33	05/03/2009	120	13.20
4	04/02/2009	132	16.00	34	06/03/2009	120	14.70
5	05/02/2009	130	14.50	35	07/03/2009	120	14.20
6	06/02/2009	120	14.60	36	08/03/2009	125	14.60
7	07/02/2009	110	13.20	37	09/03/2009	120	14.80
8	08/02/2009	130	13.60	38	10/03/2009	136	15.80
9	09/02/2009	133	15.00	39	11/03/2009	111	14.90
10	10/02/2009	105	14.20	40	12/03/2009	115	14.50
11	11/02/2009	110	14.50	41	13/03/2009	119	15.80
12	12/02/2009	135	15.60	42	14/03/2009	125	15.80
13	13/02/2009	117	13.20	43	15/03/2009	137	15.90
14	14/02/2009	132	15.30	44	16/03/2009	136	16.00
15	15/02/2009	115	14.20	45	17/03/2009	125	16.00
16	16/02/2009	135	15.50	46	18/03/2009	118	14.60
17	17/02/2009	132	15.70	47	19/03/2009	132	14.60
18	18/02/2009	140	14.60	48	20/03/2009	130	13.20
19	19/02/2009	122	14.20	49	21/03/2009	122	15.50
20	20/02/2009	136	15.90	50	22/03/2009	116	15.70
21	21/02/2009	125	14.60	51	22/03/2009	124	14.60
22	22/02/2009	115	15.80	52	24/03/2009	119	14.20
23	23/02/2009	115	13.00	53	25/03/2009	125	15.90
24	24/02/2009	118	14.50	54	26/03/2009	128	14.60
25	25/02/2009	120	13.00	55	27/03/2009	122	15.80
26	26/02/2009	120	15.60	56	28/03/2009	124	14.50
27	27/02/2009	125	13.50	57	29/03/2009	125	14.90
28	28/02/2009	127	14.80	58	30/03/2009	137	14.90
29	01/03/2009	140	15.80	59	31/03/2009	136	14.60
30	02/03/2009	135	15.80	60	01/04/2009	125	14.80

A partir de la tabulación de datos, se obtuvo la distribución de tendencias, **Figura 4.2.1.**, la figura nos muestra la concentración de la DBO<sub>5</sub> a la entrada del humedal piloto y la concentración de la DBO<sub>5</sub> a la



salida del humedal piloto, donde se observa que el ingreso en la mayoría de los casos la  $DBO_5$  es superior a 100 mg/L, mientras algo más del 60% a la salida del humedal piloto los valores de la  $DBO_5$  en el efluente están por debajo del nivel de referencia de 15 mg/L, es decir el valor de la  $DBO_5$  cumple con el valor de referencia para el uso de los efluentes tratados en el riego de áreas verdes.

Figura 4.2.1.



**4.2.2. Remoción de SST.-** Con los valores obtenidos se confeccionó la **Tabla 4.2.2.:** “Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los SST en el Humedal Piloto”, que muestra los resultados del monitoreo en el humedal piloto de las concentraciones de SST a la entrada del Humedal Piloto y a la salida, al igual que ocurre con la  $DBO_5$  se encontraron valores por debajo de los previstos en el diseño del humedal.

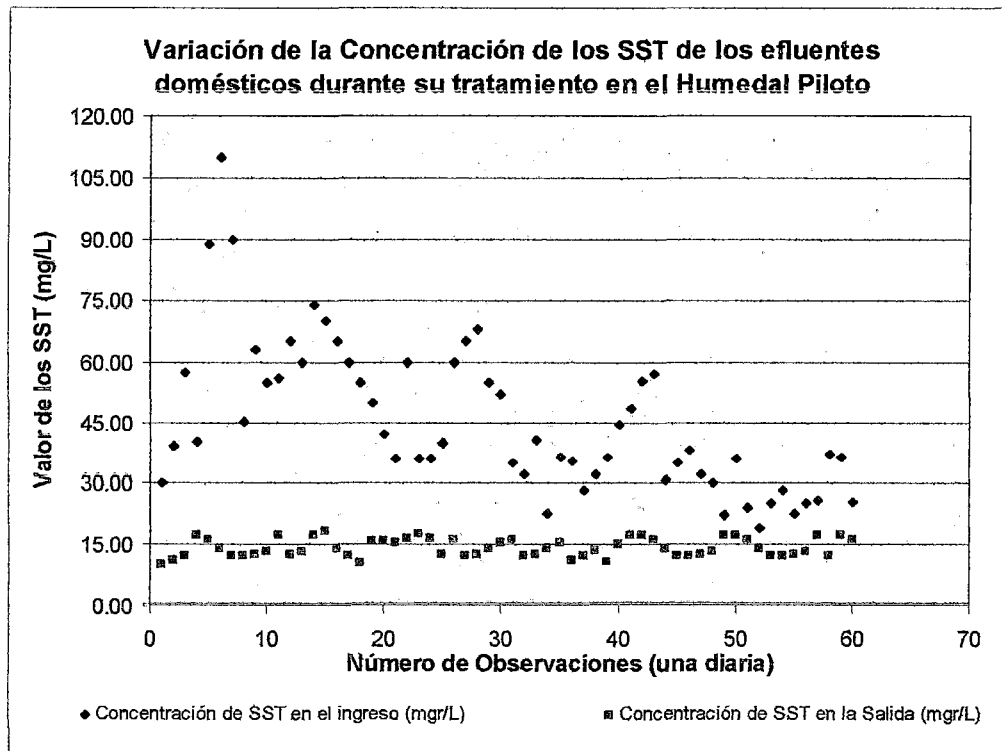
La remoción de SST es muy efectiva en el humedal artificial, produciendo efluentes cuyas concentraciones de SST se encuentran

entre 20 a 10 mg/L que es el rango de referencia para el uso del efluente tratado para el riego de áreas verdes. A partir de los valores tabulados se confeccionó la distribución de tendencias que se muestra en la **Figura 4.2.2.** "Variación de la Concentración de los SST durante el tratamiento en el 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 4.2.2.**  
**"Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los SST en el Humedal Piloto"**

<b>Observac.</b>	<b>DIA</b>	<b>EH - SST</b> mg/L	<b>SH - SST</b> mg/L	<b>Observac.</b>	<b>DIA</b>	<b>EH - SST</b> mg/L	<b>SH - SST</b> mg/L
1	01/02/2009	30.00	10.00	31	03/03/2009	35.00	16.20
2	02/02/2009	39.00	11.00	32	04/03/2009	32.00	12.20
3	03/02/2009	57.40	12.00	33	05/03/2009	40.50	12.30
4	04/02/2009	40.40	17.20	34	06/03/2009	22.44	13.80
5	05/02/2009	89.00	16.00	35	07/03/2009	36.20	15.40
6	06/02/2009	110.00	14.00	36	08/03/2009	35.40	11.00
7	07/02/2009	90.00	12.00	37	09/03/2009	28.24	12.00
8	08/02/2009	45.20	12.00	38	10/03/2009	32.00	13.60
9	09/02/2009	63.00	12.60	39	11/03/2009	36.20	10.70
10	10/02/2009	59.00	13.00	40	12/03/2009	44.60	14.80
11	11/02/2009	56.00	17.00	41	13/03/2009	48.60	17.20
12	12/02/2009	65.00	12.60	42	14/03/2009	55.22	17.20
13	13/02/2009	60.00	13.00	43	15/03/2009	57.00	16.00
14	14/02/2009	74.00	17.00	44	16/03/2009	30.60	14.00
15	15/02/2009	70.00	18.00	45	17/03/2009	35.00	12.00
16	16/02/2009	65.00	14.00	46	18/03/2009	38.00	12.00
17	17/02/2009	60.00	12.00	47	19/03/2009	32.00	12.60
18	18/02/2009	55.00	10.50	48	20/03/2009	30.00	13.00
19	19/02/2009	50.00	15.60	49	21/03/2009	22.00	17.00
20	20/02/2009	42.00	15.50	50	22/03/2009	36.00	17.20
21	21/02/2009	36.00	15.20	51	22/03/2009	24.00	16.00
22	22/02/2009	60.00	16.30	52	24/03/2009	19.00	14.00
23	23/02/2009	36.00	17.50	53	25/03/2009	25.00	12.00
24	24/02/2009	36.00	16.30	54	26/03/2009	28.00	12.00
25	25/02/2009	40.00	12.60	55	27/03/2009	22.60	12.60
26	26/02/2009	60.00	16.20	56	28/03/2009	24.80	13.00
27	27/02/2009	65.00	12.20	57	29/03/2009	25.50	17.00
28	28/02/2009	68.00	12.30	58	30/03/2007	37.20	12.00
29	01/03/2009	55.00	13.80	59	31/03/2009	36.20	17.20
30	02/03/2009	52.00	15.40	60	01/04/2009	25.20	16.00

Figura 4.2.2.



**4.2.3. Remoción de los Nitratos.-** El Nitrógeno orgánico que entra en el humedal está 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.

La nitrificación y desnitrificación 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 desnitrificación 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 utilizó fuente de aireación forzada (re aireación

superficial, recirculación del efluente u otro), mientras la desnitrificación es más efectiva, debido a que los nitratos se desnitrifican con pocos días de retención.

Con los datos obtenidos durante las observaciones experimentales se confeccionó la **Tabla 4.2.3:** "Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los Nitratos en el Humedal Piloto", que muestra los resultados del monitoreo en el humedal piloto de las concentraciones de SST a la entrada del Humedal Piloto y a la salida, al igual que ocurre con la DBO<sub>5</sub> se encontraron valores por debajo de los previstos en el diseño del humedal.

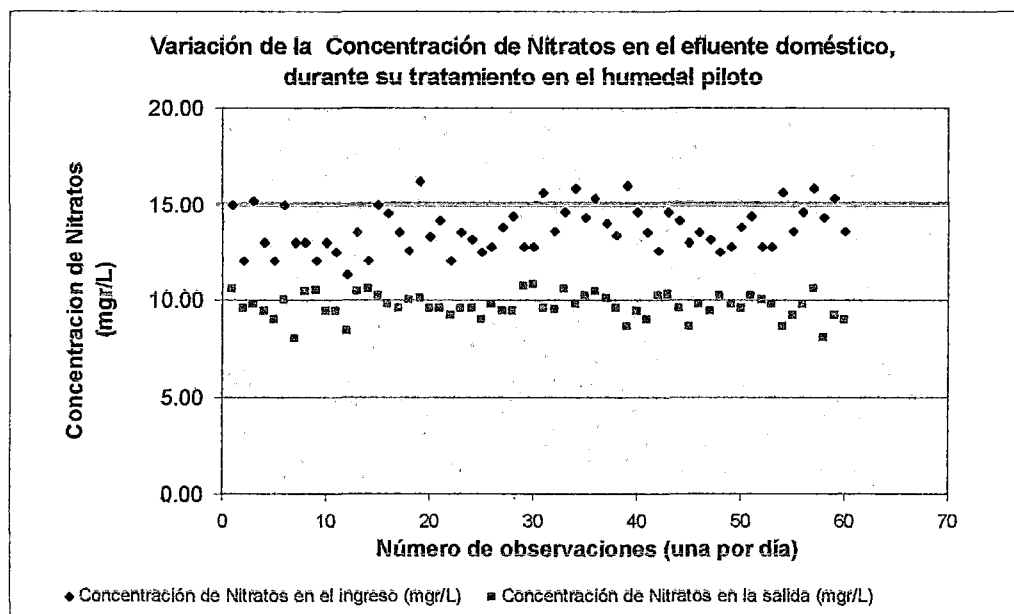
**Tabla 4.2.3.**  
**"Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los Nitratos en el Humedal Piloto"**

Observac.	DIA	EH – Nitratos mg/L	SH – Nitratos mg/L	Observac.	DIA	EH – Nitratos mg/L	SH – Nitratos mg/L
1	01/02/2009	15.00	10.80	31	03/03/2009	15.60	9.60
2	02/02/2009	12.00	9.60	32	04/03/2009	13.60	9.50
3	03/02/2009	15.20	9.80	33	05/03/2009	14.60	10.60
4	04/02/2009	13.00	9.40	34	06/03/2009	15.80	9.80
5	05/02/2009	12.00	9.00	35	07/03/2009	14.30	10.20
6	06/02/2009	15.00	10.00	36	08/03/2009	15.30	10.40
7	07/02/2009	13.00	8.00	37	09/03/2009	14.00	10.05
8	08/02/2009	13.00	10.40	38	10/03/2009	13.40	9.60
9	09/02/2009	12.00	10.50	39	11/03/2009	16.00	8.60
10	10/02/2009	13.00	9.40	40	12/03/2009	14.60	9.40
11	11/02/2009	12.50	9.40	41	13/03/2009	13.50	9.00
12	12/02/2009	11.30	8.40	42	14/03/2009	12.60	10.20
13	13/02/2009	13.50	10.40	43	15/03/2009	14.60	10.30
14	14/02/2009	12.00	10.60	44	16/03/2009	14.20	9.60
15	15/02/2009	15.00	10.20	45	17/03/2009	13.00	8.60
16	16/02/2009	14.50	9.80	46	18/03/2009	13.50	9.80
17	17/02/2009	13.50	9.60	47	19/03/2009	13.20	9.40
18	18/02/2009	12.60	10.00	48	20/03/2009	12.50	10.20
19	19/02/2009	16.20	10.10	49	21/03/2009	12.80	9.80
20	20/02/2009	13.30	9.60	50	22/03/2009	13.80	9.60
21	21/02/2009	14.20	9.60	51	22/03/2009	14.40	10.20
22	22/02/2009	12.00	9.20	52	24/03/2009	12.80	10.00
23	23/02/2009	13.50	9.60	53	25/03/2009	12.80	9.80
24	24/02/2009	13.20	9.60	54	26/03/2009	15.60	8.60
25	25/02/2009	12.50	9.00	55	27/03/2009	13.60	9.20
26	26/02/2009	12.80	9.80	56	28/03/2009	14.60	9.80
27	27/02/2009	13.80	9.40	57	29/03/2009	15.80	10.60
28	28/02/2009	14.40	9.40	58	30/03/2007	14.30	8.06
29	01/03/2009	12.80	10.70	59	31/03/2009	15.30	9.20
30	02/03/2009	12.80	10.80	60	01/04/2009	13.60	9.00

A partir de los valores de la tabla precedente se confeccionó la distribución de tendencias que se muestra en la **Figura 4.2.3.** "Variación

de la Concentración de Nitratos de los efluentes domésticos, durante su tratamiento en el humedal piloto”, los resultados confirman la capacidad remocional del humedal piloto.

**Figura 4.2.3.**



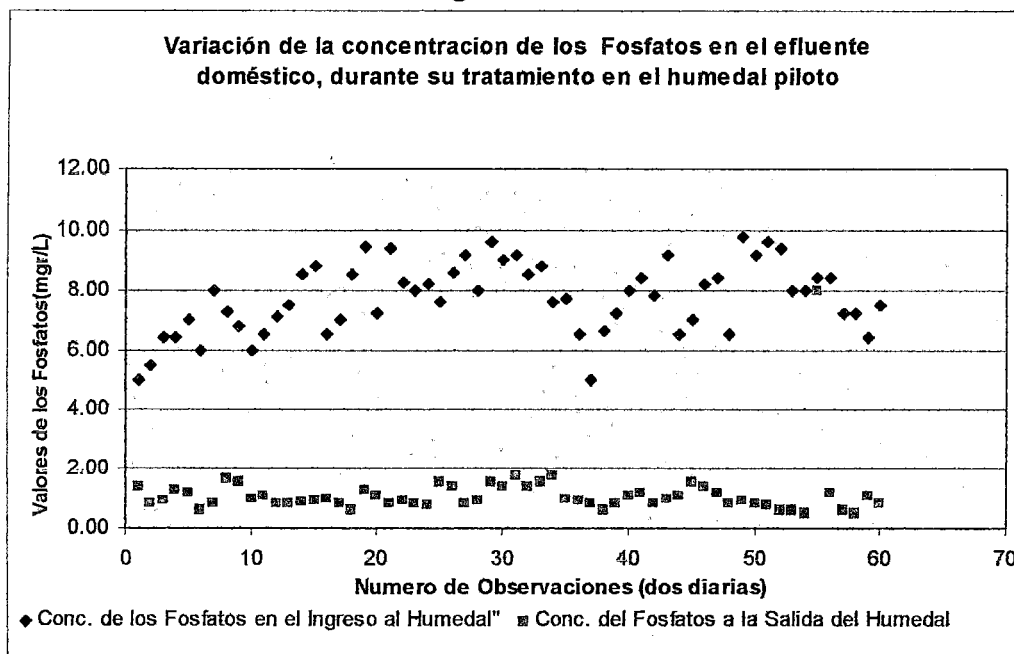
**4.2.4. Remoción de los Fosfatos.-** El mecanismo principal para la remoción del fósforo en el humedal artificial piloto es la adsorción, la precipitación química y la asimilación por parte de las plantas, la cual es rápida, pero a medida que las plantas mueren liberan fósforo, por ello la necesidad 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, es preciso efectuar las podas correspondientes para mantener plantas jóvenes. Con las observaciones de las pruebas en el humedal piloto se ha confeccionado la **Tabla 4.2.4.** que se muestra a continuación:

**Tabla 4.2.4.**  
**Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los Fosfatos**  
**en el Humedal Piloto”**

Observac.	DIA	EH - PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L	SH - PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L	Observac.	DIA	EH - PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L	SH - PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> mg/L
1	01/02/2009	5.00	1.40	31	03/03/2009	9.20	1.80
2	02/02/2009	5.50	0.80	32	04/03/2009	8.50	1.40
3	03/02/2009	6.40	0.90	33	05/03/2009	8.80	1.60
4	04/02/2009	6.40	1.30	34	06/03/2009	7.60	1.80
5	05/02/2009	7.00	1.20	35	07/03/2009	7.70	1.00
6	06/02/2009	6.00	0.60	36	08/03/2009	6.50	0.90
7	07/02/2009	8.00	0.80	37	09/03/2009	5.00	0.80
8	08/02/2009	7.30	1.70	38	10/03/2009	6.60	0.60
9	09/02/2009	6.80	1.60	39	11/03/2009	7.20	0.80
10	10/02/2009	6.00	1.00	40	12/03/2009	8.00	1.10
11	11/02/2009	6.50	1.10	41	13/03/2009	8.40	1.20
12	12/02/2009	7.10	0.80	42	14/03/2009	7.80	0.80
13	13/02/2009	7.50	0.80	43	15/03/2009	9.20	1.00
14	14/02/2009	8.50	0.86	44	16/03/2009	6.50	1.10
15	15/02/2009	8.80	0.90	45	17/03/2009	7.00	1.60
16	16/02/2009	6.50	0.96	46	18/03/2009	8.20	1.40
17	17/02/2009	7.00	0.80	47	19/03/2009	8.40	1.20
18	18/02/2009	8.50	0.60	48	20/03/2009	6.50	0.80
19	19/02/2009	9.44	1.30	49	21/03/2009	9.80	0.90
20	20/02/2009	7.20	1.10	50	22/03/2009	9.20	0.80
21	21/02/2009	9.40	0.80	51	22/03/2009	9.60	0.78
22	22/02/2009	8.24	0.90	52	24/03/2009	9.42	0.60
23	23/02/2009	8.00	0.82	53	25/03/2009	8.00	0.60
24	24/02/2009	8.20	0.76	54	26/03/2009	8.00	0.50
25	25/02/2009	7.60	1.60	55	27/03/2009	8.40	8.00
26	26/02/2009	8.60	1.40	56	28/03/2009	8.42	1.20
27	27/02/2009	9.18	0.80	57	29/03/2009	7.20	0.60
28	28/02/2009	8.00	0.90	58	30/03/2007	7.20	0.50
29	01/03/2009	9.60	1.60	59	31/03/2009	6.40	1.10
30	02/03/2009	9.00	1.40	60	01/04/2009	7.50	0.80

A partir de estos valores tabulados de la tabla precedente se construyó la distribución de tendencias que se muestra en la **Figura 4.2.4.** “Variación de la Concentración de los Fosfatos en el efluente doméstico, durante su tratamiento en el humedal piloto”, los resultados confirman la capacidad remocional del humedal piloto.

Figura 4.2.4.



**4.2.5. Remoción de Metales.-** Para demostrar la capacidad de remoción de metales se evaluó el Hierro, 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 el humedal, la disponibilidad de sitios de adsorción frescos esta también aumentando, el humedal artificial tiene la capacidad potencial de remoción de metales el cual se mantiene durante todo el periodo de uso del sistema.

Los metales pueden acumularse en el humedal, 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.

Con las observaciones de las pruebas en el humedal piloto se confeccionó la **Tabla 4.2.5.** denominada "Monitoreo de las Observaciones para la Remoción del Hierro en el Humedal Piloto", podemos apreciar en la tabla, que los valores de las concentraciones de hierro en el efluente doméstico a su ingreso en el humedal se hallan entre 2.10 a 6.20 mg/L, mientras la concentración del hierro del efluente

tratado a la salida del humedal se encontraron valores que varían entre 0.60 y 1.30 mg/L, valores que demuestran la capacidad remocional del humedal.

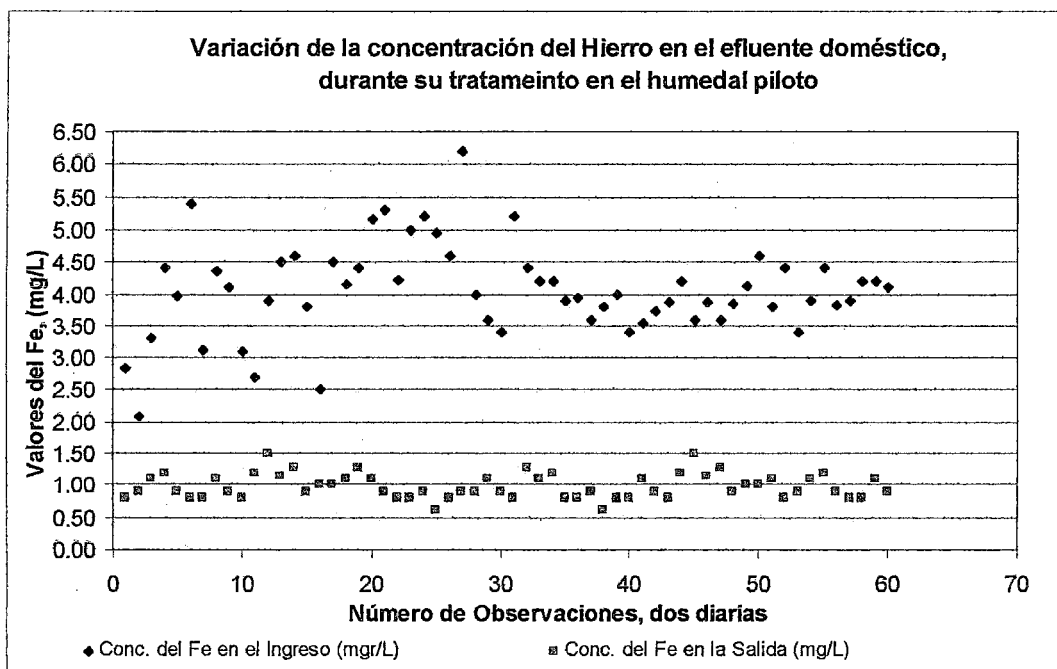
**Tabla 4.2.5.**  
**Monitoreo de las Observaciones para la Remoción del Hierro en el Humedal Piloto**

Observac.	DIA	EH - Fe mg/L	SH - Fe mg/L	Observac.	DIA	EH - Fe mg/L	SH - Fe mg/L
1	01/02/2009	2.85	0.80	31	03/03/2009	5.20	0.80
2	02/02/2009	2.10	0.90	32	04/03/2009	4.40	1.30
3	03/02/2009	3.30	1.10	33	05/03/2009	4.20	1.10
4	04/02/2009	4.40	1.20	34	06/03/2009	4.20	1.20
5	05/02/2009	3.98	0.90	35	07/03/2009	3.90	0.80
6	06/02/2009	5.40	0.80	36	08/03/2009	3.94	0.80
7	07/02/2009	3.12	0.80	37	09/03/2009	3.60	0.90
8	08/02/2009	4.36	1.10	38	10/03/2009	3.80	0.60
9	09/02/2009	4.10	0.90	39	11/03/2009	3.98	0.80
10	10/02/2009	3.09	0.80	40	12/03/2009	3.40	0.80
11	11/02/2009	2.70	1.20	41	13/03/2009	3.55	1.10
12	12/02/2009	3.90	1.50	42	14/03/2009	3.72	0.90
13	13/02/2009	4.50	1.16	43	15/03/2009	3.88	0.80
14	14/02/2009	4.60	1.30	44	16/03/2009	4.20	1.20
15	15/02/2009	3.80	0.90	45	17/03/2009	3.58	1.50
16	16/02/2009	2.50	1.00	46	18/03/2009	3.88	1.16
17	17/02/2009	4.50	1.00	47	19/03/2009	3.60	1.30
18	18/02/2009	4.15	1.10	48	20/03/2009	3.86	0.90
19	19/02/2009	4.40	1.30	49	21/03/2009	4.12	1.00
20	20/02/2009	5.16	1.10	50	22/03/2009	4.60	1.00
21	21/02/2009	5.30	0.90	51	22/03/2009	3.80	1.10
22	22/02/2009	4.22	0.80	52	24/03/2009	4.40	0.80
23	23/02/2009	5.00	0.80	53	25/03/2009	3.40	0.90
24	24/02/2009	5.20	0.90	54	26/03/2009	3.90	1.10
25	25/02/2009	4.96	0.60	55	27/03/2009	4.40	1.20
26	26/02/2009	4.60	0.80	56	28/03/2009	3.82	0.90
27	27/02/2009	6.20	0.90	57	29/03/2009	3.90	0.80
28	28/02/2009	3.98	0.90	58	30/03/2007	4.20	0.80
29	01/03/2009	3.60	1.10	59	31/03/2009	4.20	1.10
30	02/03/2009	3.40	0.90	60	01/04/2009	4.10	0.90

A partir de los valores tabulados se construyó la distribución de tendencias que se muestra en la **Figura 4.2.5.**, denominada "Variación de la Concentración del Hierro en el efluente doméstico, durante su tratamiento en el humedal piloto", los resultados confirman la capacidad remocional del humedal piloto.



Figura 4.2.5.



**4.2.6. Remoción de Coliformes Fecales.-** Con el total de las observaciones (30 interdiarias, 2 por día), llevadas a cabo en el humedal piloto se confeccionó la tabla siguiente:

Tabla 4.2.6.

**Monitoreo de las Observaciones para la Remoción de los Coliformes Fecales en el Humedal Piloto**

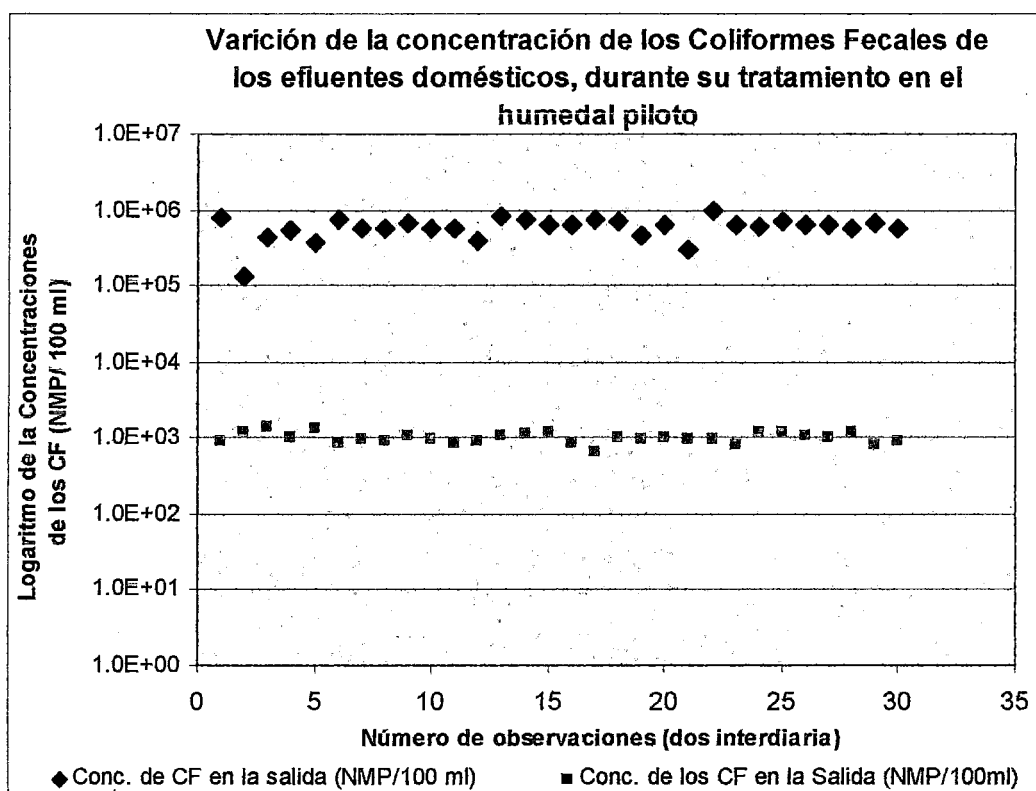
Observac.	DIA	EH - CF NMP/100ml	SH - CF NMP/100ml	Observac.	DIA	EH - CF NMP/100ml	SH - CF NMP/100ml
1	01/02/2009	8.0.E+05	9.30.E+02	16	03/03/2009	6.3.E+05	8.50.E+02
2	03/02/2009	1.3.E+05	1.20.E+03	17	05/03/2009	7.5.E+05	6.50.E+02
3	05/02/2009	4.3.E+05	1.40.E+03	18	07/03/2009	6.9.E+05	1.00.E+03
4	07/02/2009	5.3.E+05	1.00.E+03	19	09/03/2009	4.6.E+05	9.60.E+02
5	09/02/2009	3.6.E+05	1.30.E+03	20	11/03/2009	6.3.E+05	1.00.E+03
6	11/02/2009	7.6.E+05	8.50.E+02	21	13/03/2009	2.9.E+05	9.80.E+02
7	13/02/2009	5.8.E+05	9.60.E+02	22	15/03/2009	9.6.E+05	9.60.E+02
8	15/02/2009	5.6.E+05	9.00.E+02	23	17/03/2009	6.3.E+05	8.00.E+02
9	17/02/2009	6.6.E+05	1.05.E+03	24	19/03/2009	6.1.E+05	1.20.E+03
10	19/02/2009	5.7.E+05	9.50.E+02	25	21/03/2009	7.2.E+05	1.20.E+03
11	21/02/2009	5.8.E+05	8.50.E+02	26	23/03/2009	6.3.E+05	1.10.E+03
12	23/02/2009	3.9.E+05	9.00.E+02	27	25/03/2009	6.3.E+05	1.00.E+03
13	25/02/2009	8.3.E+05	1.10.E+03	28	27/03/2009	5.6.E+05	1.20.E+03
14	27/02/2009	7.3.E+05	1.12.E+03	29	29/03/2009	6.6.E+05	8.00.E+02
15	01/03/2009	6.5.E+05	1.20.E+03	30	31/03/2009	5.8.E+05	9.00.E+02

NMP/100ml: Número Más Probable en 100 ml.

A partir de las observaciones tabuladas se obtiene la Figura 4.2.6. "Variación de la concentración de los CF de los efluentes domésticos, durante su tratamiento en el humedal piloto", podemos apreciar las

variaciones de las concentraciones de los Coliformes Fecales en las pruebas realizadas en el humedal artificial en general, es capaz de una reducción de coliformes fecales de entre  $9.6.E+05$  a  $6.50.E+02$  con tiempos de retención hidráulica de  $6 \frac{1}{2}$  días que en muchos casos es suficiente para satisfacer los requisitos de la descarga que a menudo especifican  $< 1000$  NMP/100 ml. La figura siguiente, muestra los resultados obtenidos en un total de 30 observaciones de Ingresos y Salidas del Humedal piloto.

**Figura 4.2.6.**



Para asegurar la calidad del efluente por la presencia de CF residuales se dispondrá de una desinfección final con hipoclorito de sodio.

La experiencia nos permite determinar que con ayuda del una dosis óptima 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 1000 NMP/100ml.

## CAPITULO V

### DISCUSION DE RESULTADOS

**5.1. Contrastación de hipótesis con los resultados.-** Para la contrastación de Hipótesis con los resultados, tal como lo explicamos en el Capítulo III, se utilizó el procedimiento **Estadístico de Prueba de Hipótesis**, con nivel de significancia de 0.01 (1%), el mismo que se ejecuta en cinco pasos y finalmente se realiza una comprobación a través del procedimiento de intervalos de confianza, esta contrastación se efectuará para cada indicador de la variable dependiente, siendo la media muestral, ( $\bar{X}$ ), equivalente al Límite Máximo Permisible (LMP), del indicador.

**5.1.1. Contrastación de la DBO<sub>5</sub>.**- Según el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis para investigar si el indicador DBO<sub>5</sub>, cuyo valor LMP, asciende a 15 mg/L, de la variable dependiente, Concentración de componentes físicos químicos, que se muestra a continuación:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "La media poblacional es 15 mg de DBO<sub>5</sub>/L". La hipótesis alternativa es "La media es diferente de 15 mg de DBO<sub>5</sub>/L" o "La media no es 15 mg DBO<sub>5</sub>/L", las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: \mu = 15$$

$$H_1: \mu \neq 15$$

Esta es una prueba de dos colas debido a que la hipótesis alternativa no establece una dirección, en otras palabras, no establece si la media es mayor o menor que 15.

**Paso 2:** Aplicando un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error de tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** El estadístico de prueba para una media es z, cuya fórmula de

cálculo es la siguiente:

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

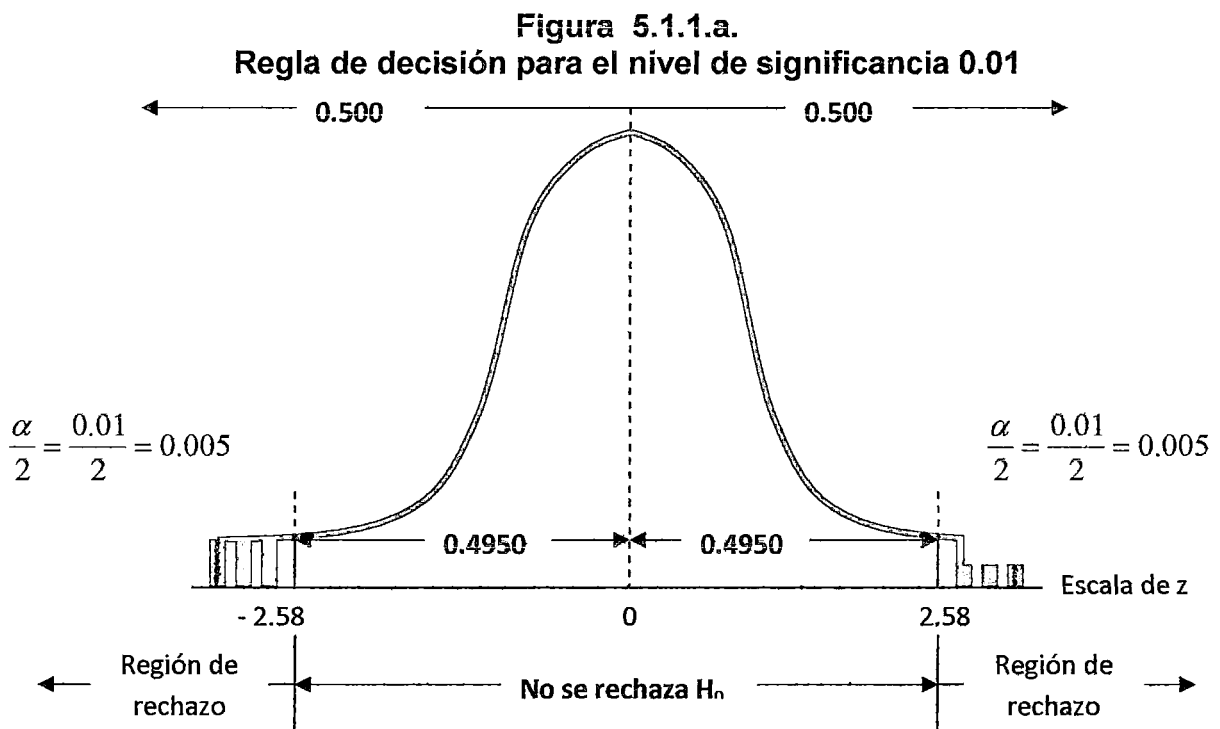
$\mu$ : Media poblacional,

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

$n$ : Número en la muestra.

**Paso 4:** La regla de decisión se formuló hallando el valor crítico de  $z$ , utilizando la Tabla 5.16. "Áreas bajo la curva normal", la misma que se muestra en el Apéndice.

Puesto que ésta es una prueba de dos colas, la mitad de 0.01, es decir 0.005, está en cada cola. El área en la que no se rechaza  $H_0$ , localizada entre las dos colas, es por consiguiente, 0.99. La Tabla 5.16., se basa en sólo la mitad del área bajo la curva, o sea 0.5000. Luego,  $0.5000 - 0.005$  es 0.4950, y así este valor de 0.4950 es el área entre 0 y el valor crítico. Localizando 0.4950 en la tabla. El valor más cercano a 0.4950 es 0.4951. Luego se lee el valor crítico en la fila y la columna correspondientes a 0.4951. Este valor es 2.58. La curva normal de esta situación se muestra en la figura siguiente:



Por consiguiente, la regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la media poblacional no es 15), si el valor  $z$  calculado no queda en la región entre -2.58 y 2.58. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula si  $z$  queda entre -2.58 y 2.58.

**Paso 5:** Se tomará una población (30 observaciones); se calcula  $z$  y con base en la regla de decisión de rechazar o no  $H_0$ .

### Descripción del Estadístico

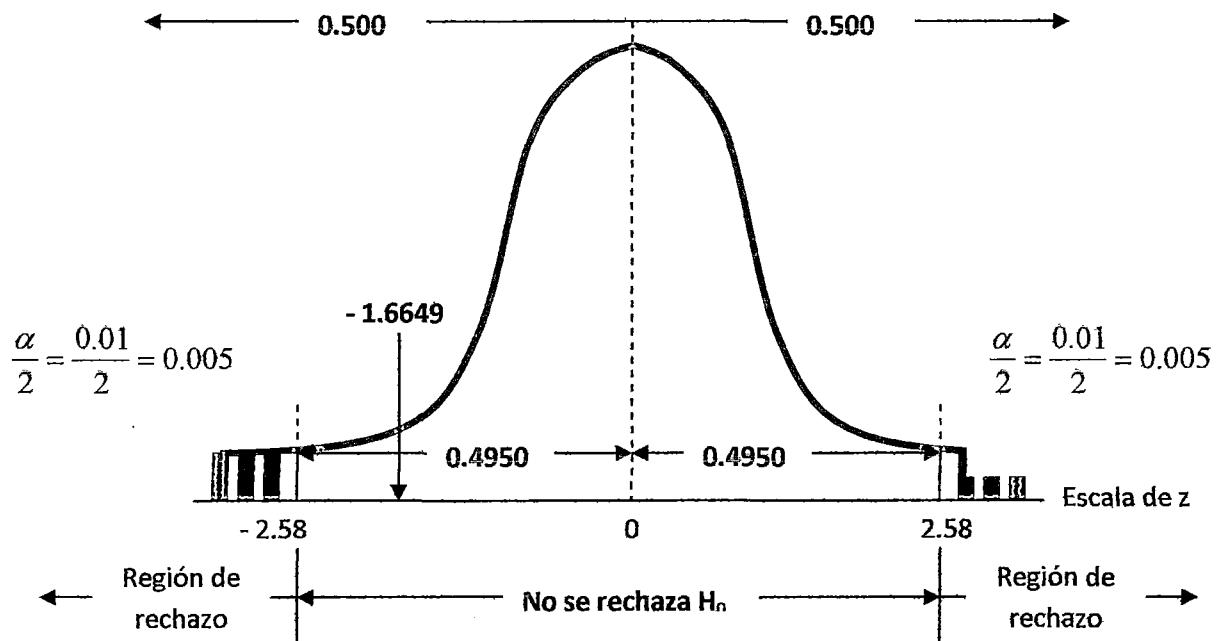
	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación Estándar
DBO <sub>5</sub> a la Salida del Humedal	30	13.00	16.00	14.7133	0.94312
Valores de N validos	30				

$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ , reemplazando los valores en z, se tiene:

$$z = \frac{14.7133 - 15}{0.94312/\sqrt{30}} = \frac{-0.2867}{0.94312/5.4772} = \frac{-0.2867}{0.1722} = -1.6649$$

$z = -1.6649$ , lo que se detalla en la figura siguiente:

**Figura 5.1.1.b.**  
Prueba del Valor Z de No Rechazo para el nivel de significancia 0.01



Como el valor hallado de  $z = -1.6649$ , se halla dentro de la zona de no rechazo, es decir entre los valores de  $-2.58$  y  $2.58$ , entonces de acuerdo a la regla de decisión no se rechaza la hipótesis nula, ( $H_0 = 15$  mg DBO<sub>5</sub>/L).

Para comprobar el procedimiento de prueba de hipótesis, se determinó el intervalo de confianza a través de la ecuación:  $\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,  
n: Número en la muestra,

$\sigma$ : Desviación estándar.

Luego reemplazando valores se tendrá el intervalo de confianza:

$$14.7133 \pm (2.58) \frac{0.94312}{\sqrt{30}} = 14.7133 \pm (2.58) \frac{0.94312}{5.4772} = 14.7133 \pm 0.44376$$

Este intervalo de confianza iría de 15.1571 mg de DBO<sub>5</sub>/L a 14.2694 mg de DBO<sub>5</sub> /L, el valor 15 mg de DBO<sub>5</sub>/L que corresponde al valor del indicador en su Límite Máximo Permissible se encuentra dentro del intervalo de confianza, por lo que se concluye que la hipótesis se ha demostrado, contrastando esta con el resultado.

**5.1.2. Contrastación de los SST.-** Siguiendo el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis para investigar si el indicador SST, cuyo valor LMP asciende a 10 mgr/L, de la variable dependiente, Concentración de componentes físicos químicos, el mismo que se detalla en cinco pasos, como lo hiciéramos con la BBO<sub>5</sub>.

**Paso 1:** La hipótesis nula es "La media poblacional es 15 mg de SST/L". La hipótesis alternativa es "La media es diferente de 15 mg de SST/L" o "La media no es 15 mg SST/L", las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: \mu = 15$$

$$H_1: \mu \neq 15$$

Esta es una prueba de dos colas debido a que la hipótesis alternativa no establece una dirección, en otras palabras, no establece si la media es mayor o menor que 15.

**Paso 2:** Aplicando un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error de tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** El estadístico de prueba para una media es z, cuya fórmula de cálculo es la siguiente:

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} ;$$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

$\mu$ : Media poblacional,

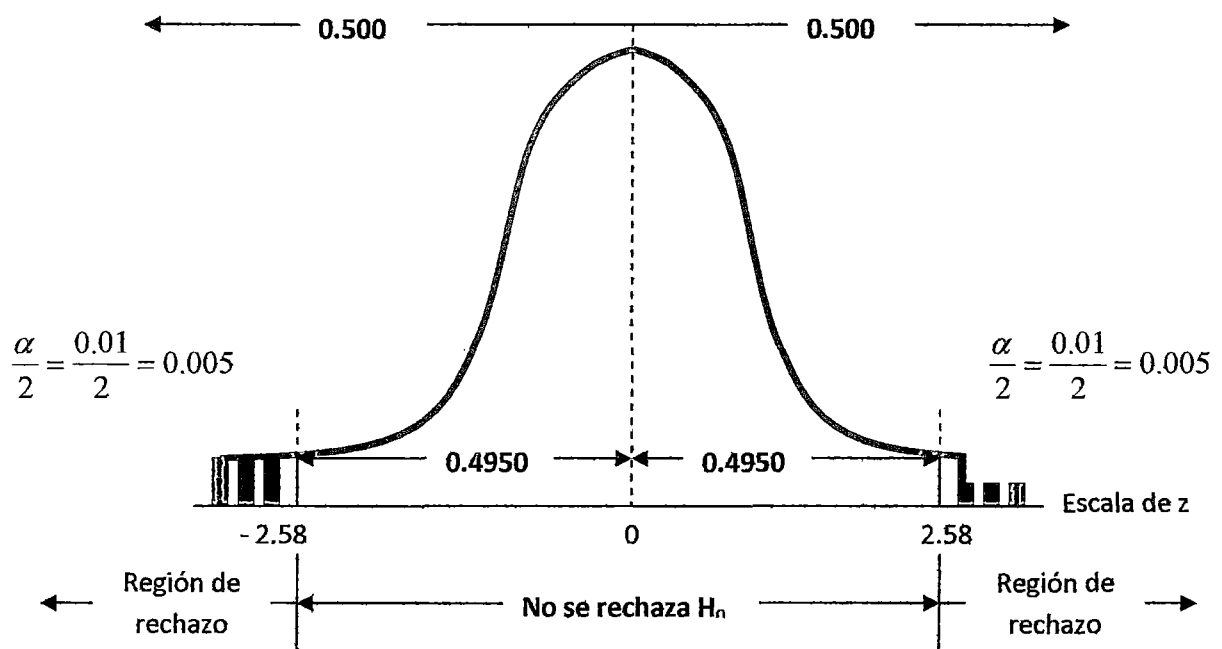
$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

n: Número en la muestra.

**Paso 4:** La regla de decisión se formuló hallando el valor crítico de  $z$ , utilizando la Tabla 5.16. "Áreas bajo la curva normal", la misma que se muestra en el Apéndice.

Puesto que ésta es una prueba de dos colas, la mitad de 0.01, es decir 0.005, está en cada cola. El área en la que no se rechaza  $H_0$ , localizada entre las dos colas, es por consiguiente, 0.99. La tabla anterior, se basa en sólo la mitad del área bajo la curva, o sea 0.5000. Luego,  $0.5000 - 0.005$  es 0.4950, y así este valor de 0.4950 es el área entre 0 y el valor crítico. Localizando 0.4950 en la tabla. El valor más cercano a 0.4950 es 0.4951. Luego se lee el valor crítico en la fila y la columna correspondientes a 0.4951. Este valor es 2.58. La curva normal de esta situación se muestra en la figura siguiente:

**Figura 5.1.2.a.**  
**Regla de decisión para el nivel de significancia 0.01**



Por consiguiente, la regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la media poblacional no es 15), si el valor  $z$  calculado no queda en la región entre  $-2.58$  y  $2.58$ . En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula si  $z$  queda entre  $-2.58$  y  $2.58$ .

**Paso 5:** Se tomará una población (30 observaciones); se calcula  $z$  y con base en la regla de decisión de rechazar o no  $H_0$ .

### Descripción del Estadístico

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación Estándar
SST a la Salida del Humedal	30	10.00	18.00	13.9767	2.28287
Valores de N validos	30				

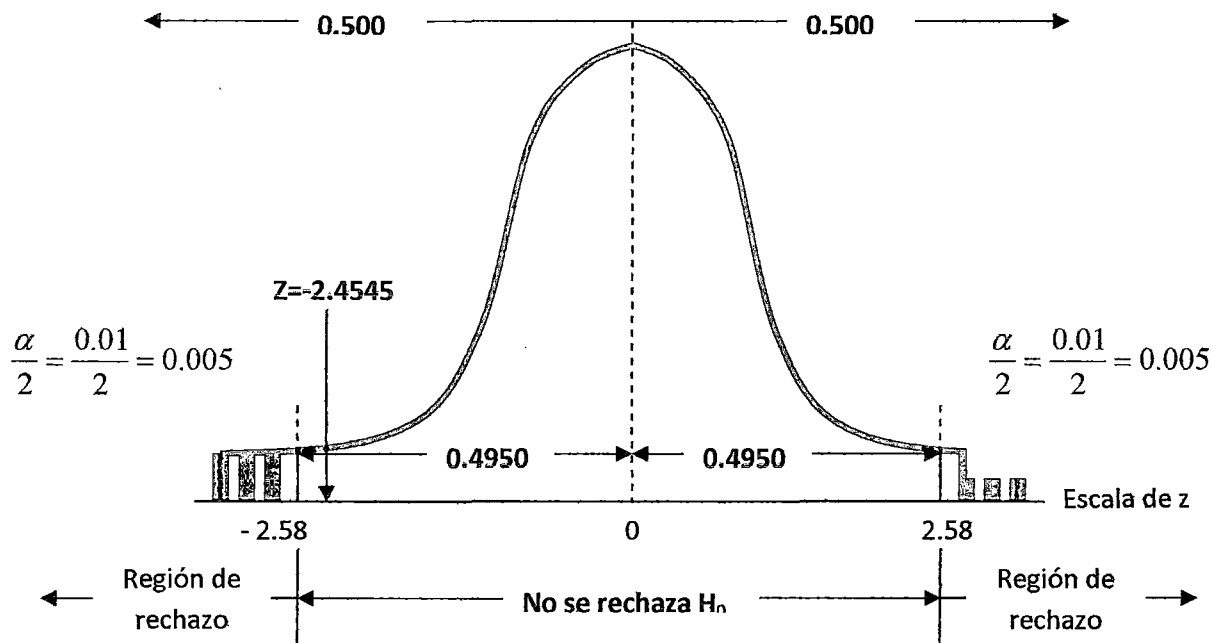
$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ , reemplazando los valores en z, se tiene:

$$z = \frac{13.9700 - 15}{2.28287/\sqrt{30}} = \frac{-1.02303}{2.28287/5.4772} = \frac{-1.02303}{0.41679} = -2.4545$$

$z = -2.4545$ , lo que se detalla en la figura siguiente:

**Figura 5.1.2.b.**

**Prueba del Valor Z de No Rechazo para el nivel de significancia 0.01**



Como el valor hallado de  $z = -2.4545$ , se halla dentro de la zona de no rechazo, es decir entre los valores de -2.58 y 2.58, entonces de acuerdo a la regla de decisión no se rechaza la hipótesis nula, ( $H_0 = 15$  mgr SST/L). Para comprobar el procedimiento de prueba de hipótesis, se determinó el intervalo de confianza a través de la ecuación:  $\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

$n$ : Número en la muestra.

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,



Luego reemplazando valores se tendrá el intervalo de confianza:

$$13.9767 \pm (2.58) \frac{2.28287}{\sqrt{30}} = 13.9767 \pm (2.58) \frac{2.28287}{5.4772} = 13.9767 \pm 1.3172$$

Este intervalo de confianza iría de 15.2939 mg de SST/L a 12.0595 mg de SST/L, el valor 15 mg de SST/L que corresponde al valor medio del indicador en su Límite Máximo Permisible, y se encuentra dentro del intervalo de confianza, por lo que se concluye que la hipótesis se ha demostrado, contrastando esta con el resultado.

**5.1.3. Contrastación de los Nitratos, ( $\text{NO}_3^-$ ).**- La contrastación se efectuó utilizando el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis, para investigar si el indicador  $\text{NO}_3^-$ , cuyo valor LMP asciende 10 mgr/L, de la variable dependiente, Concentración de componentes físicos químicos, el mismo que se detalla en cinco pasos, a continuación:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "La media poblacional es 10 mg de  $\text{NO}_3^-$  /L". La hipótesis alternativa es "La media es diferente de 10 mg de  $\text{NO}_3^-$  /L" o "La media no es 10 mg  $\text{NO}_3^-$  /L", las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: \mu = 10$$

$$H_1: \mu \neq 10$$

Esta es una prueba de dos colas debido a que la hipótesis alternativa no establece una dirección, en otras palabras, no establece si la media es mayor o menor que 10.

**Paso 2:** Aplicando un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error de tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** El estadístico de prueba para una media es z, cuya fórmula de

**cálculo** es la siguiente: 
$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}$$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

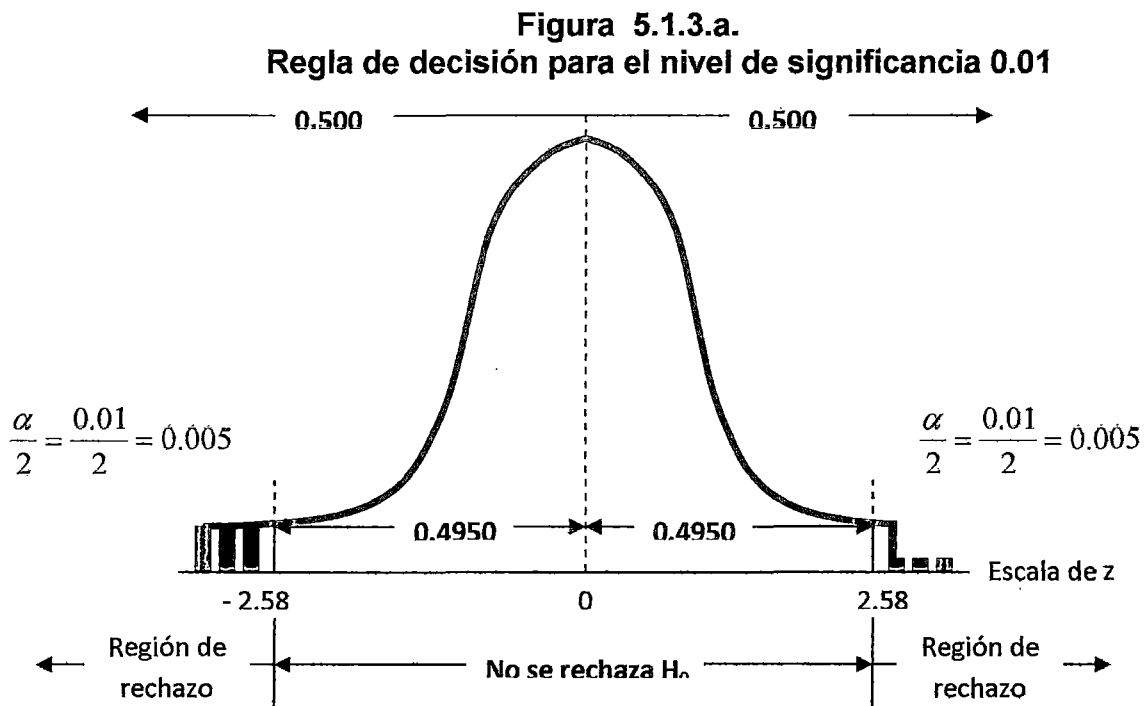
$\mu$ : Media poblacional,

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

$n$ : Número en la muestra.

**Paso 4:** La regla de decisión se formuló hallando el valor crítico de  $z$ , utilizando la Tabla 5.16. "Áreas bajo la curva normal", la misma que se muestra en el Apéndice.

Puesto que ésta es una prueba de dos colas, la mitad de 0.01, es decir 0.005, está en cada cola. El área en la que no se rechaza  $H_0$ , localizada entre las dos colas, es por consiguiente, 0.99. La tabla anterior, se basa en sólo la mitad del área bajo la curva, o sea 0.5000. Luego,  $0.5000 - 0.005$  es 0.4950, y así este valor de 0.4950 es el área entre 0 y el valor crítico. Localizando 0.4950 en la tabla. El valor más cercano a 0.4950 es 0.4951. Luego se lee el valor crítico en la fila y la columna correspondientes a 0.4951. Este valor es 2.58. La curva normal de esta situación se muestra en la figura siguiente:



Por consiguiente, la regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la media poblacional no es 10), si el valor  $z$  calculado no queda en la región entre -2.58 y 2.58. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula si  $z$  queda entre -2.58 y 2.58.

**Paso 5:** Se tomará una población (30 observaciones); se calcula  $z$  y con base en la regla de decisión de rechazar o no  $H_0$ .

### Descripción del Estadístico

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación Estándar
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> a la Salida del Humedal	30	8.00	10.80	9.7300	0.65292
Valores de N validos	30				

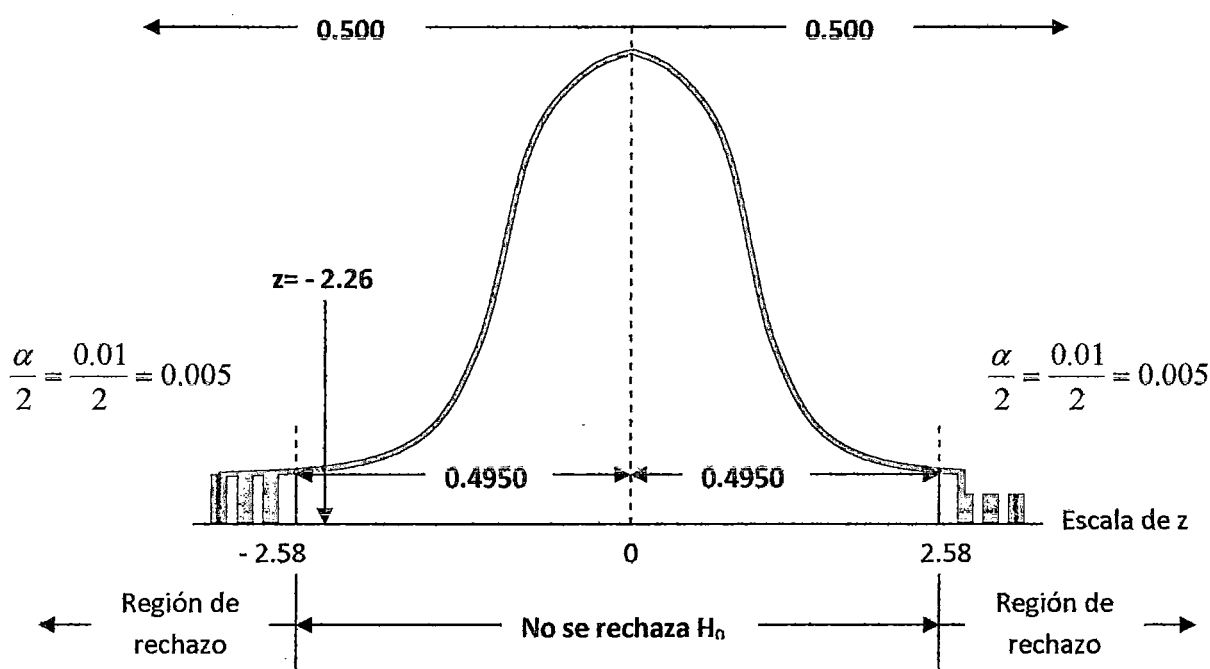
$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ , reemplazando los valores en z, se tiene:

$$z = \frac{9.73 - 10}{0.65292/\sqrt{30}} = \frac{-0.2700}{0.65292/5.4772} = \frac{-0.27}{0.1192} = -2.26$$

$z = -2.26$ , lo que se detalla en la figura siguiente:

Figura 5.1.3.b.

Prueba del Valor Z de No Rechazo para el nivel de significancia 0.01



Como el valor de  $z = -2.26$ , se halla dentro de la zona de no rechazo, es decir entre los valores de  $-2.58$  y  $2.58$ , entonces de acuerdo a la regla de decisión no se rechaza la hipótesis nula, ( $H_0 = 10 \text{ mgr NO}_3^- / \text{L}$ ).

Para comprobar el procedimiento de prueba de hipótesis, se determinó

el intervalo de confianza a través de la ecuación:  $\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

$n$ : Número en la muestra.

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

Luego reemplazando valores se tendrá el intervalo de confianza:

$$9.73 \pm (2.58) \frac{0.65292}{\sqrt{30}} = 9.73 \pm (2.58) \frac{0.65292}{5.4772} = 9.73 \pm 0.3075$$

Este intervalo de confianza iría de 9.4225 mg de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  a 10.0375 mg de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ , el valor 10.00 mg de  $\text{NO}_3^-/\text{L}$  que corresponde al valor medio del indicador en su Límite Máximo Permisible, y se encuentra dentro del intervalo de confianza, por lo que se concluye que la hipótesis se ha demostrado, contrastando ésta con el resultado.

**5.1.4. Contrastación de los Fosfatos, ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).**- La contrastación se efectuó utilizando el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis, para investigar si el indicador  $\text{PO}_4^{-3}$ , cuyo valor LMP asciende 1.00 mg/L, de la variable dependiente, Concentración de componentes físicos químicos, el mismo que se detalla en cinco pasos:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "La media poblacional es 1.00 mg de  $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$ ". La hipótesis alternativa es "La media es diferente de 1.00 mg de  $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$ " o "La media no es 1.00 mg  $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$ ", las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: \mu = 1.00$$

$$H_1: \mu \neq 1.00$$

Esta es una prueba de dos colas debido a que la hipótesis alternativa no establece una dirección, en otras palabras, no establece si la media es mayor o menor que 1.00.

**Paso 2:** Aplicando un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error de tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** El estadístico de prueba para una media es z, cuya fórmula de

cálculo es la siguiente:

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

$\mu$ : Media poblacional,

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

n: Número en la muestra.



### Descripción del Estadístico

	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación Estándar
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> a la Salida del Humedal	30	.60	1.70	1.0500	.31982
Valores de N validos	30				

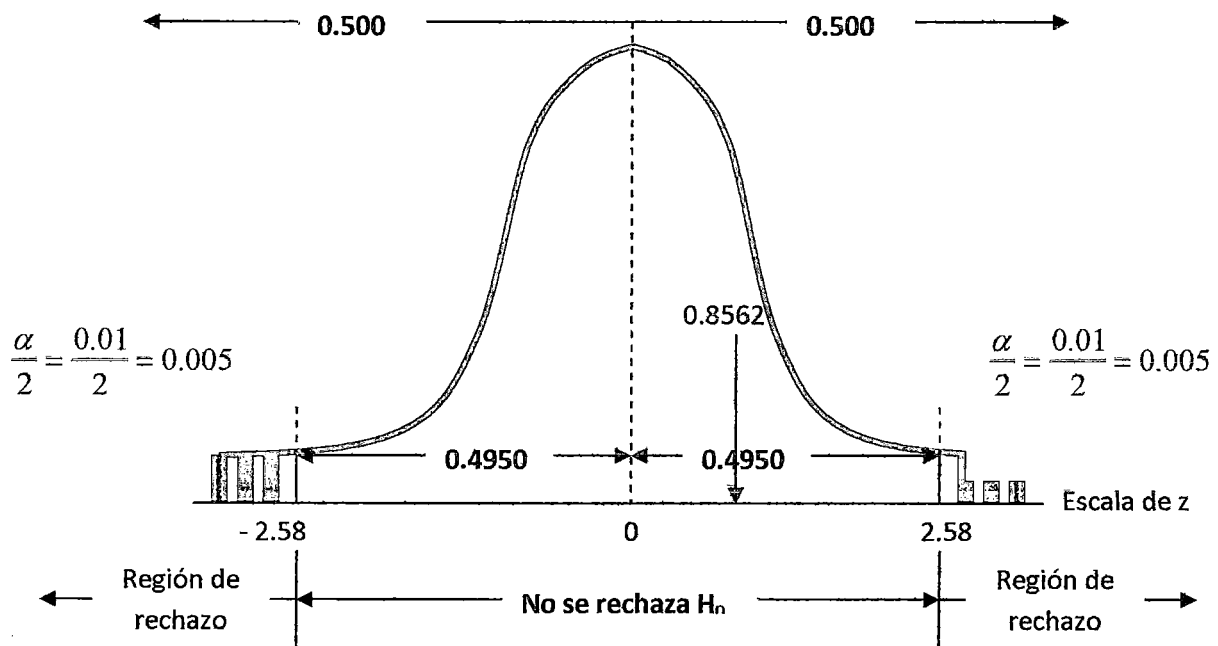
$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}, \text{ reemplazando los valores en } z, \text{ se tiene:}$$

$$z = \frac{1.05 - 1.0}{0.31982/\sqrt{30}} = \frac{0.05}{0.31982/5.4772} = \frac{0.05}{0.05839} = 0.8562$$

$z = 0.8562$ , lo que se detalla en la figura siguiente:

**Figura 5.1.4.b.**

**Prueba del Valor Z de No Rechazo para el nivel de significancia 0.01**



Como el valor hallado de  $z = 0.8562$ , se halla dentro de la zona de no rechazo, es decir entre los valores de -2.58 y 2.58, entonces de acuerdo a la regla de decisión no se rechaza la hipótesis nula, ( $H_0 = 1.00 \text{ mg PO}_4^{-3}/\text{L}$ ).

Para comprobar el procedimiento de prueba de hipótesis, se determinó el intervalo de confianza a través de la ecuación  $\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

n: Número en la muestra.

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

Luego reemplazando valores se tendrá el intervalo de confianza:

$$1.05 \pm (2.58) \frac{0.31982}{\sqrt{30}} = 1.05 \pm (2.58) \frac{0.31982}{5.4772} = 1.05 \pm 0.1506$$

Este intervalo de confianza iría de 0.8994 mg de  $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$  a 1.2006 mg de  $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$ , el valor 1.00 mg de  $\text{PO}_4^{-3}/\text{L}$  que corresponde al valor medio del indicador en su Límite Máximo Permisible, y se encuentra dentro del intervalo de confianza, por lo que se concluye que la hipótesis se ha demostrado, contrastando esta con el resultado.

**5.1.5. Contrastación de los Metales.-** Como se detalló en el ítem 4.2.5, el concepto de demostrar la capacidad de remoción de metales se evaluó la remoción del Hierro, por ello la contrastación se efectuó utilizando el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis, para investigar si el indicador Hierro (Fe), cuyo valor LMP asciende 1.00 mg/L, de la variable dependiente, Concentración de componentes físicos químicos, el mismo que se detalla en cinco pasos, como lo hiciéramos para los otros indicadores:

**Paso 1:** La hipótesis nula es "La media poblacional es 1.00 mg de Fe/L". La hipótesis alternativa es "La media es diferente de 1.00 mg de Fe/L" o "La media no es 1.00 mg Fe/L", las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: \mu = 1.00$$

$$H_1: \mu \neq 1.00$$

Esta es una prueba de dos colas debido a que la hipótesis alternativa no establece una dirección, en otras palabras, no establece si la media es mayor o menor que 1.00.

**Paso 2:** Aplicando un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error de tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** El estadístico de prueba para una media es z, cuya fórmula de

cálculo es la siguiente:  $z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ ;

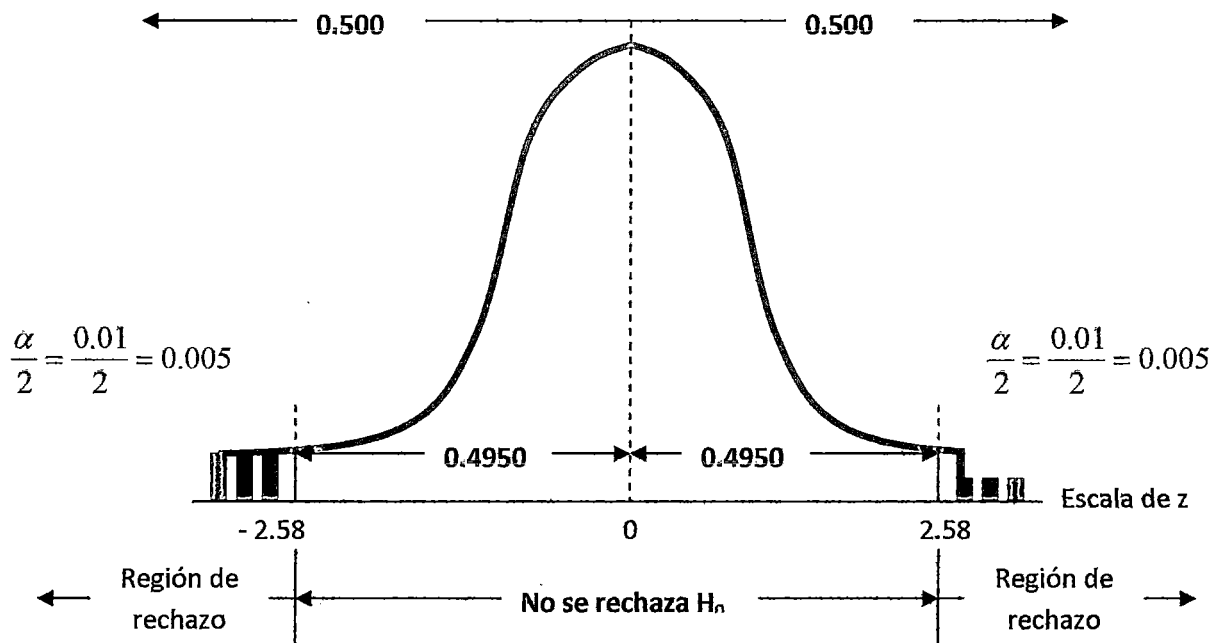
Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,  
 $\mu$ : Media poblacional,  
 $\sigma$ : Desviación estándar de la población,  
 $n$ : Número en la muestra.

**Paso 4:** La regla de decisión se formuló hallando el valor crítico de  $z$ , utilizando la Tabla 5.16. "Áreas bajo la curva normal", la misma que se muestra en el Apéndice.

Puesto que ésta es una prueba de dos colas, la mitad de 0.01, es decir 0.005, está en cada cola. El área en la que no se rechaza  $H_0$ , localizada entre las dos colas, es por consiguiente, 0.99. La tabla anterior, se basa en sólo la mitad del área bajo la curva, o sea 0.5000. Luego,  $0.5000 - 0.005$  es 0.4950, y así este valor de 0.4950 es el área entre 0 y el valor crítico. Localizando 0.4950 en la tabla. El valor más cercano a 0.4950 es 0.4951. Luego se lee el valor crítico en la fila y la columna correspondientes a 0.4951. Este valor es 2.58. La curva normal de esta situación se muestra en la figura siguiente:

**Figura 5.1.5.b.**

**Regla de decisión para el nivel de significancia 0.01**



Por consiguiente, la regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la media poblacional



no es 1.00), si el valor z calculado no queda en la región entre -2.58 y 2.58. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula si z queda entre -2.58 y 2.58.

**Paso 5:** Se tomará una población (30 observaciones); se calcula z y con base en la regla de decisión de rechazar o no  $H_0$ .

### Descripción del Estadístico

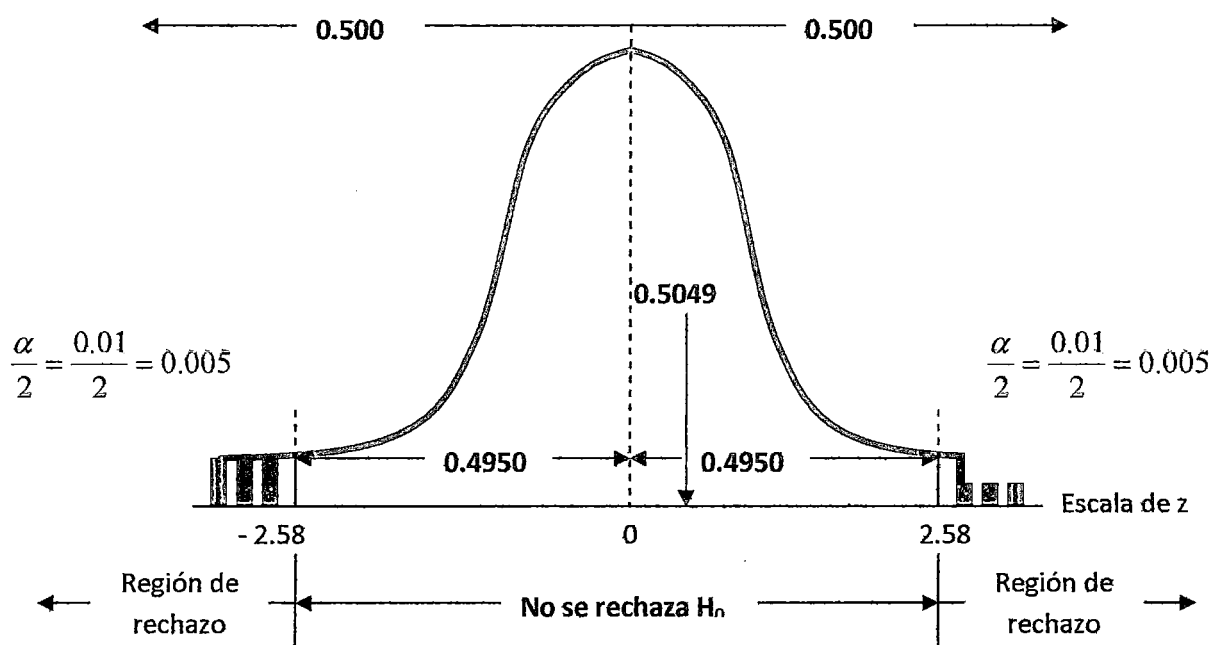
	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación Estándar
Fe a la Salida del Humedal	30	0.60	1.50	0.982	0.19528
Valores de N válidos	30				

$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ , reemplazando los valores en z, se tiene:

$$z = \frac{0.982 - 1.0}{0.19528/\sqrt{30}} = \frac{-0.018}{0.19528/5.4772} = \frac{-0.018}{0.03565} = 0.5049$$

$z = 0.5049$ , lo que se detalla en la figura siguiente:

**Figura 5.1.5.b.**  
Prueba del Valor Z de No Rechazo para el nivel de significancia 0.01



Como el valor hallado de  $z = 0.5049$ , se halla dentro de la zona de no rechazo, es decir entre los valores de -2.58 y 2.58, entonces de acuerdo

a la regla de decisión no se rechaza la hipótesis nula, ( $H_0 = 1.00$  mg Fe/L).

Para comprobar el procedimiento de prueba de hipótesis, se determinó el intervalo de confianza a través de la ecuación:  $\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

n: Número en la muestra.

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

Luego reemplazando valores se tendrá el intervalo de confianza:

$$0.982 \pm (2.58) \frac{0.19528}{\sqrt{30}} = 0.982 \pm (2.58) \frac{0.19528}{5.4772} = 0.982 \pm 0.0356$$

Este intervalo de confianza iría de 0.9464 mg de Fe/L a 1.0176 mg de Fe/L, el valor 1.00 mg de Fe/L que corresponde al valor medio del indicador en su Límite Máximo Permisible, y se encuentra dentro del intervalo de confianza, por lo que se concluye que la hipótesis se ha demostrado, contrastando esta con el resultado.

**5.1.6. Contrastación de los Coliformes Fecales.-** La contrastación al igual que en los otros parámetros se efectuó utilizando el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis, para investigar si el indicador en este caso Coliformes Fecales, cuyo valor LMP asciende 1000 NMP/100 ml, de la variable dependiente, Concentración de componentes físicos químicos, se hallan dentro del rango de aceptación.

**Paso 1:** La hipótesis nula es "La media poblacional es 1000 NMP/100 ml. La hipótesis alternativa es "La media es diferente de 1000 NMP/100 ml o "La media no es 1000 NMP/100 ml", las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: \mu = 1000$$

$$H_1: \mu \neq 1000$$

Esta es una prueba de dos colas debido a que la hipótesis alternativa no establece una dirección, en otras palabras, no establece si la media es mayor o menor que 1000.

**Paso 2:** Aplicando un nivel de significancia de 0.01, esto es  $\alpha$ , la probabilidad de cometer un error de tipo I, (rechazar la hipótesis verdadera).

**Paso 3:** El estadístico de prueba para una media es  $z$ , cuya fórmula de

**cálculo** es la siguiente: 
$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} ;$$

Donde:  $\bar{X}$  : es la media muestral,

$\mu$ : Media poblacional,

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

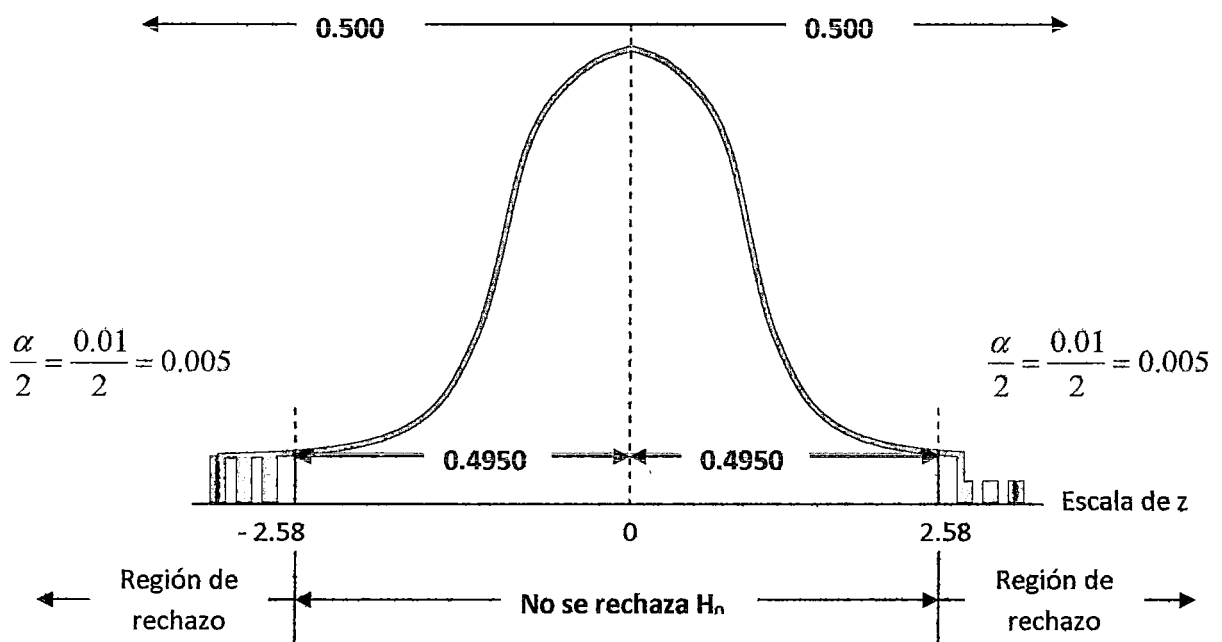
$n$ : Número en la muestra.

**Paso 4:** La regla de decisión se formuló hallando el valor crítico de  $z$ , utilizando la Tabla 5.16. "Áreas bajo la curva normal", la misma que se muestra en el Apéndice.

Puesto que ésta es una prueba de dos colas, la mitad de 0.01, es decir 0.005, está en cada cola. El área en la que no se rechaza  $H_0$ , localizada entre las dos colas, es por consiguiente, 0.99. La tabla anterior, se basa en sólo la mitad del área bajo la curva, o sea 0.5000. Luego,  $0.5000 - 0.005$  es 0.4950, y así este valor de 0.4950 es el área entre 0 y el valor crítico. Localizando 0.4950 en la tabla. El valor más cercano a 0.4950 es 0.4951. Luego se lee el valor crítico en la fila y la columna correspondientes a 0.4951. Este valor es 2.58. La curva normal de esta situación se muestra en la figura siguiente:

**Figura 5.1.6.a.**

**Regla de decisión para el nivel de significancia 0.01**



Por consiguiente, la regla de decisión es: rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa (que establece que la media poblacional no es 1000), si el valor z calculado no queda en la región entre -2.58 y 2.58. En caso contrario, no se rechaza la hipótesis nula si z queda entre -2.58 y 2.58.

**Paso 5:** Se tomará una población (30 observaciones); se calcula z y con base en la regla de decisión de rechazar o no  $H_0$ .

### Descripción del Estadístico

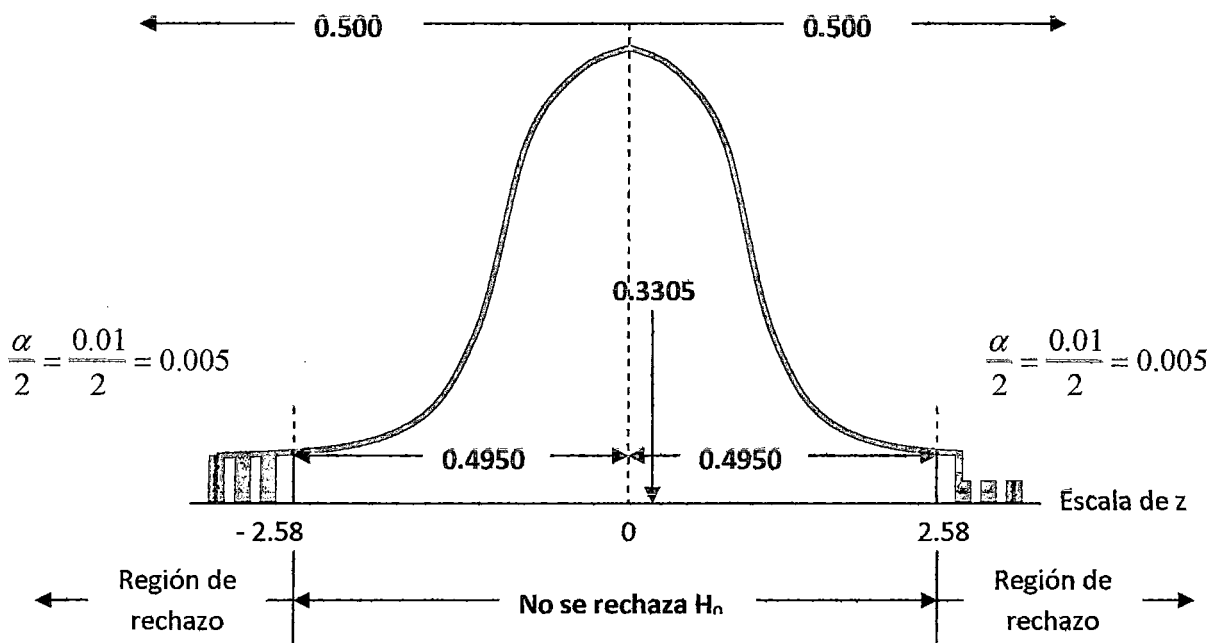
	N	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación Estándar
Coliformes Fecales (NMP/100 ml) a la Salida del Humedal	30	650	1200	1010	165.7061
Valores de N validos	30				

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}, \text{ reemplazando los valores en z, se tiene:}$$

$$z = \frac{1010 - 1000}{165.7061/\sqrt{30}} = \frac{10}{165.7061/5.4772} = \frac{10}{30.2537} = 0.3305$$

$z = 0.3305$ , lo que se detalla en la figura siguiente:

**Figura 5.1.6.b.**  
Prueba del Valor Z de No Rechazo para el nivel de significancia 0.01



Como el valor hallado de  $z = 0.3305$ , se halla dentro de la zona de no rechazo, es decir entre los valores de  $-2.58$  y  $2.58$ , entonces de acuerdo a la regla de decisión no se rechaza la hipótesis nula, ( $H_0 = 1000$  NMP/100 ml).

Para comprobar el procedimiento de prueba de hipótesis, se determinó el intervalo de confianza a través de la ecuación:  $\bar{X} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Donde:  $\bar{X}$ : es la media muestral,

$n$ : Número en la muestra.

$\sigma$ : Desviación estándar de la población,

Luego reemplazando valores se tendrá el intervalo de confianza:

$$1010 \pm (2.58) \frac{165.7061}{\sqrt{30}} = 1010 \pm (2.58) \frac{165.7061}{5.4772} = 1010 \pm 30.2703$$

Este intervalo de confianza iría de  $979.72$  NMP/100 ml a  $1040.27$  NMP/100 ml, el valor  $1000$  NMP/100 ml que corresponde al valor medio del indicador en su Límite Máximo Permisible, y se encuentra dentro del intervalo de confianza, por lo que se concluye que la hipótesis se ha demostrado, contrastando esta con el resultado.

## 5.2. Contrastación de resultados con otros estudio similares.

**5.2.1. Los resultados con respecto a la  $DBO_5$ .**- Obtenidos en el humedal piloto, para un tiempo de retención de 6.5 días, indican que el sistema utilizando papiros sembrados sobre piedra chancada, pueden reducir de forma significativa la  $DBO_5$  de  $140$  mg/L en el afluente, mientras que en el efluente se obtuvo valores por debajo del LMP  $13$  mg/L, es decir  $90.71$  % de remoción, siendo este mayor a casos tales como los llevados en la ciudad de Benton, Kentucky USA, en la operación a tamaño real, desde marzo a noviembre de 1988, 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 días, (33).

Otros casos, que se muestran en anexos, tabla 5.17. "Remoción total de  $DBO_5$  observada en humedales de Flujo Subsuperficial", tenemos:

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 días, (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 días, (19).

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 días. (4).

**5.2.2. Los resultados con respecto a los SST.-** Obtenidos en el humedal piloto, para un tiempo de retención de 6.5 días, indican que el sistema utilizando papiros sembrados sobre piedra chancada, pueden reducir de forma significativa los SST de 110 mg/L en afluente, mientras en el efluentes se tiene 10.00 mg/L, es decir 90.90 % de remoción, siendo este ligeramente menor al caso registrado de 96 % de remoción en Boca Ratón, (6).

**5.2.3. Los resultados con respecto a los Nitratos.-** Obtenidos en el humedal piloto, determinan una remoción del orden del 50.06 % para un afluente de 16.20 mg/L y efluente de 8.00 mg/L, (no obstante el 70% de los valores registrados a la salida se hallan dentro de los LMP), mientras el registrado en Santee, fue capaz de retirar 86%, mientras otros sistemas reportan remociones del orden del 20 a 70% para tiempos de retención de mayores de 6 a 7 días, para el caso de valores de Nitrógeno total se puede esperar una concentración en el efluente de 10 mg/L, suponiendo que la concentración de nitrógeno en el afluente 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 desnitrificación se puede lograr con tiempos de retención de 2 a 4 d. (29).

**5.2.4. Los resultados con respecto a los Fosfatos.-** Los resultados de remoción son del orden del 94.50 % para un afluente con 9.60 mg/L y

efluente con 0.50 mg/L, mientras otras experiencias reportan remociones del orden del 10 al 40 % para concentraciones del orden del 7 y 10 mg/L, (29).

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 0.55 kg/ha-d).

**5.2.5. Los resultados con respecto a los Metales.-** Para nuestro caso se evaluó el Hierro total (Fe), siendo la remoción del orden de 90.30 %, para efluente con 6.20 mg/L y efluente de 0.60 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 94.40 %, según, (29).

**5.2.6. Los resultados con respecto a los 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  $9.6 \times 10^5$  NMP / 100mL mientras en el efluente la concentración es del orden de 650 NMP / 100ml, similares remociones se reportan para experiencias desarrolladas en Santee, California en que se reportan remociones del orden del 99.00 % (reducción de 2 unidades logarítmicas de Coliformes Totales, para tiempos de retención de 6 días). (29).

## CONCLUSIONES

- a. El consumo medido por persona fue de 600 L/persona x día, cuatro veces los valores típicos de 150 L/persona x día para comunidades rurales y dos veces el promedio en la ciudad de Lima (300 L/persona x día).
- b. El caudal aforado de los efluentes domésticos generados en la ciudad de San Juan de Marcona fue de 69.605 L/s.

Mientras la composición promedio de los desagües es la siguiente:

DBO <sub>5</sub> (mg/L)	:	96.5
DQO (mg/L)	:	502.35
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	:	98.33
Cloruros (mg/L)	:	471
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	:	$2.7 \times 10^9$
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	:	$1.1 \times 10^7$
Temperatura mínima del agua (°C)	:	14

- c. De acuerdo a las concentraciones de DQO y DBO<sub>5</sub> obtenidas, la relación DQO/DBO<sub>5</sub> 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.
- d. Las pruebas de tratamiento con el humedal piloto validado, se realizaron teniendo en cuenta los siguientes parámetros de control:

Caudal	:	86 L/día
Período de retención	:	6.5 d
Lecho del filtro	:	Piedra chancada de diámetro de 1/4"
Vegetales	:	Papiros

- e. La DBO<sub>5</sub> removida de los efluentes domésticos en el humedal piloto de Flujo Subsuperficial, alcanzó 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).

- f. Los SST removidos de los efluentes domésticos en el humedal piloto de Flujo Subsuperficial, alcanzó el 90.90 %, (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 LMP de la clase III se encuentra en el rango de 10 a 20 mg/L.
- g. Los Nitratos removidos de los efluentes domésticos en el humedal piloto de Flujo Subsuperficial, alcanzó el 50.06%, (entre el rango: entrada 16.20 mg/L y salida 8.00 mg/L), siendo el LMP de 10 mg/L el exigido por la clase III, para su uso en agua de riego.
- h. Los Fosfatos removidos alcanzaron el 94.50%, (para un afluente con 9.60 mgr/L y efluente con 0.50 mgr/L), el residual es un nutriente importante para los otros vegetales que recibirán el agua al momento de su uso en el riego.
- i. El Hierro alcanzo una remoción del 90.30 %, logrando un residual en el efluente tratado de 0.6 mg/L, es decir muy por debajo del límite exigido por la clase III (1.0 mg/L).
- j. En la remoción de organismos patógenos para el caso de los Coliformes Fecales se logró una remoción del orden del 99.99%, siempre por debajo de un residual de exigido por la clase III, es decir 1000 NMP/100 ml.
- k. 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, que tengan climas tropicales, subtropicales e inclusive secos escasos de agua.
- l. La implementación de los humedales artificiales para el tratamiento de los efluentes domésticos generará un impacto ambiental positivo, creando un área verde, cuyo mantenimiento, seria fuente de ingresos

económicos para varias familias, al utilizar las fibras vegetales obtenidas de los papiros para fabricar diversas artesanías, (canastas, petates, etc).

- m. De acuerdo a los resultados obtenidos en el humedal piloto, se estima una Carga Superficial ( $C_s$ ) =  $0.025 \text{ m}^3 / \text{m}^2/\text{d}$ , entonces para el Caudal de 69.605 L/s es decir  $6,013.872 \text{ m}^3/\text{día}$ , se requerirá un Área:  $240,554.88 \text{ m}^2$ , aproximadamente 24 ha, ver Cuadro 6. "Caudal Promedio y Área requerida para los humedales, en apéndice", área con la que cuenta la ciudad de SJM.
- n. De acuerdo a la concepción de los humedales, para su implementación estos requieren menos costos de inversión, así como los gastos de operación y mantenimiento bajos. (energía y suministros)
- o. Generalmente requieren grandes extensiones de terreno, comparado con los tratamientos convencionales. El tratamiento con humedales puede ser relativamente más barato que otras opciones, solo en el caso de tener terreno disponible y asequible.

## RECOMEDACIONES

- a. Se recomienda la implementación de los humedales artificiales como sistema de tratamiento de los efluentes de la ciudad de SJM, para cada uno de los seis vertimientos hallados.
- b. Se recomienda reducir la dotación per cápita de agua que se entrega por habitante (600 L/día), por lo menos a una dotación similar al promedio de la ciudad de Lima (300 L/día).
- c. Al reducirse la dotación per cápita es decir haciéndola similar al promedio de la ciudad de Lima (300 L/día), se eliminaría el suministro de agua salada, (40 L/s, es decir 288 L/hab.día), de modo que el caudal estimado del efluente se reduciría aproximadamente a 34.80 L/s.
- d. De reducirse el suministro de servicio del agua potable, e independientemente del sistema de tratamiento que se adopte para tratar los efluentes generados en la ciudad de SJM, la planta de tratamiento solo trataría 34.80 L/s en promedio, diferente de los 69.6 L/s aforados, o los estimados por el Departamento de Medio Ambiente de SHP de 73.1 L/s a 36.55 L/s, siendo por tanto una planta de menor dimensiones y menor costo de inversión.
- e. El tratamiento de efluentes por el sistema de humedales artificiales de régimen subsuperficial, es viable para implementarse en ciudades en desarrollo y que dispongan de área de terreno suficiente para una Carga Superficial ( $C_s$ ) =  $0.025 \text{ m}^3 / \text{m}^2/\text{d}$ , como promedio.
- f. Se recomienda utilizar en los humedales artificiales otros tipos de vegetales, que se adapten al clima de la región, y cuya fibra se pueda aprovechar con el fin de confección de artesanías o se pueda aprovechar este para otros usos.

## REFERENCIALES

1. ANSOLA, G. & DE LUIS, E. **"Concentración de nutrientes en helófitos acuáticos utilizados en depuración de agua residual"**. *Limnetica*, Vol. 10: 33 a 36, 1994.
2. ANSOLA, G.; FERNÁNDEZ, C. & DE LUIS, E. **"Removal of organic matter and nutriens from urban wastewater by using an experimental emergent aquatic macrophyte system"**. *Ecological Engineerin*. Cap 5: pág. 13 a 19, 1995.
3. APHA, AWWA & WPCF. **"Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales"**. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992.
4. 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.
5. BRIX, H. **"Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants-the root zone method."** *Water. Sci. Technol*, pág. 107 -118, 1987.
6. BRIX, H. **"Wasterwater Treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Perfomance, in G.A. Moshiri, (ed.) Constructed Weatlands for Water Quality Improvement"**, Lewis Publishers. Boca Raton, pág. 9 – 22, 1993.
7. BRIX, H. & SCHIERUP H.H. **"The use of aquatic macrophytes in water-pollution control"**, *Ambio*, pág. 100-107, 1989.
8. BRODIE, G. A., D. A. HAMMER, AND D. A. TOMLJANOVICH, **"Treatment of Acid Drainage with a Constructed Wetland at the Tennessee Valley Autority 950 Cola Mine, in D. A. Hammer (ed), 1989)**
9. CANO A. A. J, COLLADO L. R, **"La lenteja de agua como sistema blando de depuración de aguas residuales de bajo coste"**, en *Tecnología del Agua* Nº. 174, pág 18-25. marzo de 1998.

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.
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.
12. CRITES, AND TCHOBANOGLOUS; "Small & Decentralized Wastewater Management Systems"; Ed. Mc Graw Hill, Pág. (563-640), 1998.
13. EDITORES: HARBERL R., PERFLER R., LABER J., COOPER P. "Wetland Systems for water pollution control 1996, en Water Science and Technology", Vol 35, Nº 5, 1997.
14. EDITORES: KADLEC R.H., BRIX H, "Wetland systems for water pollution control 1994, en Water Science and Technology", Vol 32, Nº 3, 1995.
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.
16. ESTEINER, G.R.; WATSON, J.T. & CHOATE, K.D. 1993. "General desing, Construction, Operation Guidelines for Small Constructed Wetlands Wastewater Treatment System", LEWIS PUBLISHER. 1993.
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.
18. GARCÍA, J. RUIZ, A. & JUNQUERTAS, X., Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidos. Tecnología del Agua. Nº 165: pág. 58-65. 1997.

19. GERBERSG, R. M., B. V. ELKINS, R. LYONS, AND C.R. GOLDMAN, **Role of Aquatic Plants in Wastewater Treatment by Artificial Wetlands**, *Water Research*, Vol. 20, pág. 363 – 367 (1985).
20. GLYNN HENRY; GARY W: HEINKE, **Ingeniería Ambiental**, México: Ed. Prentice Hall; Segunda Edición, 1996.
21. HAMMER, D.A. **Creating Freshwater Wetlands**, Boca Raton, FL. Lewis Publishers, 1992.
22. HERNANDEZ MUÑOZ; HERNANDEZ LEHMANN, **Manual de Depuración Uralíta**, Madrid: Ed. Paraninfo S.A, Primera edición, 1995.
23. KAYS, W. B., **Construction of living for Reservoirs, Tanks, and Pollution Control Faciliyies**, Ney Cork: 2nd ed., Wilwy – Interscience, 1986.
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*. Pág. 7-12. 1992.
25. METCALF AND EDDY, **Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización**, 3ª Ed, Mc Graw-Hill, 1995.
26. REED S.C, CRITES R.W, MIDDLEBROOKS, E.J, **Natural systems for waste management and treatment**, USA: 2ª Ed, McGraw-Hill, 1995.
27. REED, S. C, **Natural Systems for Wastewater Treatment, Manual Of Practice FD-16**, **Water Pollution Control Federation (WEF)**, Alexandria, VA, 1990.
28. REED, S. C, RONALD CRITES, **Natural Wastewater Treatment Systems**, USA: Published by CRC. Press, Taylor & Francis Group 2006
29. RON CRITES, GEORGES TCHOBANOGLOUS; **Sistema de Manejo de Aguas Residuales**; Ed. Mc Graw Hill, Pág. 2º Tomo (601-602), 2000.
30. TORRES BARDALES, C. **El Proyecto de Investigación Científica**. Lima: Editorial Libros y Publicaciones, Tercera Edición 2005, 251 pp.

31. TORRES BARDALES, C. **Metodología de la Investigación Científica.** Lima: Editorial Libros y Publicaciones, Novena Edición 2007, 376 pp.
32. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, **Desing Manual Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment,** USA: EPA, 1988.
33. WATSON, J. T., S. C. REED, R. H. KADLEC, R. L. KNIGHT, AND A.E. WHITEHOUSE, **Perfomance 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.
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.

## APENDICE

**Cuadro 1.1. "Matriz de Consistencia"**

TÍTULO DE LA TESIS: TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES DOMÉSTICOS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL RIEGO DE ÁREAS VERDES EN EL DISTRITO DE SAN JUAN DE MARCONA						
Según la estructura de la codificación propuesta por la ANR - (Plan Nacional CTI). Además incluye el código del campo según UNESCO.						
ÁREA	SECTOR	SUBSECTOR	LÍNEA	CAMPO (UNESCO)		
CÓDIGO: 03	CÓDIGO: 0302	CÓDIGO: 030200	CÓDIGO: 03020006	CÓDIGO: 33		
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES			MÉTODO A EMPLEAR
			VARIABLE	INDICADOR	INDICE	
<p>Contaminación Ambiental de la Bahía de SJM por inadecuada disposición final de los efluentes domésticos generados en la ciudad de SJM y no aprovechamiento de los efluentes tratados en el riego de áreas verdes.</p> <p>¿Será el sistema de humedales artificiales el más adecuado de los tratamientos para los efluentes domésticos del distrito SJM para su utilización como agua de riego y que eviten la contaminación de su Bahía?</p>	<p><b>GENERAL:</b> Contribuir con la solución de la disposición final de los efluentes domésticos que generan Contaminación Ambiental de la Bahía de San Juan de Marcona.</p> <p><b>ESPECIFICOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar los efluentes domésticos generados en la ciudad de San Juan de Marcona.</li> <li>• Diseñar un modelo piloto de humedal sub</li> </ul>	<p>Los efluentes domésticos generados en el distrito de San Juan de Marcona al ser tratados por el sistema de humedales artificiales de flujo sub superficiales cumplirán con los Límites Máximos Permisibles y podrán utilizarse como aguas de riego</p>	<p><b>Independiente X:</b></p> <p>Sistema de tratamiento mediante humedales artificiales sub superficiales.</p>	<p><b>Características del sistema de tratamiento:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal, (M<sup>3</sup>/s.)</li> <li>• Área Superficial, (M<sup>2</sup>)</li> <li>• Tiempo de Retención, días (d)</li> <li>• Altura del lecho, (H)</li> <li>• Relación de aspecto, (R<sub>A</sub>)</li> </ul>	<p>1.16 x 10<sup>-6</sup></p> <p>3.97</p> <p>6.5 d</p> <p>0.40</p> <p>10:1</p>	<p>Correntómetro</p> <p>Diseño Hidráulico</p> <p>Diseño Hidráulico</p> <p>Diseño Hidráulico</p> <p>Diseño Hidráulico</p>



	<p>superficiales, para las pruebas experimentales de remoción de contaminantes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demostrar que el tratamiento de los efluentes <b>domésticos</b> mediante el sistema de humedales sub superficiales es eficiente.</li> </ul>		<p><b>Dependiente Y:</b> Calidad de los efluentes domésticos.</p>	<p>Concentración de componentes físicos químicos y patógenos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO<sub>5</sub>), mg/L</li> <li>• Sólidos Sedimentables Totales (SST), mg/L</li> <li>• Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), mg/L</li> <li>• Fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>), mg/L</li> <li>• Hierro (Fe), mg/L</li> <li>• Existencia de Coliformes Fecales. NMP/100 mL</li> </ul>	<p>10.00</p> <p>10.00 – 20.00</p> <p>10.00</p> <p>1.00</p> <p>1.00</p> <p>1000</p>	<p>5210-B (*)</p> <p>2540-D (*)</p> <p>4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (*)</p> <p>4500-P (*)</p> <p>3500-Fe (*)</p> <p>9221-E (*)</p>
--	--	--	---	---	--	---

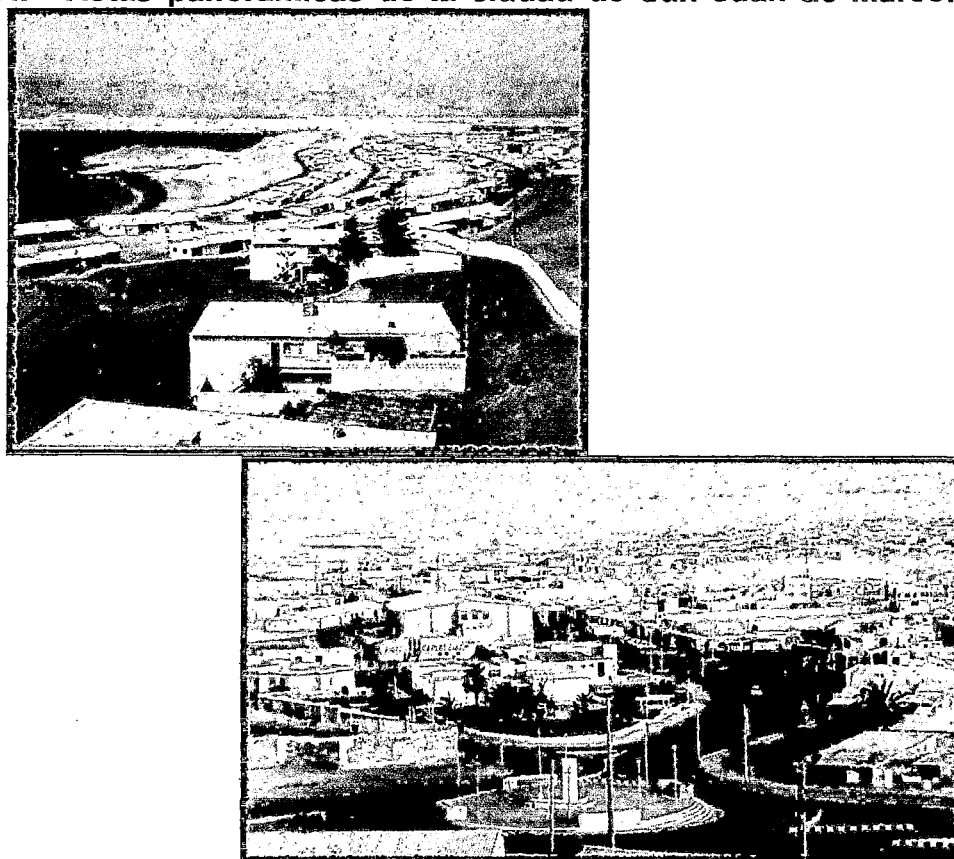
(\*) Métodos Estándares para análisis de agua y desagües

**Cuadro 1.2. “Cobertura del tratamiento de los desagües al 2009”**

Aguas Residuales a nivel de EPS	Caudal de Agua Residuales - EPS		% de tratamiento
	m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /s	
Agua residual con tratamiento	215,559,961	6.84	23.9%
Agua residual sin tratamiento	903,551,602	28.65	76.1%
<b>Total</b>	<b>1,119,111,563</b>	<b>35.49</b>	<b>100%</b>

Elaboración propia, recopilada en base a Información de la SUNASS- Agosto 2009.

**Figura 2.4. “Vistas panorámicas de la ciudad de San Juan de Marcona”**



**Cuadro 2.4. “Nombre de las estaciones de aforos de los emisores”**

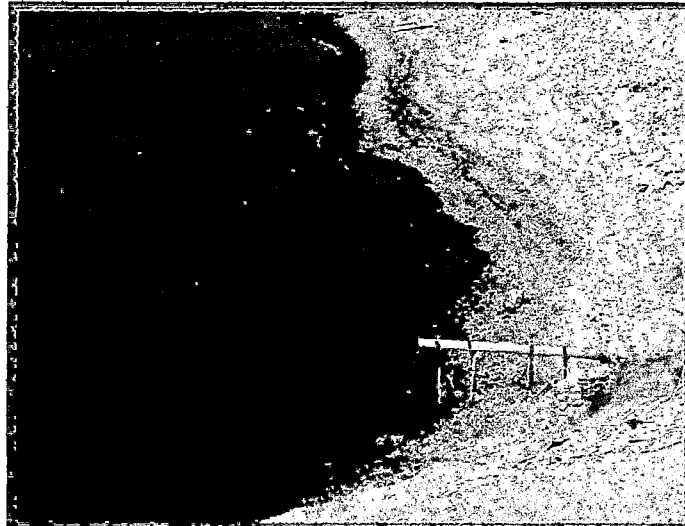
	Estación	Zona	Punto de descarga	Observación
1	S - 12	Cuartos Palomares	Mar	
2	S - 12b	Oficinas	Mar	
3	S - 13	Miramar	Mar	
4	S - 14	Playa Hermosa	Mar	
5	S - 15	Zona R	Mar	Emisor Principal
6	S - 16	Obreros, AAHH y PPJJ	Laguna de Estabilización	Entrada Laguna

Puntos de descarga en la ciudad de San Juan de Marcona

**Figura 2.7. "Emisor S - 12, Zona Pescadores-Cuartos Palomares"**



**Figura 2.8. "Emisor S - 12b, Oficinas"**



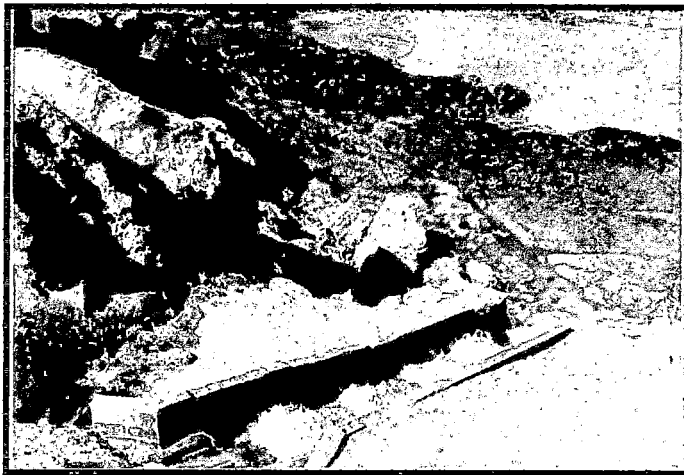
**Figura 2.9. "Emisor S - 13, Zona Miramar"**



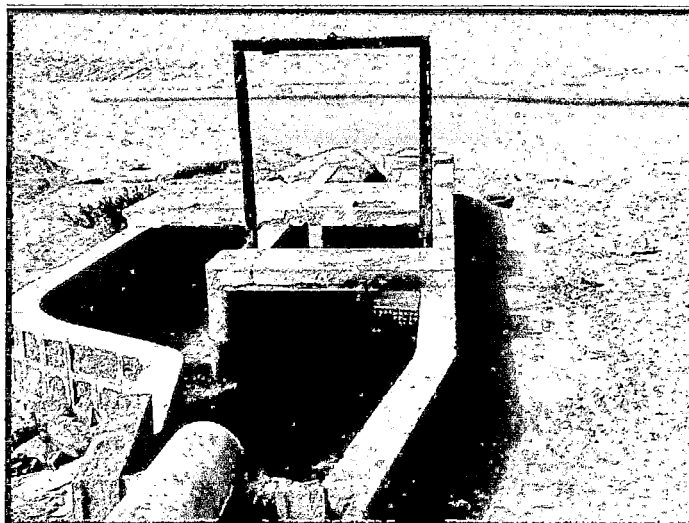
**Figura 2.10. "Emisor S - 14, Playa Hermosa"**



**Figura 2.11. "Emisor S - 15, Zona R"**



**Figura 2.12. "Emisor S - 16, Ingreso lagunas de Oxidación"**



**Cuadro 2.4. "Valores promedio de los parámetros que caracterizan el efluente doméstico en las emisiones existentes en San Juan de Marcona"**

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	$1.3 \times 10^9$	$5 \times 10^9$	$6 \times 10^7$	$1.1 \times 10^8$	$8 \times 10^8$	$9 \times 10^9$
Coliformes Fecales NMP/100mL	$2.4 \times 10^6$	$1.1 \times 10^7$	$1.1 \times 10^6$	$1.4 \times 10^6$	$3.5 \times 10^7$	$1.7 \times 10^7$

Valores en los diferentes emisores en ciudad de San Juan de Marcona

**Cuadro 2.5. "Población en el Distrito de San Juan de Marcona"**

Año	Nº 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

Población estimada en el Distrito de SJM

**Cuadro 3.6. "Determinación de aforos promedio en los emisores existentes"**

	Estación	Denominación	Punto de descarga	Caudal L/s
1	S - 12	Cuartos Palomares	Mar	0.45
2	S - 12b	Oficinas	Mar	1.075
3	S - 13	Miramar	Mar	15.21
4	S - 14	Playa Hermosa	Mar	2.805
5	S - 15	R (emisor principal)	Mar	36.93
6	S - 16	Obreros, AAHH y PPJJ Entrada a laguna	Laguna de Estabilización	13.13
Caudal promedio				<b>69.605</b>

**Cuadro 3.7. "Registro de aforos horarios en los en los 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			

Aforos realizados en la ciudad de San Juan de Marcona

**Cuadro 3.8. "Métodos Normalizados y Equipos para Monitoreo de Aguas Residuales"**

Parámetros	Standar Methods APHA	Métodos	Equipos	Unidades
Temperatura	2550-B	Termométrico	Termómetro	°C
DBO <sub>5</sub>	5210-B	DBO <sub>5</sub> (5 días, 20°C)	Incubadora	mg DBO <sub>5</sub> /L
Sólidos Suspendidos Totales	2540-D	Gravimétrico	Balanza analítica, capsulas y mufla	mg/L
Nitratos	4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Absorción UV	Espectrofotómetro	mg/L
Fosfatos	4500-P	Colorimétrico	Espectrofotómetro	mg/L
Hierro	3500-Fe	Fenantrolina	Espectrofotómetro	mg/L
Coliformes Fecales	9221-E	Tubos múltiples	Laboratorio	NMP/100ml

Elaborada en base al Texto de APHA, AWWA WPCF (Standard Methods) for the examination of water and wastewater 21 edición. 2005

**Cuadro 3.9. "Datos para el diseño del Humedal Piloto"**

Ítem	Parámetro de diseño	Limite
01	Caudal	100 L/ día
02	DBO <sub>5</sub> en el afluente doméstico (ingreso)	220 mg/L
03	DBO <sub>5</sub> en el efluente tratado (salida)	15 mg/L
04	Coliformes Fecales en el afluente doméstico (ingreso)	1.600 x 10 <sup>6</sup> (NMP/100 ml)
05	Coliformes Fecales en el efluente doméstico (salida)	1.600 x 10 <sup>6</sup> (NMP/100 ml)
06	Sólidos Suspendidos (ingreso)	13,916 mg/L
07	Sólidos Suspendidos (salida)	10 mg/L
08	Temperatura mínima del efluente	15 °C
09	Vegetación	Papiros
10	Relleno de piedra chancada	Diámetro de ¼ de pulgada
11	Pendiente del tanque	0.01%

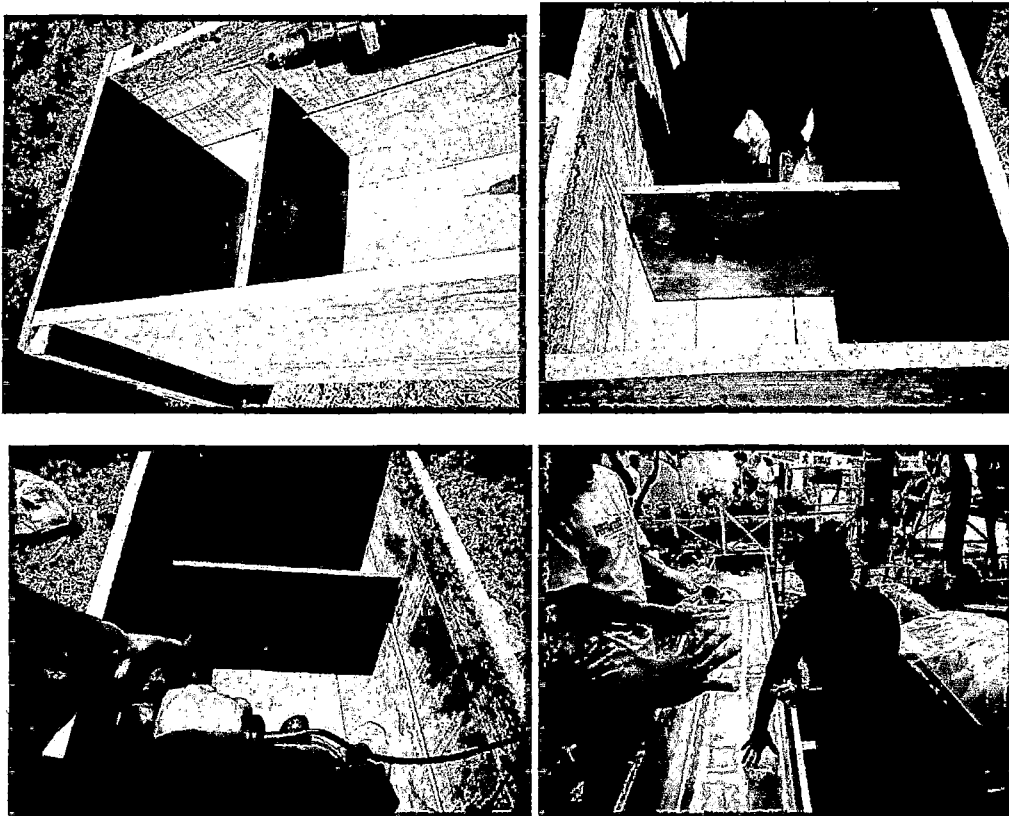


**Figura 3.14. “Vistas donde se ubica el Humedal Piloto”**



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

**Figura 3.15. “Vistas donde se aprecia la construcción del Humedal Piloto”**



Las vistas muestran el cajón construido de madera en cual está siendo impermeabilizado con masilla para evitar la fuga de agua, posteriormente será cubierta en su interior con una mezcla de concreto, se observa el momento en que se están perforando los pases de agua y desagüe.

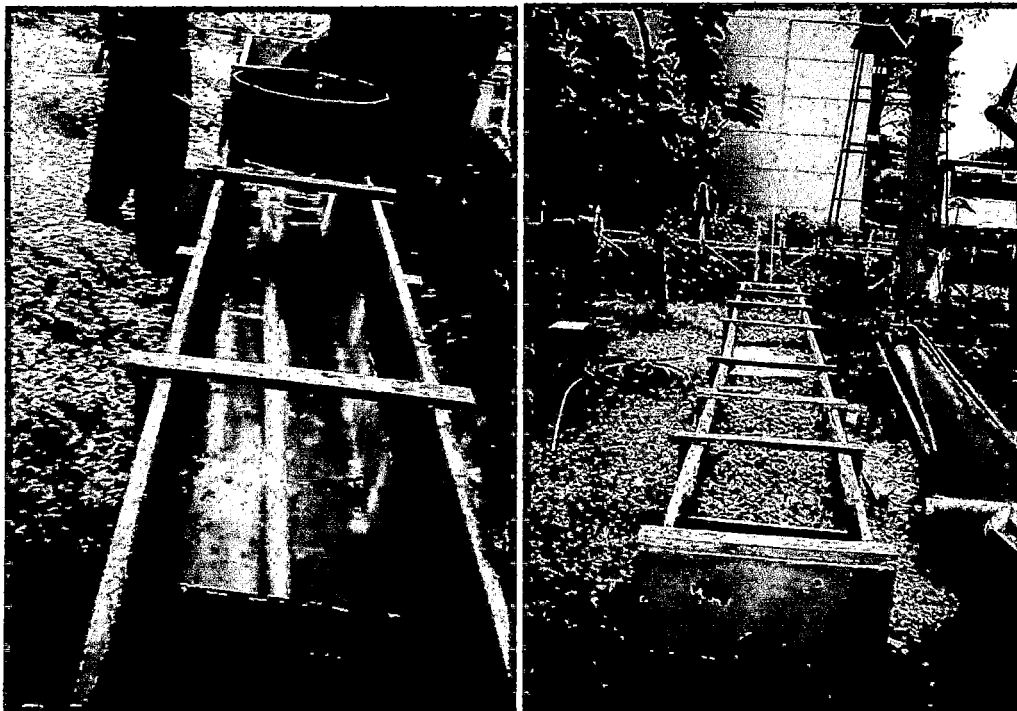


**Figura 3.16. “Otras donde apreciamos la construcción del Humedal Piloto”**



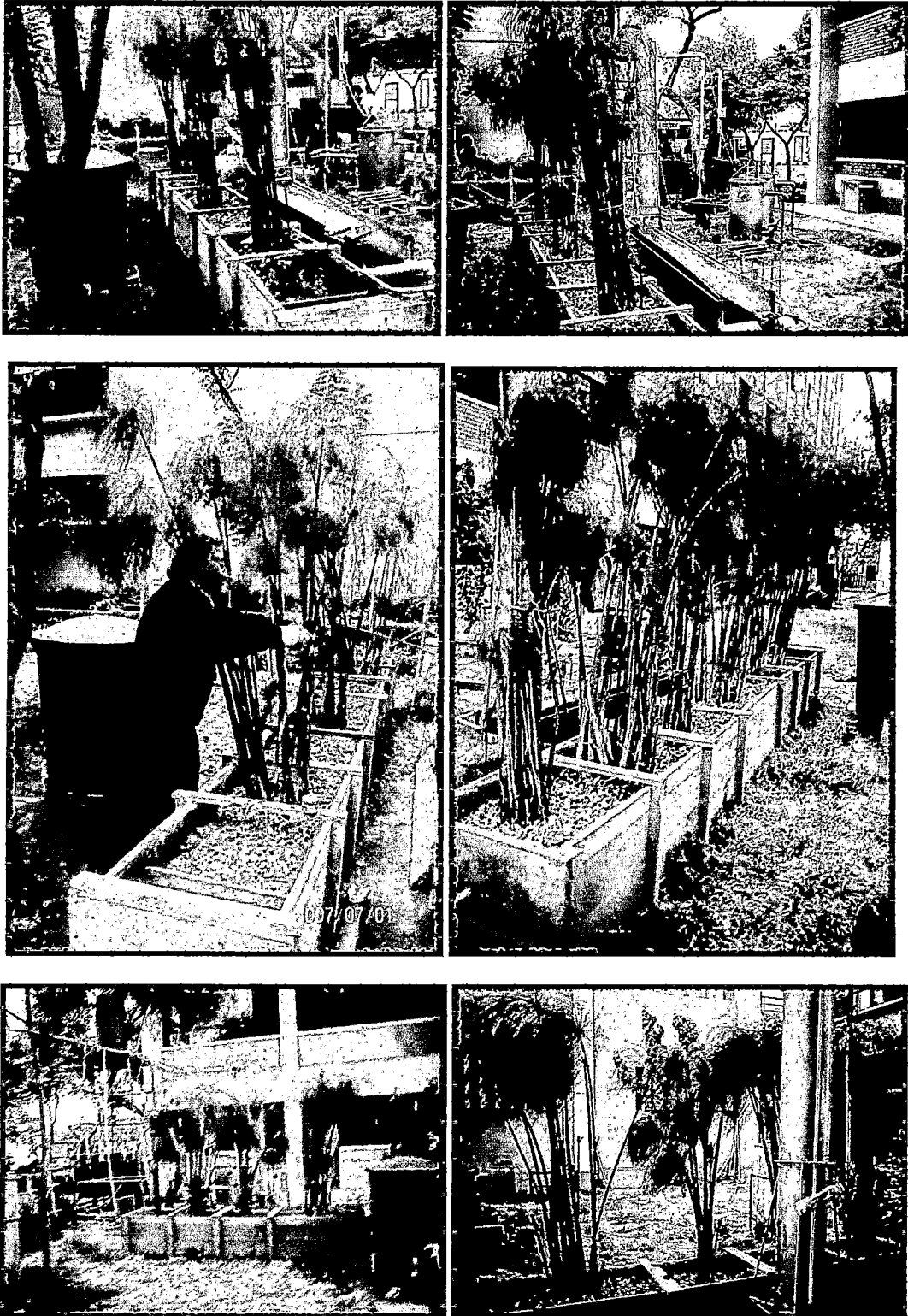
Las vistas muestran el momento del recubrimiento de impermeabilización

**Figura 3.17. “Vistas que aprecia el material filtrante del Humedal Piloto”**



Las vistas fotográficas muestran la parte del terminado del recubrimiento con concreto y posterior al llenado con agua para asegurar la estanqueidad del cajón, y colocar el fieltro de piedras donde se han de colocar las plantas de papiros

**Figura 3.18. “Conjunto de vistas que muestran al Humedal Piloto operando”**



Después de un mes de estabilizarse las plantas (1° al 31 de diciembre del 2008), a partir de 2 al 16 de enero del 2009 se ha procedido a monitorear la unidad para obtener data que permita validar el humedal como herramienta de trabajo, posteriormente durante los meses de febrero a marzo del 2009 se monitoreo para completar el trabajo de Investigación de la Tesis.

**Cuadro 6. "Caudal Promedio y Área requerida para los humedales"**

	<b>Estación</b>	<b>Denominación</b>	<b>Punto de descarga</b>	<b>Caudal L/seg</b>	<b>Área terreno ha</b>
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
<b>Caudal Prom. y área requerida para los humedales</b>				<b>69.605</b>	<b>24.0537</b>

## ANEXOS

**Tabla 2.1 “Características de las aguas residuales urbanas”**

Parámetro	Contaminación Fuerte	Contaminación Media	Contaminación Ligera
Sólidos totales	1,000	500	200
Volátiles	700	350	120
Fijos	300	150	80
Sólidos en suspensión	500	300	70
Volátiles	400	250	30
Fijos	100	50	40
Sólidos sedimentables	250	180	40
Volátiles	100	72	16
Fijos	150	108	24
Sólidos disueltos	500	200	100
Volátiles	300	100	50
Fijos	200	100	50
DBO <sub>5</sub> a 20°C	300	200	100
DQO	800	450	160
Oxígeno disuelto	0.0	0.1	0.2
Nitrógeno total (N)	86	50	25
Orgánico	35	20	10
Amoniaco libre N-NH <sub>4</sub>	50	30	15
Nitritos N - NO <sub>2</sub>	0.10	0.05	0.00
Nitratos N - NO <sub>3</sub>	0.40	0.20	0.10
Fósforo Total (P)	17	7	2
Cloruros	175	100	15
pH	6.9	6.9	6.9
Grasa	40	20	0.0

Fuente: Manual de Depuración Uralita, (Valores en mg/L con excepción del pH)

**Tabla 2.2. “Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual”**

Contaminante	Operación y proceso unitarios o sistema de tratamiento
Sólidos en suspensión	Desbaste y dilaceración
	Desarenado
	Sedimentación
	Filtración
	Flotación
	Adición de polímeros
	Coagulación/sedimentación
	Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno)
Materia orgánica biodegradable	Variante de fango activados
	Película fija: filtros percoladores
	Película fija: biodiscos, (RBC)
	Variantes de lagunaje
	Filtración intermitente en arena
	Sistemas físico - químicos
	Sistemas naturales
Compuestos orgánicos volátiles	Arrastre por aire
	Tratamiento de gases
	Adsorción en carbón
Patógenos	Cloración
	Hipocloración
	Cloruro de bromo
	Ozonización

**Tabla 2.2. (Continuación)**

Contaminante	Operación y proceso unitarios o sistema de tratamiento
	Radiación UV
	Sistemas naturales
Nutrientes: Nitrógeno	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación Variantes de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoniaco Intercambio iónico Cloración al breakpoint Sistemas naturales
Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica del fósforo Eliminación biológica-química del fósforo Sistemas naturales
Nitrógeno y fósforo	Eliminación biológica de nutrientes
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón Ozonización terciaria Sistemas naturales
Metales pesados	Precipitación química Intercambio iónico Sistema de tratamiento por evacuación al terreno
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico Osmosis inversa Electrodialisis

Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales, autores Metcalf & Eddy

**Tabla 2.3. "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 2.4. "Clasificación de los cursos de agua (ley general de aguas, D.L. N° 17752), Límites Máximos Permisibles de las sustancias potencialmente tóxicas para las 6 clases"**

DENOMINACIÓN	CURSOS DE AGUAS					
	I	II	III	IV	V	VI
Aluminio	-	-	-	1.00	+1	-
Arsénico	0.10	0.10	0.20	1.00	0.01	0.05
Bario	0.10	0.10	-	0.50	+0.50	-
Cadmio	0.01	0.01	0.05	-	0.0002	0.004
Cianuro	0.20	0.20	+1	-	0.005	0.005
Cobalto	-	-	-	0.20	+0.20	-
Cobre	1.00	1.00	0.50	3.00	+0.01	-
Cólor	0	10	20	30	+30	-
Cromo Hexavalenté	0.05	0.05	1.00	5.00	0.05	0.005
Coliformes Totales	8.8	20,000	5,000	5,000	1,000	20,000
Coliformes Fecales	0	4,000	1,000	1,000	200	4,000
Oxígeno Disuelto	3	3	3	3	5	4
DBO <sub>5</sub>	5	5	15	10	10	10
Fenoles	0.0005	0.001	+0.001	-	0.002	0.002
Hierro	0.30	0.30	1.00	-	-	-
Fluoruros	1.50	1.50	2.00	-	-	-
Litio	-	-	-	5.00	+5.00	-
Magnesio	-	-	1.50	-	-	-
Manganeso	0.10	0.10	0.50	-	-	-

Fuente: Ley General de aguas  
Continuación...

DENOMINACIÓN	CURSOS DE AGUAS					
	I	II	III	IV	V	VI
Material Ext en Hexano	1.50	1.50	0.50	0.00	No perc	-
Mercurio	0.002	0.002	0.01	-	0.0001	0.0002
Nitratos	0.01	0.01	0.10	-	-	-
Níquel	0.002	0.002	0.002	0.050	0.002	-
Ph	5-9	5-9	5-9	5-9	5-9	-
Plata	0.05	0.05	0.05	-	-	-
Plomo	0.05	0.10	-	-	0.01	0.03
P.C.B.	0.001	0.001	+0.001	-	0.002	0.002
Selenio	0.01	0.01	0.05	0.05	0.005	0.01
Sólidos flotantes	0.00	0.00	0.00	Pequeña	Cantidad	-
Sólidos Suspendidos	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	-	-	400	-	-	-
Sulfuros	0.001	0.002	+0.005	-	0.002	0.002
Zinc	5	25	25	-	0.020	-

Fuente: Ley General de aguas

**LÍMITES BACTERIOLÓGICOS  
(N.M.P/100mL)**

Organismos	Clases de Agua					
	I	II	III	IV	V	VI
Coliformes totales	8.8	20.000	5.000	5.000	1.000	20.000
Coliformes fecales	0	4.000	1.000	1.000	200	4.000

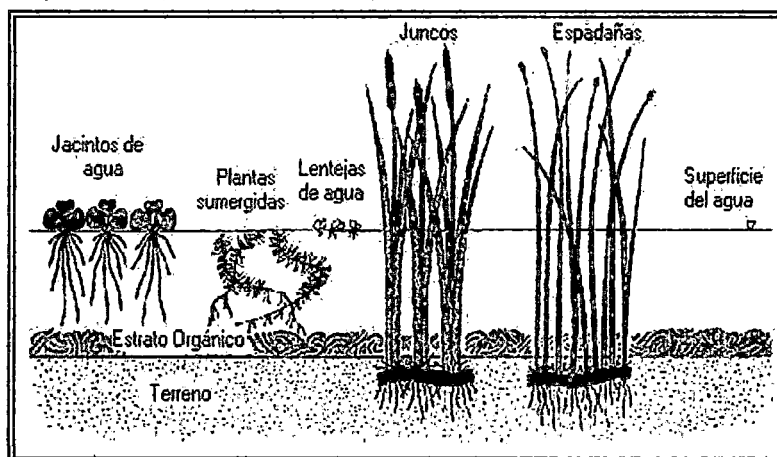
Fuente: Ley General de aguas

**LÍMITES DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO<sub>5</sub>)  
OXÍGENO DISUELT O (O.D)**

Parámetro	I	II	III	IV	V	VI
DBO	5	5	15	10	10	10
OD	3	3	3	3	5	4

Fuente: Ley General de aguas

**Figura 2.1. "Plantas acuáticas comunes"**



Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales, autores Metcalf & Eddy, 1998

**Tabla 2.5. "Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales"**

Familia	Nombre latino	Nombres comunes más usuales	Temperatura. ° C		Máxima salinidad tolerable, ppt	Rango efectivo de pH
			Deseable	Germinación de las semillas		
Ciperáceas	<i>Cárex sp.</i>	-	14-32		20	5-7.5
	<i>Eleocharis sp.</i>	-	18-27			4-9
	<i>Scirpus lacustris L. (*)</i>	Junco de laguna				
	<i>cyperus papyrus</i>	Papiro	7 -36			
Gramíneas	<i>Glycéría fluitans (L.) R. Br.</i>	Hierba del maná	12-23	10-30	45	2-8
	<i>Phragmites australis (Cav)</i>	Carrizo				
	<i>Trin. ex Steudel (*)</i>					
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Lirio amarillo, espadaña fina				
Juncáceas	<i>Juncos sp.</i>	Juncos	16-26		20	5-7.5
Tifáceas	<i>Thypha sp (*)</i>	Eneas, aneas, espadañas.	10-30	12-24	30	4-10

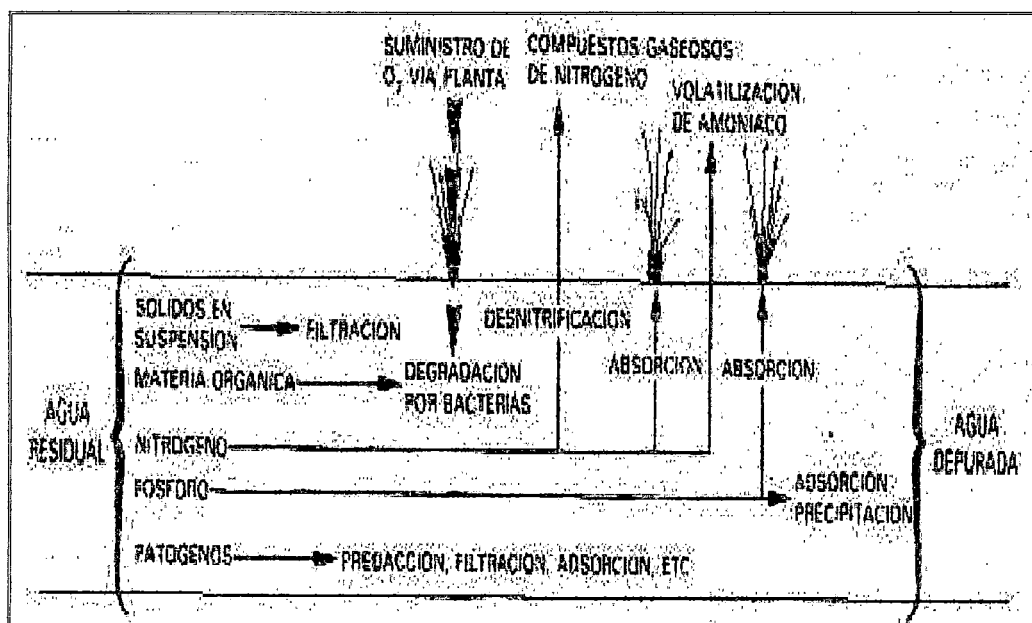
Fuente: (Brix H, 1993; Crites and Tchobanoglous, 1998)

**Tabla 2.6. "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)

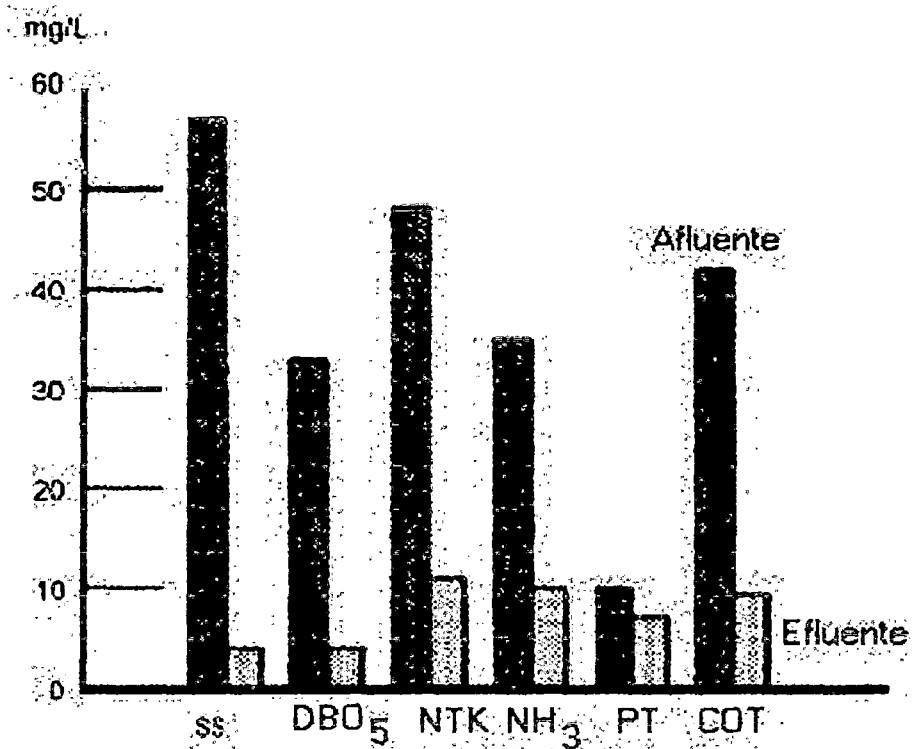
**Figura 2.2. "Procesos de depuración de los humedales artificiales"**



Fuente: Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados, autores Crites and Tchobanoglous, 2000



Figura 2.3. "Rendimientos de remoción típicos"



Fuente: Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para núcleo pequeños y descentralizados, autores Crites and Tchobanoglous, 2000

Tabla 2.7 "Características usuales del medio para los humedales de flujo subsuperficial"

Tipo de medio	Tamaño efectivo $d_{10}$ , mm	Porosidad del lecho, $\alpha$	Conductividad hidráulica, pie/d
Arena mediana	1	0.30	1,640
Arena gruesa	2	0.32	3,280
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 10% de las partículas.

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

**Tabla 2.8. "Criterios usuales de diseño y de la calidad del efluente esperado en humedales artificiales de Flujo Subsuperficial"**

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 <sup>2</sup> .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 <sub>5</sub>	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 2.9. "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 las partículas, mm	Tasa de carga nominal de SST, g/m <sup>2</sup> .d	Desempeño
Arena	0.17	5	Obstrucción en > 0.5 años
		10	Obstrucción en 50 días
		30	Obstrucción en < 10 días
	0.40	5	Obstrucción en > 0.5 años
		10	Obstrucción en 35 días
		30	Obstrucción en 10 días
	0.68	20	Obstrucción en > 0.5 años
		40	Obstrucción en 50 días
		80	Obstrucción en 20 días
Grava	5 - 10 (entrada)	40	Infiltración por + 3 años
	5 - 10 (w/g)	200	Obstrucción en 3 meses
	40 (entrada)	18	Infiltración por + 3 años
	40 (entrada - primaria)	80 - 160	infiltración por + 1 año
Roca	9 - 25	13 - 464 <sup>t</sup>	Obstrucción en 11 meses
	10 - 50	113 - 629 <sup>t</sup>	Infiltración por + de 17 meses, pobre remoción de SST
	63 - 127	102 <sup>t</sup>	Infiltración por + 14 meses, pobre remoción de SST

\* De Boyar y Schuiz (1993).

<sup>t</sup> Representa cargas con 50 mg/L de sólidos de algas.

<sup>t</sup> Representa cargas con 69 mg/L de sólidos de algas.

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 2.10. "Características típicas del medio en sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial"**

Tipo de medio	Tamaño de grano máximo 10%	Porosidad $\alpha$	Conductividad hidráulica, $k_s, m^3/m^2.d$	$K_{20}$
Arena mediana	1	0.42	420	1.84
Arena gruesa	2	0.39	480	1.35
Arena gravosa	8	0.35	500	0.86

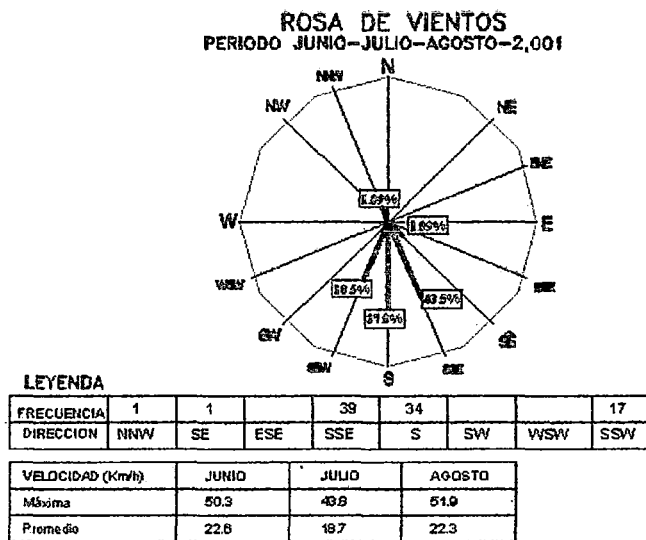
Fuente: EPA, Desing Manual for Constructed Wetlands and Floating Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, Cincinnati, OH, septiembre 1988.

**Tabla 2.11 "Característica del periodo anual del 2006 con respecto a Temperatura, Precipitación, Humedad Relativa, 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: SHOUGAN HIERRO PERU S.A.A.

**Figura 2.5. "Rosa de Vientos Periodo Junio - Julio - Agosto 2001"**



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

**Tabla 2.12. "Resultados del Monitoreo de Calidad de Aire"**

AÑO 2006	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 SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.

**Tabla 2.13. "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. $I_{\text{Simpson}}: 0.263$ $I_{\text{Shannon}}: 1.461$ I.P.A.:4 ind/Ha
Haematopus ostralegus pitany 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.  $I_{\text{Simpson}}: 0.249$ $I_{\text{Shannon}}: 1.669$ I.P.A.:127 ind/Km <sup>2</sup>
Haematopus ostralegus pitany 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.  $I_{\text{Simpson}}: 0.174$ $I_{\text{Shannon}}: 2.004$ I.P.A.:3 ind/70 min.

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

**Tabla 2.14. "Principales especies ictiológicas"**

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

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

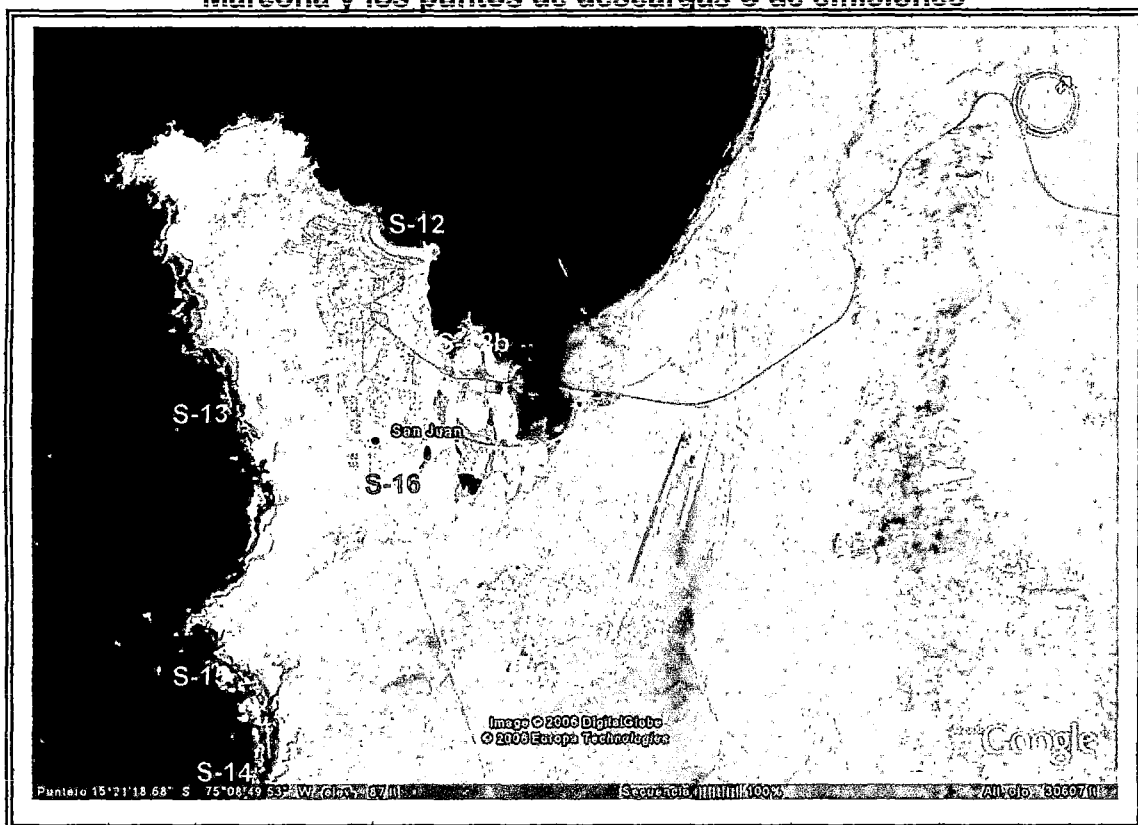
**Tabla 2.15. "Resultados Analíticos del Cuerpo Receptor"**

Nombre del lugar		Bahía de 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			21/01/09	27/04/09	19/07/09	17/07/09
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/100 ml	20,000	<20	<20	2	<20
Colif. Fecales	NMP/100 ml	4,000	<20	<20	2	<20
DBO <sub>5</sub>	mg/L	10	6	10	4	5

Nota: (LMP: Límites Máximos Permisibles)

Fuente: Oficina de Medio Ambiente de SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A

Figura 2.6. "Vista Satelital donde se aprecia el distrito de San Juan de Marcona y los puntos de descargas o de emisiones"



Fuente: Terra Google

Cuadro 3.10. "Criterios para Recolección, Preservación y Almacenamiento"

Parámetros	Volumen mínimo	Recipiente	Preservación con Refrigeración	Tiempo de Almacenamiento
Temperatura	100 ml	Polietileno o Vidrio	-	Inmediato
DBO <sub>5</sub>	1000 ml	Polietileno o Vidrio	a 4°C	Inmediato
DQO	100 ml	Frasco de vidrio boca ancha	a 4°C, a pH<2, con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	48 horas
Sólidos Suspendidos Totales	100 ml	Polietileno o Vidrio	a 4°C	24 horas
Cloruros	250 ml	Vidrio	a 4°C	mg/L
Coliformes Totales	500 ml	Frasco de vidrio boca ancha	a 4°C	24 horas
Coliformes Fecales	500 ml	Frasco de vidrio boca ancha	a 4°C	24 horas
Fósforo	500 ml	Polietileno o Vidrio	a 4°C, a pH<2, con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	24 horas
Nitratos	500 ml	Vidrio		24 horas
Hierro	200 ml	Polietileno o Vidrio	a 4°C, a pH<2, con HNO <sub>3</sub>	24 horas

Fuente: Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos = MITINCI

**Tabla 5.16. "Áreas bajo la curva normal"**

<b>Z</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.08</b>	<b>0.09</b>
<b>0.0</b>	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
<b>0.1</b>	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
<b>0.2</b>	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
<b>0.3</b>	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
<b>0.4</b>	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
<b>0.5</b>	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
<b>0.6</b>	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
<b>0.7</b>	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
<b>0.8</b>	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
<b>0.9</b>	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
<b>1.0</b>	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
<b>1.1</b>	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
<b>1.2</b>	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
<b>1.3</b>	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
<b>1.4</b>	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
<b>1.5</b>	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
<b>1.6</b>	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
<b>1.7</b>	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
<b>1.8</b>	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
<b>1.9</b>	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
<b>2.0</b>	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
<b>2.1</b>	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
<b>2.2</b>	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
<b>2.3</b>	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
<b>2.4</b>	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
<b>2.5</b>	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
<b>2.6</b>	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
<b>2.7</b>	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
<b>2.8</b>	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
<b>2.9</b>	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
<b>3.0</b>	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

**Tabla 5.17. "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 <sup>1</sup>	laguna de Oxidación	23	8	65	5
Mesquite, Nevada <sup>1</sup>	laguna de Oxidación	78	25	68	3.3
Santee, California <sup>&amp;</sup>	Primario	118	1.7	88	6
Sydney, Australia <sup>§</sup>	Secundario	33	4.6	86	7

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

<sup>i</sup>Operación a tamaño real, enero de 1994 a enero de 1995.

<sup>&</sup>Operación piloto a escala, 1984, o@ a 50 mm/d (Gersberg et al, 1985).

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

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