

**EVALUACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL AVICOLA**

**SHARIS MARIA ARENAS RAMIREZ
ADRIANA DEL PILAR NUNCIRA PARRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2010

**EVALUACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL AVICOLA**

**SHARIS MARIA ARENAS RAMIREZ
ADRIANA DEL PILAR NUNCIRA PARRA**

**Monografía para optar por el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

**Director:
ING. SERGIO AUGUSTO GUERRA CASTELLANOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2010

AGRADECIMIENTOS

A Adriana mi compañera de proyecto y amiga, al profesor Sergio Guerra por dirigirnos en el proceso del proyecto, a José Luis por su apoyo incondicional.

Sharis Arenas

Con todo mi amor para Javier, Isabella y mi gran Amiga Sharito, por su voz de aliento y apoyo.

Adriana Nuncira

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. IDENTIFICACION DEL PROYECTO	17
1.1 ANTECEDENTES	17
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACIÓN Y NORMATIVIDAD	19
2. OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVO GENERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3. CARACTERIZACION FÍSICO-QUIMICA DE LOS EFLUENTES EN LA INDUSTRIA AVICOLA EN SANTANDER – AREA METROPOLITANA	25
3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO AVICOLAS	25
3.1.1 Avícola No 1 (AVI1)	25
3.1.2 Avícola No 2 (AVI2)	26
3.1.3 Avícola No 3 (AVI3)	28
3.1.4 Avícola No 4 (AVI4)	29
3.1.5 Avícola No 5 (AVI5)	30
3.2 ANÁLISIS DE CARGAS Y RELACIONES DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA	30
3.3 IMPACTOS AMBIENTALES	36
3.3.1 Carga de sólidos suspendidos totales (SST) y DBO	37
4. FUNDAMENTOS Y GENERALIDADES SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES	39
4.1 TIPOS DE HUMEDALES	40

4.2 VEGETACIÓN	44
4.3 EFICIENCIA DE REMOCIÓN	46
4.3.1 Remoción de sólidos	46
4.3.2 Remoción de materia orgánica	46
5. DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES.	48
6. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.	52
6.1 PROCESOS UNITARIOS PRELIMINARES	52
6.1.1 Rejas o tamices, Cribado Fino	55
6.1.2 Desengrasado	57
6.1.3 Tratamiento Primario	58
6.1.4 Tratamiento Secundario	60
6.2 DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES AVÍCOLAS	61
6.2.1 Consideraciones para la construcción de humedales	64
6.2.2 Determinación del área requerida para humedal vertical	73
6.2.3 Determinación del área requerida para humedal horizontal	79
6.3 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	81
6.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE HUMEDALES ARTIFICIALES	84
6.5 EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN.	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	90
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS	95

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características físico-químicas permitidas	21
Tabla 2. Límites de descarga Aplicables a Programa de Pre tratamiento	22
Tabla 3. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 1	26
Tabla 4. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 2	27
Tabla 5. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 3	28
Tabla 6. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 4	29
Tabla 7. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 5	30
Tabla 8. Caracterización Físico-Química típica del agua residual de la industria avícola en Santander	35
Tabla 9. Relación DQO/DBQ	37
Tabla 10. Principales procesos físicos, químicos y biológicos que favorecen la depuración de aguas residuales en los humedales.	39
Tabla 11. Plantas acuáticas emergentes utilizadas en tratamiento de aguas residuales	45
Tabla 12. Objetivo procesos de Pre tratamiento	53
Tabla 13. Parámetro de diseño rejillas	55
Tabla 14. Características típicas de los medios para humedales SFS	67
Tabla 15. Características típicas de especies vegetales para humedales Sub superficiales	68
Tabla 16. Valores de tasas de remoción asumidos o calculados en la etapa de diseño de las diferentes alternativas de humedales.	72
Tabla 17. Costos de Inversión para un humedal de tipo vertical con una capacidad de 10 lps	82

Tabla 18. Valores de parámetros estimados de vertimiento final aplicando las diferentes alternativas de disposiciones de humedales como tratamiento terciario en efluentes de plantas avícolas.	87
Tabla 19. Valores de de costos estimados de construcción de humedales para las diferentes alternativas contempladas.	88

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Grafico 1. Demanda Química de Oxígeno del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas	31
Grafico 2. Demanda Bioquímica de Oxígeno del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas	32
Grafico 3. pH característico del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas	33
Grafico 4. Sólidos suspendidos del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas	33
Grafico 5. Aceites y Grasas del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas	34
Grafico 6. Temperatura del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas	34
Grafico 7. Porcentaje de remoción para cada configuración de tratamiento mediante humedales	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Humedal artificial de flujo libre con plantas emergentes, flotantes y sumergidas.	41
Figura 2. Humedal de flujo sub superficial (VSB Vegetated Submerged Bed)	42
Figura 3. Diagrama del esquema básico de tratamiento a evaluar	50
Figura 4. Clasificación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales	54
Figura 5. Filtro Rotatorio de IDRASCREEN serie GF-6206	56
Figura 6. Sistema de flotación por aire inducido	58
Figura 7. Permeámetro de carga constante para la determinación de la conductividad hidráulica en sustratos.	67
Figura 8. Especies plantas macrofitas	68

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Dimensiones IDRASCREEN serie GF-6206	96
Anexo B. Plano Cortes Filtro rotatorio GF-6206	97
Anexo C. Plano planta GF-6206	98
Anexo D. Detalle zanjón de oxidación	99
Anexo E. Detalle Planta de tratamiento Industria avícola con humedales	100
Anexo F. Formulas diseño humedal vertical y horizontal	101

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR INDUSTRIAL AVÍCOLA*.

Autores: Sharis María Arenas Ramírez
Adriana del Pilar Nuncira Parra**

Palabras Claves: Humedal Artificial, Granja Avícola, efluentes, tratamiento de aguas residuales, evaluación de factibilidad.

DESCRIPCIÓN

Los procesos productivos de la industria avícola, pueden causar fuertes impactos ambientales. Ejemplos de este impacto son los efluentes de estos procesos los cuales llevan una alta concentración de compuestos orgánicos y sólidos suspendidos. Este trabajo está enfocado en la evaluación de las diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales en procesos de producción avícola intensiva para mejorar la calidad final de los vertimientos y lograr el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes al respecto. En este trabajo, se propone emplear humedales artificiales como esquema de tratamiento terciario en combinación con otras técnicas de tratamiento como separación mecánica de sólidos en suspensión y reactores biológicos.

El contenido del documento incluye los fundamentos básicos del esquema de tratamiento de aguas residuales usado comúnmente en industrias avícolas. También se describe el proceso y resultados de la caracterización de los vertimientos típicos de este tipo de industria tomando como base la información y resultados de análisis fisicoquímicos de los vertimientos de cinco plantas avícolas en el departamento de Santander (Colombia). Con base en esta información varias alternativas de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales como tratamiento terciario fueron planteadas las cuales incluyeron tratamientos de diferentes porcentajes del efluente principal proveniente de la segunda etapa del proceso de tratamiento. En el esquema de evaluación de factibilidad fueron incluidos tanto los costos de construcción e implementación del humedal artificial como los costos de mantenimiento periódico para las diferentes alternativas planteadas. Finalmente se incluyeron sugerencias para mejorar el nivel de detalle del esquema de evaluación de factibilidad como la incorporación en el modelo de fenómenos complejos relacionados con el desempeño del humedal como potencial de taponamiento, evo-traspiración e hidrología local. En la sección final del documento se incluyen los planos detallados, cálculos de diseño y evaluación de costos para las diferentes alternativas de implementación consideradas.

* Monografía de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Ing. Sergio Guerra.

ABSTRACT

TITLE: WETLAND EVALUATION FOR WASTEWATER TREATMENT IN POULTRY FARMS*.

Autors: Sharis María Arenas Ramírez
Adriana del Pilar Nuncira Para**

Keywords: Artificial wetlands, poultry farms, effluents, wastewater treatment, feasibility evaluation.

DESCRIPTION

Productive processes in poultry farms can affect the environment severely. Some examples of this affectation are the effluents from these processes carrying a high concentration of organic compounds and solids suspended. This thesis is focused to evaluate the different options for treatment of wastewater in intensive productive process of poultry farms to improve the final quality of the wastewater served and to achieve the compliance of the present environmental regulations. In this thesis, the use of artificial wetlands is proposed as a tertiary treatment combined with other techniques such as mechanical separation of suspended solids and biological reactors.

The content of this document includes the basic fundamentals of the wastewater treatment scheme most commonly used in poultry farms. Additionally, a description of the process applied and the results obtained in the characterization of typical effluents of poultry farms based on results of physicochemical analysis of effluents of five poultry farms located on the Santander State of Colombia has been included in it. Based on this information, several alternatives of wastewater treatment using artificial wetlands were raised. These alternatives included the treatment of different percentages of the main effluent flow coming from secondary stage of treatment process. Costs associated with the building, implementation and periodical maintenance of artificial wetlands for all the alternatives raised were included in the feasibility evaluation scheme. Finally, some additional considerations about how to improve the detail of model considering more complex phenomena such as evotranspiration, local hydrology and potential of clogging of wetlands have been suggested. In the final section of the document have been included building drawings, design calculations and a cost evaluation sheet for each alternative raised.

* Monograph of Degree

** Faculty of Chemical Engineerings Physical. School of Chemical Engineering. Director: Ing. Sergio Guerra.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es la evaluación de la implementación y uso de humedales artificiales como sistema de tratamiento de las aguas residuales en la industria avícola, para mejorar las condiciones finales del agua tratada antes de su vertimiento final de manera que no provoque un impacto negativo sobre la calidad de las aguas del cuerpo receptor sino que también se posibilite su uso posterior a través de la recirculación disminuyendo así la cantidad de agua empleada en procesos como el lavado de equipos y maquinaria.

El estudio, toma como base información de algunas industrias ubicadas en el Área metropolitana de Bucaramanga, Santander, lo que permite caracterizar fisicoquímicamente los efluentes de dichas plantas, insumo de gran importancia para la realización de este estudio.

1. IDENTIFICACION DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La industria avícola es un sector económico que ha tenido un importante crecimiento en los últimos años aunque este no ha sido regular debido a factores asociados a la política macroeconómica de la región [1].

Esta actividad se ha intensificado con miras a lograr mayores índices de rentabilidad, llegando a constituir una actividad productiva que ha jalonado el desarrollo de otros sectores productivos de insumos como alimentos balanceados, medicinas y tecnologías de producción (sacrificio, empaque, refrigeración, transporte, etc.).

Al igual que la mayoría de las actividades de producción intensiva, la producción avícola genera un impacto desfavorable al medio-ambiente, caracterizado principalmente por vertimientos líquidos, emisiones gaseosas y sobrecargas de nutrientes a los suelos (pollinaza, gallinaza). Sobre el primero podemos decir que las aguas residuales que genera esta actividad económica se caracterizan por contener sustancias contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica [2]. Las sustancias orgánicas están asociadas al material orgánico biodegradable que propicia el cultivo y crecimiento de microorganismos de alto potencial patógeno (*Campylobacter jejuni*, *Salmonella typhimurium* y *Escherichia coli* [3]) y provienen de la ejecución de tareas propias de este proceso productivo como lavado de estiércol acumulado, limpieza en las fases de matanza y desangrado, recambio de agua en escaldadoras y enfriadores, despresado y extracción de vísceras, etc. El componente inorgánico está constituido por compuestos derivados de productos usados en la limpieza y desinfección de pisos, equipos y maquinaria industrial y se presenta como material inerte en suspensión y sustancias en dilución (fosfatos,

nitratos, [4] etc.). Asimismo, la generación de residuos como la gallinaza y pollinaza han creado enormes problemas de contaminación ambiental, debido a la alta cantidad de sustancias contaminantes (nitrógeno, fósforo y azufre) que han sido aprovechadas como fuente de nutrientes para animales y plantas lo que aunque a primera vista parece beneficioso no deja de tener un potencial de impacto desfavorable en el medio ambiente sobre todo cuando no se usa de forma eficiente y racional ya que puede dar lugar a fenómenos de eutrofización de las corrientes de agua donde son vertidas directamente, provocando el crecimiento acelerado de las algas y agotamiento del contenido de oxígeno del agua con el consiguiente incremento de la mortalidad de la fauna acuática.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sector avícola es considerado como uno de los más importantes en el ámbito regional, desde el punto de vista económico, ya que no solo representa un porcentaje importante de las exportaciones regionales sino que también generan un número importante de empleos directos e indirectos. Por otro lado, si se considera el potencial de afectación ambiental de sus procesos productivos se encuentra que estos ocupan un lugar relevante, ya que además de demandar altos consumos de agua, (resultado obtenido al compararse con otros procesos productivos tomando como base estándares internacionales), los sistemas de tratamiento en algunas de estas industrias presentan problemas en su operación y funcionamiento lo cual dificulta el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. [5].

1.3 JUSTIFICACIÓN Y NORMATIVIDAD

Para plantear alternativas para el tratamiento de las aguas residuales en este tipo de procesos derivados de actividades productivas de tipo intensivo, se deben evaluar una serie de variables tanto técnicas como económicas para definir finalmente la mejor alternativa a implementar. En general, cualquier alternativa de tratamiento que se seleccione deberá contemplar un esquema de un pretratamiento para remoción de desbaste de gruesos, finos, plumas y partículas finas, un tratamiento primario enfocado a la remoción de sólidos suspendidos (grasas, aceites y sólidos sedimentables), homogenización de la calidad del agua residual y ecualización del flujo hidráulico (amortiguar las variaciones horarias de calidad y cantidad) a través de procesos físicos y químicos y finalmente uno secundario, preferiblemente seleccionado de las alternativas de tipo biológico y centrado en la estabilización de la materia orgánica presente en el agua residual después del tratamiento primario a través de la acción de biomasa activa especialmente bacterias.

Esta monografía se enfocará en la evaluación de factibilidad del uso de humedales artificiales en el tratamiento y posterior aprovechamiento de las aguas residuales provenientes de los procesos de producción de granjas avícolas teniendo en cuenta en forma integral las variables económicas, financieras, técnicas y de producción asociadas al desempeño de dicho proceso así como las variables ambientales que caracterizan el entorno local donde estas industrias se localizan.

Por todo lo anteriormente expuesto, se hace necesario realizar la caracterización de estos vertimientos de aguas residuales teniendo en cuenta los parámetros básicos de calidad del agua, como son:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Potencial Hidrógeno (pH)
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Sólidos Disueltos Totales (SDT)
- Sólidos Sedimentables (SSed)
- Grasas y Aceites (G y A)
- Nitrógeno Total (N)
- Fósforo Total (P)
- Coliformes Fecales (Coli fecal)
- Temperatura (T)

En las avícolas se toma especial atención a la concentración de grasas y aceites en los vertimientos dado que estos inhiben la actividad biológica, interfieren en la transferencia de oxígeno, generan natas y espumas flotantes así como problemas de olores y acidificación del agua.

La reglamentación en Colombia exigida para los vertimientos de aguas está consignada en la Ley 2811/74 que corresponde al Código de Recursos Naturales y de protección al medio ambiente, estatuto que integra y sistematiza lo relativo a la biodiversidad, manejo, uso y administración de los recursos naturales renovables. Adicionalmente, el Decreto 1594/84, que hace referencia al Uso del Agua y residuos líquidos, reglamenta lo relativo a la disposición de los vertimientos líquidos de origen residual, descargados en fuentes hídricas de uso público que establece la norma de calidad ambiental del agua a efectos de garantizar su composición fisicoquímica y bacteriológica.

El artículo 72 del decreto 1594 de 1984, establece que: “*Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:*

Tabla 1. Características físico-químicas permitidas

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 Unidades	5 a 9 Unidades
Temperatura	$\leq 40^{\circ}\text{C}$	$\leq 40^{\circ}\text{C}$
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	<i>Remoción $\geq 80\%$ en carga</i>	<i>Remoción $\geq 80\%$ en carga</i>
Sólidos suspendidos, Domésticos o industriales	<i>Remoción $\geq 50\%$ en carga</i>	<i>Remoción $\geq 80\%$ en carga</i>
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	<i>Remoción $\geq 30\%$ en carga</i>	<i>Remoción $\geq 80\%$ en carga</i>
Para desechos industriales	<i>Remoción $\geq 20\%$ en carga</i>	<i>Remoción $\geq 80\%$ en carga</i>

Fuente: Decreto 1594/1984 art. 72

Dentro de la normativa internacional, se encuentra entre otras La Ley de Agua Limpia (CWA por sus siglas en ingles), que establece la estructura básica para la regulación de las descargas de contaminantes a efluentes de los Estados Unidos y la regulación de normas de calidad para las aguas superficiales. La base de esta ley se promulgó en 1948 y se llamó la Ley Federal de Control de la Contaminación del agua, la cual fue reorganizada y ampliada de manera significativa en 1972. "Ley de Agua Limpia" se convirtió en el nombre común de la ley con modificaciones en 1977 y está establecida en el código federal 40 CFR 100-149. Esta ley declara ilegal la descarga de cualquiera de los contaminantes de una fuente puntual en aguas navegables, a menos que se otorgue un permiso. La EPA (Environmental Protection Agency) por su parte, a través del Sistema Nacional de Eliminación de Contaminantes de las Descargas (NPDES) y mediante un sistema

de permisos, permite la realización de vertimientos a instalaciones industriales y municipales, adoptando las reglamentaciones ambientales locales.

EPA fija los límites de descarga a aguas superficiales bien sea con base en los estándares locales de la calidad del agua o a los derivados a partir de la evaluación del desempeño de la mejor tecnología disponible para reducir los contaminantes presentes en la descarga, cualquiera que sea el más estricto. También cuenta con límites de descarga aplicables a programas de pre-tratamiento de aguas residuales no domésticas que luego son usadas en plantas de tratamientos municipales.

Tabla 2. Límites de descarga Aplicables a Programa de Pre tratamiento

Referencia	Límite de descarga
pH	<i>6,5 a 9 Unidades</i>
Temperatura	<i>40°C</i>
Material flotante	<i>No está normado</i>
Grasas y aceites	<i>50 mg/l</i>
Sólidos suspendidos	<i>No está normado</i>
<i>Demanda bioquímica de oxígeno:</i>	<i>250 mg/l</i>

Fuente: Artículo: "Logros y Beneficios de la Implantación del Programa de Pre tratamiento Industrial de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillados". Martha Rivera Rosa; Organización panamericana de la Salud PAHO, Argentina.

Estos límites y condiciones de los permisos de descarga se aplican en todas las plantas donde no se han desarrollado límites locales específicos para la planta de tratamiento de aguas residuales. En algunas ocasiones los límites pueden variar siendo bien sea un poco más estrictos o flexibles. Por ejemplo, en Estados Unidos para evaluar la calidad de agua, cada estado compara los resultados de su monitoreo con los estándares de calidad de agua. Dichos estándares aplican al agua destinada para actividades de pesca y natación, y constituyen criterios de

obligatorio cumplimiento. Adicionalmente existe una política de anti degradación con el propósito de que las aguas que cumplen con los estándares no sean degradadas de su condición actual.

Esta información debe ser reportada de acuerdo a la Ley de Agua Limpia, donde además, señala la necesidad de restaurar aguas contaminadas y así poder mantener la calidad de las aguas que actualmente cumplen con los estándares. Los valores están condicionados a los establecidos en el permiso de descarga NPDES emitido por la EPA. [6].

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear un esquema objetivo de evaluación de factibilidad técnico-económica de la implementación de humedales artificiales que contemple la mayoría de variables dominantes que caracterizan el vertimiento de aguas residuales resultado de los procesos de producción avícola intensiva.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización de los vertimientos de aguas residuales de procesos intensivos de producción avícola e identificación de las variables asociadas a dicho proceso.
- Planteamiento de alternativas de tratamiento y recuperación posterior de las aguas residuales emanadas del proceso.
- Planteamiento de un esquema objetivo de evaluación de factibilidad de la implementación de humedales artificiales que permita la identificación de la alternativa o combinación de varias que sea la más viable en el proceso de tratamiento y posterior aprovechamiento de las aguas residuales.

3. CARACTERIZACION FÍSICO-QUIMICA DE LOS EFLUENTES EN LA INDUSTRIA AVICOLA EN SANTANDER – AREA METROPOLITANA

Con el fin de determinar las características básicas de los vertimientos a tratar se realizó la caracterización físico-química de los efluentes típicos de la industria avícola, tomando como base información del año 2005 que incluyó cinco plantas de beneficio ubicadas en el departamento de Santander, determinando la concentración de los principales contaminantes que tienen el potencial de causar impactos ambientales desfavorables en cuerpos receptores de agua. [7] Con el fin de evitar posteriores señalamientos o acciones de tipo legal se identificaron estas industrias a través de números.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS DE BENEFICIO AVICOLAS

3.1.1 Avícola No 1 (AVI1). El sistema de tratamiento de aguas residuales empleado en la planta de sacrificio No 1, está conformado por cribado, dos desarenadores, tanque de igualación, trampa de grasas, sedimentador, tanque de igualación, reactor UASB, filtro anaerobio de flujo ascendente y una estructura escalonada para la descarga al cuerpo receptor. Esta planta tiene una producción de 470.234 aves sacrificadas/mes, y muestra un consumo de agua de 5.536,3 m³/mes, lo que representa 11,77 litros de agua/ave sacrificada.

Tabla 3. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 1

PARÁMETRO	RESULTADO	RESULTADO	UNID.	REMOCIÓN	CARGA	%
	Afluyente	Efluyente		Carga	(kg/día)	Remoción
DQO	2373,5	671,0	mg O2/L	1702,50	179,53	71,73
DBO5	1107,5	306,0	mg O2/L	801,50	81,87	72,37
Aceites y Grasas	436,5	69,5	mg/L	367,00	18,59	84,08
Sólidos Totales	2166,0	1035,5	mg/L	1130,50	277,05	52,19
Sólidos Totales Volátiles	1437,0	394,5	mg/L	1042,50	105,55	72,55
Sólidos Suspendidos	957,5	147,0	mg/L	810,50	39,33	84,65
Sólidos Suspendidos Volátiles	947,5	129,0	mg/L	818,50	34,51	86,39
Sólidos Sedimentables	1,1	0,2	ml/l-hora			
pH	7,4	7,2	unid pH			
Temperatura	22,4	23,1	°C			
Caudal	4,4	4,6	L/s			

Fuente: Autores

La tabla No 3, muestra la caracterización de las aguas a la entrada y la salida del sistema de tratamiento del agua residual a la hora de mayor producción 6:00 am. Se observa que el sistema de tratamiento empleado no es eficiente para la remoción de DQO y DBO₅, ya que el porcentaje de remoción exigido en el Decreto 1594/84, es del 80% de la carga inicial, por lo que se hace necesario una evaluación más detallada de la efectividad del sistema de tratamiento empleado y estudio de posible adición de otros sistemas.

3.1.2 Avícola No 2 (AVI2). El sistema de tratamiento de aguas residuales de esta industria consta únicamente de un tratamiento primario (cribado, igualación, flotación, trampa de grasas y aireación). Su consumo de agua promedio es de 28.108,08 m³/mes con un sacrificio mensual de 2.488.731,25 pollos; lo que arroja un indicador de 11,58 litros de agua /ave sacrificada promedio.

La Tabla No 4, muestra la caracterización físico-química del agua residual de esta industria.

Tabla 4. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 2

PARÁMETRO	RESULTADO	RESULTADO	UNID.	REMOCIÓN	CARGA	%
	Afluente	Efluente		Carga	(kg/día)	Remoción
DQO	4516,0	3449,0	mg O2/L	1067,00	4571,22	23,63
DBO5	2501,0	2051,0	mg O2/L	450,00	2718,35	17,99
Sólidos Totales	7568,0	2700,0	mg/L	4868,00	3578,52	64,32
Sólidos Totales Volátiles	6372,0	1900,0	mg/L	4472,00	2518,21	70,18
Sólidos Suspendidos	2200,0	680,0	mg/L	1520,00	901,26	69,09
Sólidos Suspendidos Volátiles	2180,0	660,0	mg/L	1520,00	874,75	69,72
Sólidos Sedimentables	20,0	<0,1	ml/L-hora			
Nitrógeno Total KJELDAHL	218,0	235,0	mg-N/L			
Nitrógeno Amoniacal	63,0	89,0	mg-N/L			
pH	6,4	6,5	unid pH			
Temperatura	29,03	27,85	°C			
Aceites y Grasas	2402,0	1101,0	mg/L	1301,00	1459,24	54,16
Caudal	20,2	15,3	L/s			

Fuente: Autores

La planta avícola No 2 es la de mayor producción entre las evaluadas tanto por su producción como por su consumo total de agua. La baja tasa de remoción de contaminantes en el efluente es consecuencia de un esquema de tratamiento deficiente que no permite el cumplimiento de los estándares contemplados en la norma. Dado que sus índices de remoción de esta planta de sacrificio están fuera del rango típico determinado a partir de los datos evaluados de las demás plantas; Por lo tanto, se determinó no incluir estos datos en el estudio.

3.1.3 Avícola No 3 (AVI3). La producción de esta planta de beneficio No 3, es de 1.380.582 aves sacrificadas/mes con un consumo de agua 47520 m³/mes, dando como resultado 29,83 litros de agua/ave sacrificada.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de esta planta consta de un tratamiento inicial primario (cribado, igualación, flotación, trampa de grasas y aireación) seguido de un tratamiento secundario de tipo biológico (lagunas de oxidación).

Tabla 5. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 3

PARÁMETRO	RESULTADO	RESULTADO	UNID.	REMOCIÓN	CARGA	%
	Afluente	Efluente		Carga	(kg/día)	Remoción
DQO	1420	229	mg O ₂ /L	1191,00	282,14	83,87
DBO ₅	758	66	mg O ₂ /L	692,00	81,32	91,29
Aceites y Grasas	1096	7,2	mg/L	1088,80	8,87	99,34
Sólidos Totales	1292	494	mg/L	798,00	608,64	61,76
Sólidos Suspendidos	560	45	mg/L	515,00	55,44	91,96
Sólidos Suspendidos Volátiles	550	45	mg/L	505,00	55,44	91,82
Sólidos Sedimentables	0,5	< 0,1	ml-l-hora			
pH	7,11	7,37	unid pH			
Temperatura	20,99	25,29	°C			
Caudal	17,22	14,26	L/s			

Fuente: Autores

La avícola No 3, cumple con la normatividad vigente en cuanto a la calidad de sus vertimientos, además de contar con un sistema considerado eficiente si se toma como base los índices de remoción de materia orgánica.

3.1.4 Avícola No 4 (AVI4). El consumo de agua de esta industria es de 17.046,67 m³/mes con una producción de, 783.924 aves sacrificadas/mes lo cual arroja un indicador de 21,84 litros de agua / ave sacrificada. Su sistema de tratamiento de aguas residuales consta de un tratamiento primario (cribado, trampa de grasas, igualación, sedimentación flotación), seguido de un tratamiento secundario de tipo biológico (biológico anaerobio: tanque Daff).

Tabla 6. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 4

PARÁMETRO	RESULTADO	RESULTADO	UNID.	REMOCIÓN	CARGA	%
	Afluente	Efluente		Carga	(kg/día)	Remoción
DQO	4720	2290	mg O ₂ /L	2430,00	1491,34	51,48
DBO ₅	2602	1500	mg O ₂ /L	1102,00	976,86	42,35
Aceites y Grasas	838	577	mg/L	261,00	375,77	31,15
Sólidos Totales	3532	2520	mg/L	1012,00	1641,12	28,65
Sólidos Totales Volátiles	2876	1928	mg/L	948,00	1255,59	32,96
Sólidos Suspendidos	1900	1330	mg/L	570,00	866,15	30,00
Sólidos Suspendidos Volátiles	1810	1300	mg/L	510,00	846,61	28,18
Sólidos Sedimentables	18	0,1	ml/l-hora			
pH	6,89	5,96	unid pH			
Temperatura	24,4	24,9	°C			
Caudal		10,05	L/s			

Fuente: Autores

De acuerdo con los valores obtenidos para los índices de remoción en el afluente se concluye que el sistema de tratamiento empleado no está funcionando adecuadamente y que incumple con la normatividad vigente por lo que se requiere un diagnóstico más detallado de su desempeño, con el fin de tomar medidas para su posterior mejoramiento.

3.1.5 Avícola No 5 (AVI5). El sistema de tratamiento de aguas residuales consiste básicamente de un tratamiento primario (cribado, trampa de grasas, igualación, sedimentación y filtración con grava).

Tabla 7. Caracterización Físico – Química Planta Avícola No 5

PARÁMETRO	RESULTADO	RESULTADO	UNID.	REMOCIÓN	CARGA	%
	Afluente	Efluente		Carga	(kg/día)	Remoción
DQO	6278	2649,5	mg O2/L	3628,50	656,71	57,80
DBO5	2036,5	1416,5	mg O2/L	620,00	351,09	30,44
Aceites y Grasas	1569	996,5	mg/L	572,50	246,99	36,49
Sólidos Totales	5047	2885,5	mg/L	2161,50	715,20	42,83
Sólidos Totales Volátiles	4007	1928	mg/L	2079,00	477,87	51,88
Sólidos Suspendidos	2145	922,5	mg/L	1222,50	228,65	56,99
Sólidos Suspendidos Volátiles	2095	860	mg/L	1235,00	213,16	58,95
Sólidos Sedimentables	1,35	0,95	ml/l-hora			
pH	6,94	6,32	unid pH			
Temperatura	21,165	21,735	°C			
Caudal	6,62	6,885	L/s			

Fuente: Autores

Su consumo promedio de agua es de 7.031,08 m³ de agua /mes; con un producción de 859.969 aves sacrificadas/mes en promedio, lo que da como resultado un indicador de 8,23 litros de agua/ave sacrificada (ver Tabla No 7).

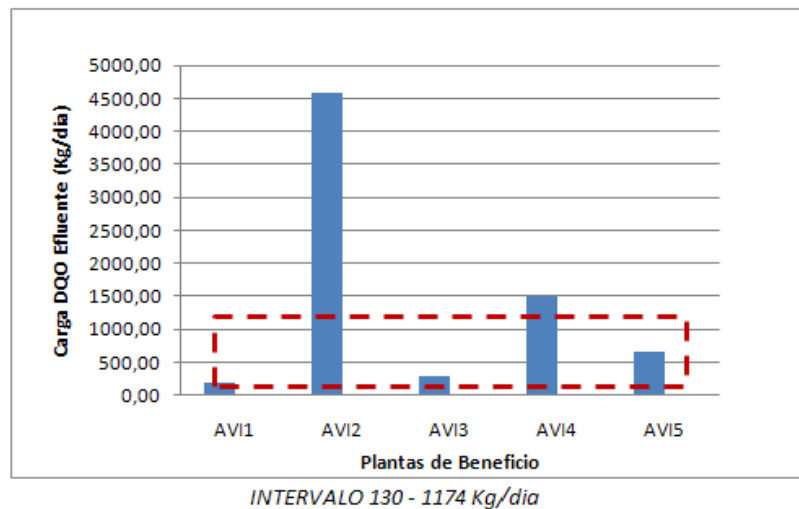
3.2 ANÁLISIS DE CARGAS Y RELACIONES DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Para la realización del análisis físico y químico del agua vertida en efluentes, se analizaron muestras de cinco plantas de beneficio avícola, tomándose dos muestras en cada una de ellas dentro del esquema usado para la declaración de las caracterizaciones de sus vertimientos y las cuales son presentadas a la CDMB cada semestre para el cobro de las tasas retributivas. (Decreto 901 del 1/04/97).

Algunas de estas plantas efectúan sus vertimientos al alcantarillado, otras a ríos y quebradas como la quebrada la Tachuela del municipio de Piedecuesta, la quebrada la Angula del municipio de Lebrija, el río Salamaga del municipio de Rionegro, entre otros.

La Grafica 1 muestra los valores de la demanda química promedio de oxígeno de los efluentes de las cinco plantas avícolas evaluadas, que en conjunto son representativas de la condición de las plantas de beneficio en Santander, resaltando las características físico-químicas que se evalúan de acuerdo al Decreto 1594/84.

Grafico 1. Demanda Química de Oxígeno del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas

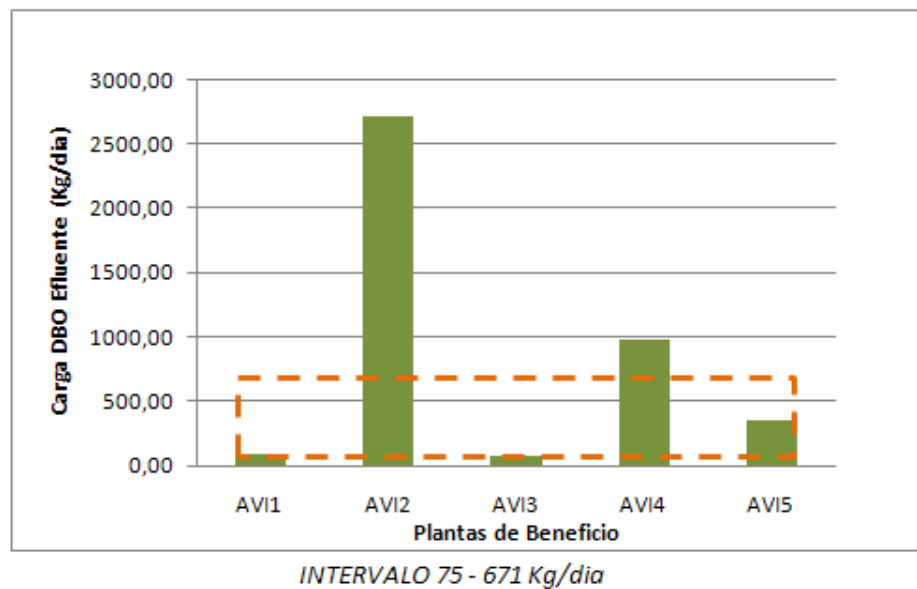


Fuente: Autores

Vale la pena aclarar que en la Grafica No 1, el dato de la Avícola No 2 no fue incluido en el análisis ya que dicha planta no se considera representativa de la condición promedio de los sistemas de tratamiento del conjunto de plantas

evaluadas, debido a que dicha planta posee un sistema de tratamiento empleado que no permite cumplir con los valores de remoción requeridos por la norma, ya que actualmente solo presenta índices de remoción del 18% aproximadamente lo cual es sensiblemente menor a los rendimientos obtenidos por otras plantas avícolas.

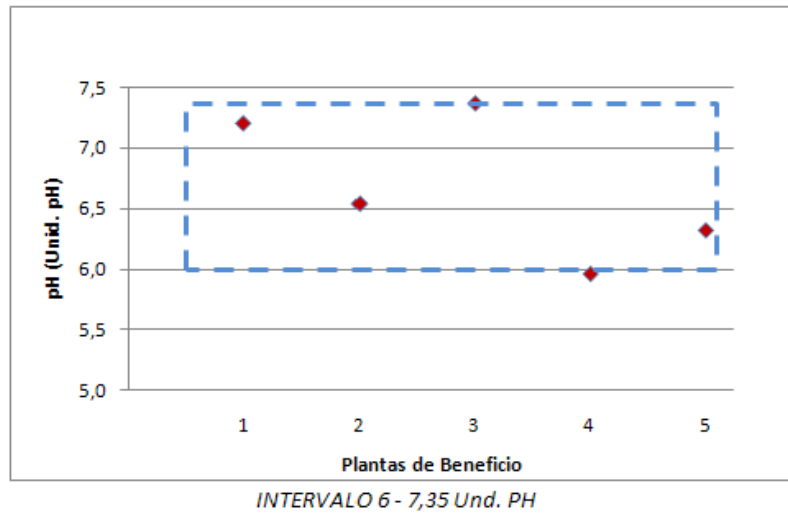
Grafico 2. Demanda Bioquímica de Oxigeno del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas



Fuente: Autores

La gráfica No 2 muestra que al igual que con la Demanda Química de Oxigeno DQO, el valor de la Demanda Bioquímica de Oxigeno del efluente de la empresa avícola No 2 está bastante desviado respecto al rango definido por los valores de las demás plantas.

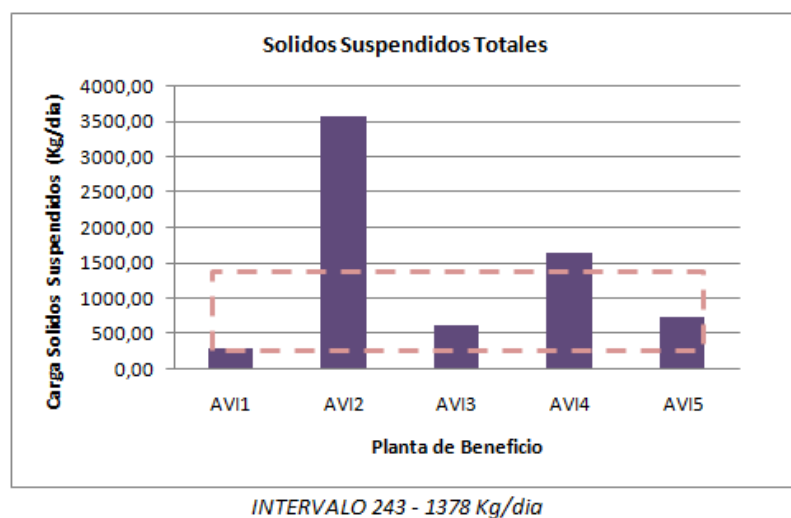
Grafico 3. pH característico del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas



Fuente: Autores

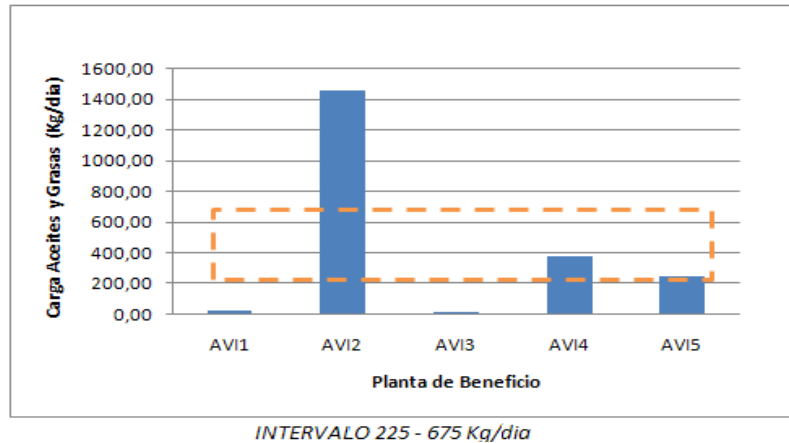
Lo anteriormente comentado es válido para los demás parámetros del efluente como pH, (ver Grafico No 3), sólidos suspendidos (Gráfico No 4) y la carga de aceites y grasas (ver Gráfico No 5).

Grafico 4. Sólidos suspendidos del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas



Fuente: Autores

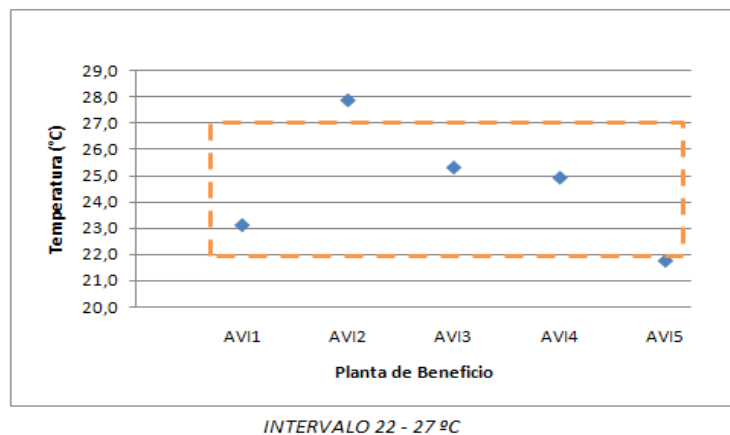
Grafico 5. Aceites y Grasas del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas



Fuente: Autores

La carga de aceites y grasas en la industria avícola, es de relevancia, especialmente la fracción suspendida, ya que excesos en este valor ocasionarán problemas importantes en la operación del sistema de tratamiento biológico (inhibición de la actividad biológica, interferencia en la transferencia de oxígeno, generación de natas y espumas flotantes, problemas de olores, acidificación del agua)

Grafico 6. Temperatura del Efluente PTAR de 5 plantas avícolas



Fuente: Autores

Para la caracterización físico-química de los efluentes de este tipo de industria se evaluaron los parámetros de los vertimientos de las cinco plantas de beneficio consideradas, obteniéndose rangos de valores para cada uno de ellos. Adicionalmente y dentro del análisis de los datos se evidenció, que a pesar de existir tratamientos primarios, las concentraciones de contaminantes en los efluentes que se vierten a ríos y/o quebradas son altas, razón por lo cual, se hace necesario un tratamiento adicional, que mitigue el impacto ambiental negativo presentado.

Los rangos de valores obtenidos para los diferentes parámetros de caracterización físicoquímica de los efluentes provenientes de plantas de beneficio avícola son mostrados en la Tabla No 8.

Tabla 8. Caracterización Físico-Química típica del agua residual de la industria avícola en Santander

PARAMETRO	INTERVALO REPRESENTATIVO	UNIDAD
DQO Efluente	130 - 1174	Kg/día
DBO ₅ Efluente	75 - 670	Kg/día
pH	6 - 7,35	Unid. pH
SST	243 - 1378	Kg/día
Aceites y Grasas	225 - 675	Kg/día
Temperatura	22 - 27	°C

Fuente: Autores

De Tabla 8 y Tabla 1, se observa que la mayoría de las plantas de beneficio presentan problemas a la hora de cumplir con los estándares de remoción de contaminantes fijados por la entidad ambiental competente ya que el porcentaje de remoción se encuentra muy por debajo de los valores límites permitidos.

De igual manera, es de gran importancia verificar la relación que existe entre la demanda de agua con la oferta hídrica disponible en la zona; a fin, que se pueda

evaluar si el recurso hídrico es suficiente y cumple con los criterios de calidad que exige este suministro. [8] Adicionalmente a esto, se han hecho estudios de la contaminación del suelo, donde se concluye que la generación de pollinaza es de alrededor de 1,54 Kg/Ave/Ciclo incluyendo la cama donde cada ciclo corresponde a un periodo de entre 42 a 45 días y una humedad promedio del 20%. Por su parte, la generación de gallinaza es de 13 Kg de gallinaza/Ave/ciclo, para un ciclo de 80 semanas.

Lo anteriormente expuesto confirma el alto potencial contaminante de las aguas residuales provenientes de la actividad avícola y que también esta actividad económica demanda grandes cantidades de agua cuyo promedio llega a alcanzar los 21 litros/día por cada 100 aves.

3.3 IMPACTOS AMBIENTALES

Los efluentes de la industria afectan en forma negativa los ríos y quebradas por nutrientes, materia orgánica, y sólidos suspendidos. Además de grasas y aceites los cuales inhiben la actividad biológica e interfieren con la transferencia de oxígeno.

Otro caso, se presenta cuando la disposición final del vertimiento industrial se hace directamente a los suelos, las sales, ácidos, bases y aceites y grasas presentes pueden alterar sus características, dando lugar a procesos de salinización y de erosión. En caso de no existir capas impermeables en el subsuelo sobre el cual se hacen las descargas de aguas, se puede presentar contaminación de acuíferos, afectando no solo fuentes de agua superficial sino también fuentes de agua subterránea.

3.3.1 Carga de sólidos suspendidos totales (SST) y DBO₅. Estas cargas son de suma importancia por el impacto causado a las corrientes superficiales, siendo los SST material no disuelto, el cual causa obstrucción en drenajes, disminución de la luz, mayor sedimentación en las corrientes y aumento en las cargas de DBO₅ y DQO, ya sea de tipo orgánico e inorgánico.

La concentración de materia orgánica, DBO₅ es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable bajo condiciones aeróbicas, inhibiendo y algunas veces ocasionando la muerte a la vida acuática de la corriente superficial cuando está presente en concentraciones altas. En aguas subterráneas suelen encontrarse valores de DBO₅ menores a 1 ppm o 1mg. Para este caso, valores mayores pueden ser indicativos de contaminación. En cuanto a las aguas residuales domesticas, sus valores pueden oscilar entre 100 y 350 ppm mientras que para aguas industriales estos valores pueden alcanzar varios miles de ppm.

La relación entre los valores de DQO y DBO es un indicador del grado de biodegradabilidad de la materia contaminante. Esta relación siempre es mayor o igual a 1, debido a que la oxidación biológica es en la mayoría de los casos menor que la oxidación química de la materia orgánica.

Tabla 9. Relación DQO/DBQ

RELACION	CAPACIDAD M.O
DQO/DBO ₅ = 1.5	Materia orgánica muy degradable.
DQO/DBO ₅ = 2	Materia orgánica moderadamente degradable.
DQO/DBO ₅ = 10	Materia orgánica poco degradable.

Fuente: GUÍA AMBIENTAL PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE PRETRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES, Ministerio del Medio Ambiente 2002.

La demanda química de oxígeno DQO es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua oxidables en unas condiciones determinadas. Esta medida es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral. Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm, o algo superiores. Las aguas residuales domésticas suelen contener entre 250 y 600 ppm, y en las residuales industriales las concentraciones dependen del proceso productivo que origina el vertimiento [9].

En el caso de las industrias avícolas, se tiene índices de biodegradabilidad de 1.75 lo que indica contaminación de las aguas con capacidad de materia orgánica moderadamente degradable.

4. FUNDAMENTOS Y GENERALIDADES SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES

Según el Convenio de RASAR sobre humedales, estos se definen como: *“Extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros”* [10].

Los humedales naturales son complejos mosaicos de láminas de agua, vegetación sumergida, vegetación flotante, vegetación emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie, en los que el suelo se mantiene saturado de agua durante un largo período del año. En los humedales crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales. Estos seres vivos, junto a procesos físicos y químicos, son capaces de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y en algunos casos, productos químicos tóxicos; por esta razón se les ha llamado “los riñones del mundo”. Ver Tabla 10.

Tabla 10. Principales procesos físicos, químicos y biológicos que favorecen la depuración de aguas residuales en los humedales.

Contaminante	Proceso de eliminación
Materia Orgánica	Sedimentación, Asimilación, Mineralización,
Sólidos en suspensión	Floculación, Sedimentación, Filtración, Degradación
Nitrógeno	Amonificación, Volatilización de amonio, Nitrificación, Desnitrificación
Fósforo	Adsorción, Sedimentación, Precipitación Química, Asimilación vegetal
Patógenos	Sedimentación y muerte gradual, Radiación UV, Antibióticos naturales, Predación
Compuestos inorgánicos	Asimilación, Inmovilización
Metales pesados	Fijación al sedimento, Adsorción por las plantas

Fuente: Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La Edar de los Gallardos (Almería); Agustín Lahorsa, Gestión de Aguas del Levante Almeriense, S.A, GALASA.

Se ha tratado de aprovechar este gran potencial depurador de los humedales para el tratamiento de aguas residuales, diseñando instalaciones capaces de reproducir las características de los humedales naturales.

Los humedales son específicamente construidos con el propósito de controlar la contaminación del agua, recibiendo una gran cantidad de nombres en las distintas partes del mundo donde han sido usados. La denominación más extendida es “Humedales artificiales” o “Humedales construidos”.

En depuración de aguas residuales, generalmente se consideran humedales aquellos sistemas que usan macrófitos (plantas que se ven a simple vista), en contraposición a los micrófitos (generalmente microalgas), y por tanto, los lagunajes no suelen ser considerados como humedales.

Las funciones que hacen más relevantes el uso de humedales se centra en la fijación física de contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, la utilización y transformación de los elementos por intermedio de los microorganismos, los niveles altos de tratamiento en relación al bajo consumo de energía y mantenimiento.

4.1 TIPOS DE HUMEDALES

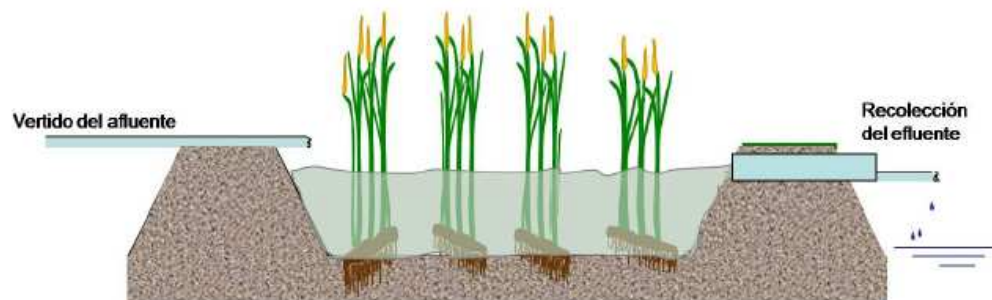
Las clasificaciones más recientes de humedales se hacen en función de la presencia o no de una superficie de agua libre en contacto con la atmósfera:

1. Superficie de agua libre (Free Water Surface o FWS): Las plantas acuáticas están enraizadas en el fondo del humedal y el flujo de agua se hace a través de las hojas y tallos de las plantas. Ver Figura 1.

2. Lecho Vegetal Sumergido (Vegetated Submerged Bed o VSB): la lámina de agua no es visible y el flujo atraviesa un lecho relleno con arena, grava o suelo, donde crecen las plantas, que solo tiene las raíces y rizomas en contacto con el agua. Son equivalentes a los humedales de flujo sub superficial. Tiene la ventaja de no producir olores ni mosquitos pero los procesos en su interior son anaerobios. Ver Figura 2.

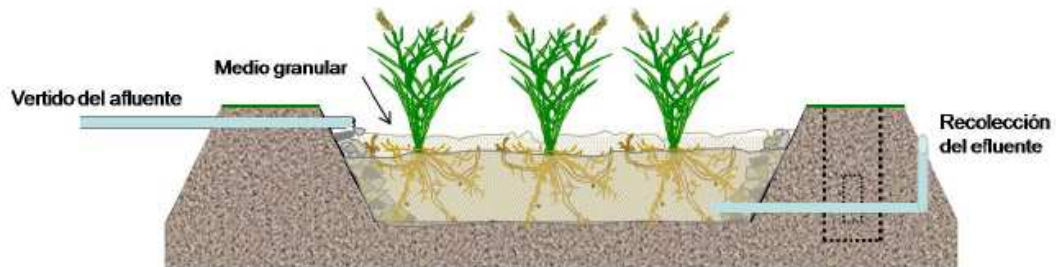
Un humedal con flujo subsuperficial, puede considerarse como un reactor biológico tipo “proceso biopelícula sumergida”. El agua entra por uno de sus extremos, y se reparte atravesando la zona de grava sembrada con los helófitos. En el otro extremo, el agua es recogida en el fondo. El nivel máximo se regula de manera que no aflore la lámina de agua y se mantenga unos centímetros por debajo de la grava, haciendo visitable el humedal e impidiendo la proliferación de moscas y mosquitos.

Figura 1. Humedal artificial de flujo libre con plantas emergentes, flotantes y sumergidas.



Fuente: Depuración con humedales construidos, Guía Práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, 2008.

Figura 2. Humedal de flujo sub superficial (VSB Vegetated Submerged Bed)



Fuente: Depuración con humedales construidos, Guía Práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Joan García Serrano, Angélica Corzo Hernández, 2008.

Los humedales sub superficiales se clasifican en humedales horizontales y verticales, de acuerdo a la forma en que el agua residual atraviesa el lecho filtrante. [11]

El humedal horizontal consiste en áreas generalmente rectangulares con profundidades que van entre 60 y 100 cm, rellenos con material granular y sembrados con plantas macrófitas, donde el agua fluye lentamente en trayectoria horizontal desde la zona de distribución a la entrada del humedal a través del lecho filtrante hasta la zona de recolección, en un proceso que dura aproximadamente de 3 – 7 días donde el agua es depurada por la degradación microbológica proporcionada por la biocapa que se forma en la superficie del material del lecho filtrante y por procesos fisicoquímicos.

Dentro las características principales de los humedales horizontales se encuentran:

- La cantidad de oxígeno transportado por medio de las hojas y tallos hacia las raíces de las macrófitas, es un factor limitante para la descomposición aeróbica en la rizósfera, dándose la nitrificación sólo a niveles bajos.

- Las raíces de las macrófitas crecen vertical y horizontalmente, abriendo así una vía o ruta hidráulica a través de la cual fluye el agua.
- Tienen un alto tiempo de retención, normalmente en el rango de 3-7 días.
- Poca posibilidad de cortocircuitos en el régimen hidráulico, por la homogeneidad del lecho filtrante.

Los humedales verticales tienen aproximadamente 1 m de profundidad, rellenos de material granular, colocándolo en capas de diferente espesor y granulometría; distribuyendo el agua en forma intermitente sobre toda la superficie del lecho filtrante y luego percola hacia la zona de recolección. En este tipo de humedales, las plantas macrófitas sembradas en la superficie también suministran oxígeno, pero su principal función es mantener la conductividad hidráulica en el lecho. Los humedales verticales se utilizan generalmente para lograr una buena nitrificación del suelo.

Dentro las características principales de los humedales verticales se encuentran:

- El agua residual a tratar es dosificada y distribuida intermitentemente en toda la superficie del lecho filtrante.
- Idealmente, el líquido debe inundar temporalmente la superficie y luego percolar gradualmente a través del lecho de forma descendente.
- La frecuencia de la alimentación está en dependencia del tiempo que necesita una dosificación de agua para percolarse a través del lecho hacia el sistema de drenaje, dejando la mayoría de los poros rellenos con aire.
- Bajo tiempo de retención.
- Se necesita solamente entre 30 y 50 % del área requerida para la construcción de sistemas con flujo horizontal.
- La biodegradación en el sistema no está limitada por el oxígeno, por lo cual es capaz de nitrificar a altos niveles.

La combinación de humedales verticales en serie con humedales horizontales proporciona un aumento sustancial en la remoción de nitrógeno, debido a:

- La eficiencia de la nitrificación en el humedal vertical el cual es alimentado intermitentemente.
- La desnitrificación realizada en el humedal horizontal debido a la existencia de zonas anaeróbicas en el lecho filtrante.

Adicional a lo anterior la combinación permite aumentar la remoción de fósforo, si se compara con la obtenida mediante humedales horizontales solamente debido a la remoción adicional que ofrece la disposición vertical.

En resumen, el uso de la combinación de humedales tipo horizontal y vertical mejora la calidad del efluente obtenido en comparación con el uso exclusivo de humedales de flujo horizontal.

4.2 VEGETACIÓN

Un tipo especial de macrófitos son los helófitos, plantas capaces de arraigar en suelos encharcados o anegados, con una parte sumergida y otra emergente. Los helófitos más usados en depuración son aneas (*Typha*), carrizos (*Phragmites*), juncos (*Juncus*), *Scirpus*, *Carex*, etc. Ver tabla No 11.

Los helófitos son capaces de transportar oxígeno desde los tallos y hojas hacia sus raíces y rizomas, pero en los humedales de flujo subsuperficial, la cantidad de oxígeno aportada es muy pequeña, comparada con la demanda de las aguas residuales por lo que los procesos de eliminación de materia orgánica son prácticamente anaerobios, no ocurriendo por tanto la nitrificación y desnitrificación.

Hasta ahora se creía que gran parte del poder depurador de los humedales se debía a los helófitos; Sin embargo, recientes estudios comparan el rendimiento de humedales plantados y no plantados, lo que parece indicar que se ha sobrestimado la capacidad de transporte de oxígeno de los helófitos hacia las zonas sumergidas.

Otros estudios, realizados en condiciones de laboratorio, indican que el oxígeno transportado por los helófitos puede ser utilizado por los microorganismos que crecen sobre ellos en forma de biopelícula. En las capas de esta biopelícula mas próxima a los rizomas se dan procesos aerobios, mientras que en las más alejadas, al no difundir el oxígeno, los procesos serían anaerobios, esta situación si permitiría el proceso de nitrificación – desnitrificación.

La capacidad de transferencia de oxígeno por los helófitos se estima entre 0 a 3 g $O_2/m^2/día$, equivalente a 30 kg $DBO_5/ha/día$ lo cual es muy bajo para las cargas usuales de las aguas residuales. Por otra parte, la transferencia de oxígeno desde la atmósfera se sitúa entre 0 a 0.5 g $O_2/m^2/día$, por lo que las condiciones al interior de los humedales son fuertemente reductoras.

Tabla 11. Plantas acuáticas emergentes utilizadas en tratamiento de aguas residuales

Nombre común	Nombre científico	Distribución	Temperatura °C		Máxima Salinidad	Rango de pH efectivo
			Deseable	Germinación de la semilla	Tolerancia partes por mil	
Totora	Typha spp	En todo el mundo	10-30	12-24	30	4-10
Caña común	Phragmites communis		12-23	10-30	45	2-8
Junco	Juncus spp		16-26		20	5-7,5
Junco	Scirpus		18-27		20	4-9
Carrizo	Carex spp		14-32			5-7,5

Fuente: Reed, S.C, J Miledlebrooks and R. W, Crites (1995).

4.3 EFICIENCIA DE REMOCIÓN

4.3.1 Remoción de sólidos. Los sistemas VSB generalmente son efectivos en la remoción de sólidos sedimentables y en suspensión [12]. Sin embargo, la acumulación de sólidos en el sistema puede contribuir al taponamiento del medio filtrante, reduciendo la profundidad efectiva del mismo. Por lo anterior, la ruta o trayectoria del sistema VSB es un factor que debe tenerse muy en cuenta para lograr su desempeño óptimo durante el ciclo de vida esperado.

En el sistema VSB, las grandes partículas sólidas generalmente son removidas por pretratamientos primarios antes de ingresar al mismo. Los sólidos sedimentables y en suspensión son removidos principalmente por filtración y sedimentación. Estos procesos puramente físicos también remueven otros componentes del agua residual. Aun después de la filtración y sedimentación, las partículas orgánicas en el flujo de agua entrante y en el fondo del sistema experimentan hidrólisis y generarán compuestos orgánicos solubles en el sistema.

4.3.2 Remoción de materia orgánica. La materia orgánica en las aguas residuales típicas consta de carbohidratos, proteínas, aceites y grasas y puede existir en forma particulada o disuelta. La reducción de residuos de plantas muertas y basura también adiciona materia orgánica en los sistemas VSB. Su medición, en este tipo de sistemas puede hacerse de diferentes formas. La materia orgánica químicamente oxidable es medida en función de la demanda química de oxígeno (DQO), la orgánica biodegradable en función de la demanda de oxígeno bioquímico (DBO_5) y la materia orgánica total presente se mide en función del carbón orgánico total (COT) y sólidos volátiles, sin embargo, todos estos métodos son considerados métodos agregados para valoración de cargas contaminantes pero ninguno de ellos identifica la trayectoria de un contaminante específico en el proceso de remoción por lo que los intentos por modelar el

comportamiento de la materia orgánica generalmente están basados empíricamente en el parámetro de interés.

Los compuestos orgánicos son degradados a través de bioconversión por microorganismos en el interior o en la superficie de los medios acuosos. La mayoría de los microorganismos acuáticos ya sea en crecimiento suspendido o en forma adjunta, utilizan carbón orgánico para la síntesis de nuevas células. El electrón donante que provee energía para la actividad de la biomasa es el DQO biodegradable en el agua residual. Una representación burda de la descomposición de materia orgánica puede ser descrita de las siguientes formas:

- En condiciones aeróbicas, la materia orgánica es oxidada por bacterias heterotróficas aeróbicas por reducción del O_2 , produciendo CO_2 y liberando energía que es usada por la bacteria.
- En condiciones anóxicas, la oxidación de la materia orgánica puede ocurrir reemplazado el electrón receptor oxígeno por nitrato a través de microorganismos desnitrificadores.

El potencial para condiciones aeróbicas en los sistemas VSB depende principalmente de la disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) en el agua residual. Sin embargo, la transferencia de oxígeno a través de las plantas (0 a 3 g O_2 / m^2 - día) es suficiente en sistemas VSB ligeramente cargados.

5. DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA DE EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES.

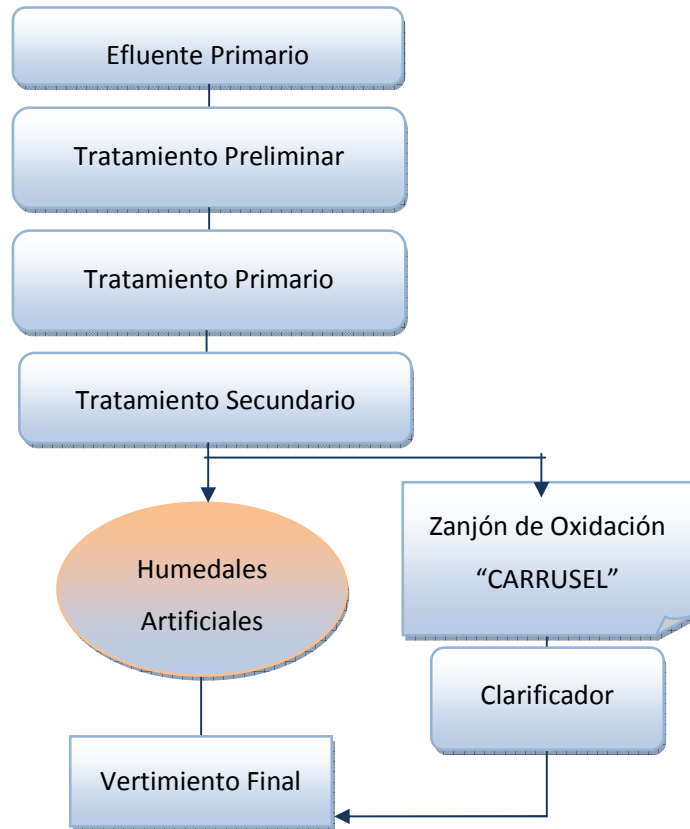
Con base en la datos recopilados y en la caracterización de los vertimientos de las diferentes plantas evaluadas y considerando específicamente los valores de producción, caudal de vertimientos generados y caracterización bioquímica de los mismos se estableció un esquema básico de evaluación de factibilidad para determinar la viabilidad de uso de humedales artificiales como esquema de tratamiento terciario en combinación con esquemas primarios y secundarios previamente instalados en las plantas referidas. Antes de proceder a su descripción cualitativa es importante identificar los supuestos sobre los cuales se basa el esquema de evaluación propuesto.

- El esquema propuesto es aplicable solo a plantas de producción avícola que incluyan procesos de sacrificio. Plantas con procesos productivos exclusivos de levante de pollas y ponedoras tendrán unos vertimientos con diferentes características y caudales y deberán ser objeto de un estudio adicional y posiblemente un esquema diferente de tratamiento terciario en caso que esto aplique.
- Los caudales de vertimientos a tratar oscilan entre los 3 litros por segundo y 10 lps o 864 m³ / día (valor pico) con un promedio de 6,5 lps. Otras características de estos vertimientos típicos están relacionadas en la Tabla 8.
- Se considerará el uso de humedales artificiales como esquema de tratamiento terciario complementario a otros esquemas primarios y secundarios los cuales generalmente ya han sido implementados previamente en este tipo de industrias (ver Figura 3). Lo anterior debido a los altos costos y la poca

viabilidad técnica que supondría usar la técnica de humedales artificiales como esquema de tratamiento primario.

- El esquema básico de evaluación de factibilidad propuesto asume valores típicos para algunas variables que influyen en el diseño final del humedal como volúmenes de vertimientos, composición básica de los mismos y eficiencias de remoción fijas. También se asume, en algunas de las alternativas planteadas, la posibilidad de tratar un porcentaje del efluente proveniente del esquema de tratamiento secundario con el fin de optimizar el diseño final del humedal artificial y permitir el cumplimiento de las normativas ambientales sobre vertimientos (ver Figura 3). La viabilidad de la reutilización de un porcentaje del efluente del sistema de tratamiento secundario en otras fases del proceso productivo debe ser objeto de un estudio complementario más detallado.
- De igual forma y tal como lo sugiere Marahata [13]; modelar adecuadamente el desempeño de un humedal artificial requiere la caracterización e inclusión de fenómenos complejos como precipitación, evapo-transpiración, advección y dispersión del sustrato, sólidos y biomasa teniendo en cuenta su oscilación estacional en la zona donde la tecnología se vaya a aplicar, así como también un adecuado conocimiento de las propiedades de los medios porosos y flujo de entrada elementos que aunque no están considerados en este esquema deberán ser considerados en versiones posteriores más detalladas del mismo.
- Los costos finales asociados a la implementación de las diferentes alternativas de uso de los humedales artificiales deberán ajustarse teniendo en cuenta valores típicos locales para algunas variables como son los costos del terreno donde estará ubicado el humedal, transporte de materiales, mano de obra e implementación de obras civiles adicionales.

Figura 3. Diagrama del esquema básico de tratamiento a evaluar



Fuente: Autores

Con base en lo anterior, y teniendo en cuenta los fundamentos básicos y generalidades sobre la tecnología de humedales artificiales expuestos en el capítulo anterior, el esquema de factibilidad de implementación de humedales artificiales propuestos tendrá en cuenta las siguientes alternativas:

- Tratamiento del 100% del efluente proveniente del esquema de tratamiento secundario haciendo uso de las siguientes tecnologías:
 - Humedal de disposición horizontal.
 - Humedal de disposición vertical.

- Combinación de las dos disposiciones anteriores.

- Tratamiento parcial del efluente proveniente del esquema de tratamiento secundario con posterior mezcla a la salida del humedal con la porción no tratada del efluente principal. Esta evaluación se realizó para diferentes porcentajes de mezclas entre efluente principal y efluente tratado y tomando como alternativa de tratamiento, la combinación óptima entre las tecnologías de humedales de disposición horizontal y vertical obtenida a partir de la evaluación en el ítem anterior.

Estas alternativas serán descritas con mayor detalle y evaluadas en el capítulo siguiente.

6. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS.

En este capítulo se describen los diferentes esquemas normalmente usados en el tratamiento de aguas residuales de la industria avícola así como también el proceso de diseño de humedales evaluando las diferentes alternativas de implementación mencionadas anteriormente. Finalmente y como parte de la validación del esquema de evaluación de factibilidad de la implementación de humedales como sistema de tratamiento en este tipo de industrias, se incluye una evaluación de desempeño de cada una de las alternativas mencionadas haciendo énfasis no solo en los índices de remoción de los contaminantes sino también en los costos asociados a la implementación de cada una de estas alternativas.

6.1 PROCESOS UNITARIOS PRELIMINARES

La selección adecuada de los esquemas de tratamiento de aguas residuales, dependen de factores, tales como:

- Características del agua residual: DBO₅, materia en suspensión, pH.
- Calidad del efluente de salida requerido.
- Costo y disponibilidad del terreno.
- Consideración de futuras ampliaciones o previsión de límites de calidad de vertido más estricto.
- Costo local del agua y costo por vertimientos a ríos y quebradas.

Los procesos unitarios preliminares empleados en el tratamiento de aguas residuales, pueden contemplar el uso de cribados gruesos y finos, desarenadores, sedimentadores, tanques sépticos, tanques Imhoff, lagunas y tratamiento primario.

La mayoría de estos hacen uso de esquemas de pre-tratamiento (reja, tamiz o decantador). Asimismo, se pueden adoptar sistemas secundarios, con el fin de mejorar la calidad del agua entregada, de modo que se cumpla con la normatividad requerida.

El tratamiento preliminar está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones, optimizar el funcionamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de las plantas de tratamiento.

Los objetivos de tratamiento de las unidades preliminares descritas se muestran en la Tabla No 12.

Tabla 12. Objetivo procesos de Pre tratamiento

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos.
Trituradores	Desmenuzamiento e sólidos.
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla.
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas.
Pre aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico.

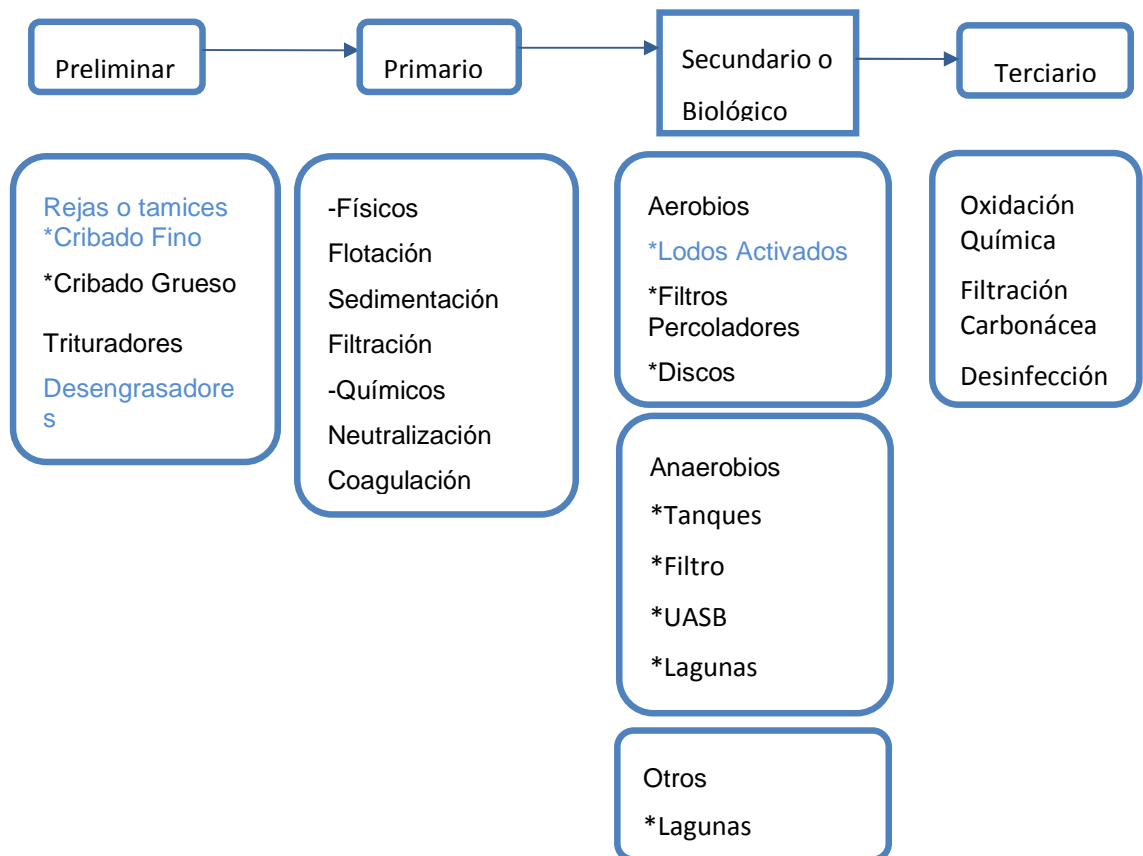
Fuente: Conferencia sistemas de tratamiento de aguas residuales, Ricardo Rojas, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002.

En la industria avícola es útil emplear como sistema de tratamiento un cribado fino, desengrasado, y tratamiento primario; de modo que se pueda cumplir las normas en cuanto a pH, temperatura, contenido de sólidos en suspensión, de materia orgánica, de grasas y aceites, antes de pasar a un tratamiento biológico o de descargarlo a un cuerpo de agua previo uso de un tercer sistema de tratamiento como humedales artificiales como es el caso que nos ocupa.

Los humedales construidos o artificiales pueden ser un tratamiento efectivo a la hora de disminuir la carga orgánica y bacteriológica a valores aceptables para su vertimiento final al efluente, lo que hace atractiva su aplicación.

En términos generales, los diferentes tipos de tratamientos aplicados a los vertimientos pueden clasificarse en primarios, secundarios o terciarios como se muestra en la Figura No 4

Figura 4. Clasificación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: Adaptada de la Figura 5,8 Sistema de tratamiento de aguas residuales industriales; Guía Ambiental, Formulación de planes de pre tratamiento de efluentes industriales; Ministerio del medio ambiente, 2002.

6.1.1 Rejas o tamices, Cribado Fino. En una planta de tratamiento de agua, el cribado es el primer método de tratamiento que se debe considerar. Su objetivo es interceptar los cuerpos gruesos antes de que dañen o vuelvan más lentos los procesos depurativos. La captación de los cuerpos se realiza a través de cribas o rejillas metálicas con tamices que van de 4 - 6 cm, para el cribado grueso, y de 0.2 a 0.5 cm para el cribado fino.

Las rejas de desbaste son básicamente un sistema de barras paralelas, cuya inclinación recomendada cuando se encuentra dentro de un canal es de 45°, pues se adapta para que la limpieza de la rejilla pueda ser manual o mecánica. El espaciamiento entre las barras de la rejilla dependerá del tipo de residuo a ser retenido y del material en que sea construida. El ancho de la reja dependerá del ancho total de la captación o canal y la velocidad de flujo a través de ella baja, con el fin de evitar el arrastre del material retenido.[14].

Los lineamientos básicos para el diseño de rejillas de limpieza manual son los siguientes:

Tabla 13. Parámetro de diseño rejillas

Parámetro de Diseño	Unidad	Rango	Rejilla Gruesa	Rejilla Fina
Espaciamiento entre barras	mm	15-50	40	20
Diámetro de las barras	pulgadas	3/8 – 1 ½	½	½
Velocidad de aproximación	m/s	0.3 – 0.6	0.45	0.5
Velocidad a través de las barras	m/s	0.3 – 0.6	0.6	0.6
Angulo de inclinación	°	60-45	45	45

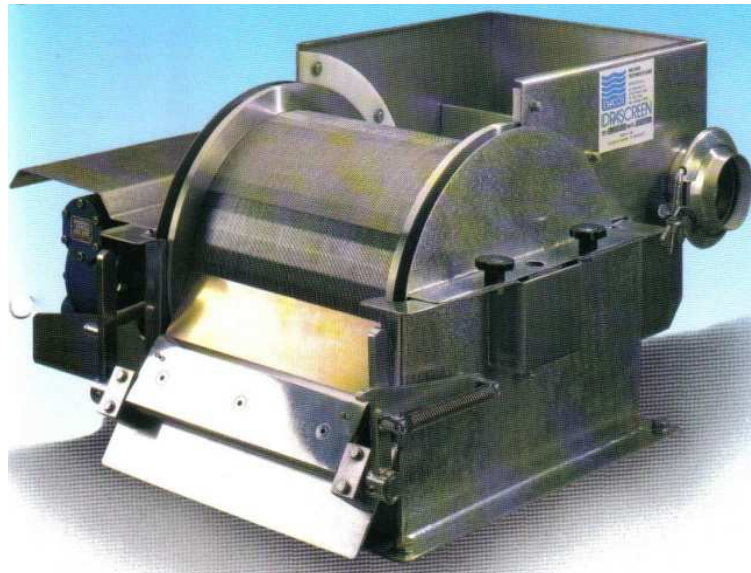
Fuente: RAS-2000¹

¹ Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, correspondiente a la Resolución No.1096 del 17 de noviembre de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico.

Asimismo, existen equipos, que se encuentran en el mercado, como lo son los separadores cilíndricos que trabajan por medios mecánicos o hidráulicos. Este ejemplos de estos equipos son los producidos por la empresa italiana IDRACO, la cual presenta rejillas de tambor o filtro rotatorio (IDRASCREEN), con ventajas, tales como, la alta capacidad respecto a las dimensiones del tambor de 1/3 a 1/5, bajo consumo de energía, no requiere mano de obra para su instalación, no requiere consumo de agua limpia, además puede manejar caudales desde 10 hasta 2100m³/hora. Su principio de funcionamiento se basa en poner en contacto las partículas solidas con la superficie del tambor, quedando estas retenidas en la parte exterior debido a una rotación lenta y posteriormente desplazándolas hacia adelante, a través de un dispositivo raspador articulado.

En la industria avícola, este proceso se emplea para el retiro de plumas delgadas o plumón, las cuales son retenidas en rejillas finas hasta de 0.25 mm.

Figura 5. Filtro Rotatorio de IDRASCREEN serie GF-6206



Fuente: Manual IDRACOS, equipos y plantas para aguas residuales domesticas e industriales.

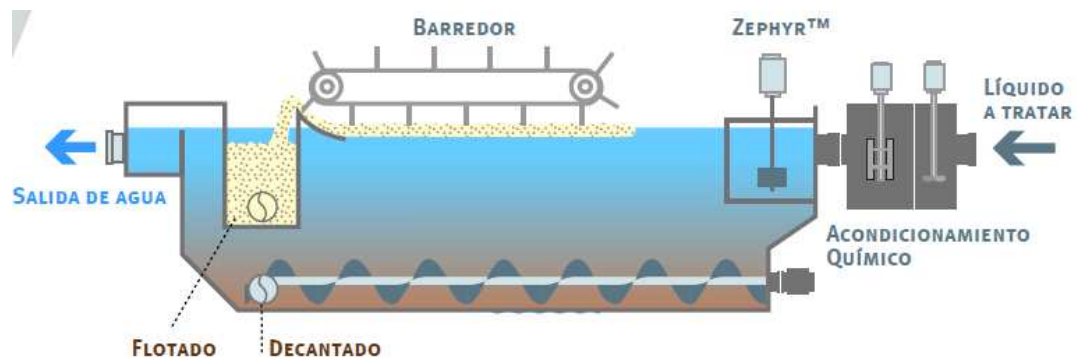
Como ejemplo y para el caso que nos ocupa, el caudal del afluente es 10 l/s = 36 m³/hora. Al ubicar este dato en la tabla de características técnicas de filtros rotarios del fabricante IDRACOS se identifica el filtro de la serie GF-6206 con distancia entre rejillas o luz de filtración de 0.25 mm como el equipo óptimo a usar como parte del sistema de tratamiento preliminar.

Las dimensiones requeridas del Filtro rotatorio IDRASCREEN modelo GF-6206 para la remoción de plumas están consignadas en el anexo A,B y C.

6.1.2 Desengrasado. La remoción de grasas, aceites y sólidos en suspensión con elevadas tasas de concentración pueden ser tratados mediante sistemas de aireación, que permitan efectuar la separación de estos elementos de los residuos líquidos, mejorando así la calidad de los mismos y permitiendo a su vez en muchos casos la recuperación de compuestos que pueden posteriormente ser reutilizados. Estos sistemas de aireación basan su principio de funcionamiento en la inyección de aire al agua para permitir que las burbujas formadas, al subir a la superficie arrastren a su paso todo el material insoluble presente en el agua en donde se facilita su retiro. Dependiendo de la forma en que se agregue el aire o gas, y del tipo de burbuja que se produzca tratará de un DAF (Dissolved Air Flotation), CAF (Cavitation Air Flotation), IAF (Induced air flotation).

Para el caso de la industria avícola, se sugiere que se emplee un aireador tipo IAF, que consiste en la separación de partículas en suspensión mediante burbujas de aire, en una solución sobresaturada. Los sólidos se adhieren a las burbujas en su recorrido ascendente y son separados en superficie por un barredor.

Figura 6. Sistema de flotación por aire inducido



Fuente: Manual NOVARSA línea IAF

Este sistema presenta las ventajas de facilitar la remoción simultánea de sólidos suspendidos, de carga orgánica y de aceites y grasas produciendo lodos estables y compactos. Adicionalmente no genera olores fuera de los típicos de las materias separadas, que en algunos casos pueden ser reutilizadas en los procesos. Requiere eso sí de un control continuo, en especial de las condiciones de presurización que definen el tamaño de las burbujas.

Dentro de las industrias que utilizan este proceso para el tratamiento de sus vertimientos se tienen entre otras las de elaboración de jabones y productos de aseo personal, sacrificio de aves y aceites comestibles. Las industrias pequeñas, tales como salsamentarías, fraccionamiento de aves y procesamiento de alimentos utilizan sedimentación simple (trampas de grasas).

6.1.3 Tratamiento Primario. El tratamiento primario tiene como objetivo la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pre-tratamiento.

El proceso principal del tratamiento primario es la decantación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas

más pesadas que el agua se separen sedimentándose. Normalmente, en los decantadores denominados dinámicos, los lodos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas a través de unos puentes móviles que poseen unas paletas que recorren el fondo. En los de tipo circular inmenso el agua entra por el centro y sale por la periferia mientras que los lodos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.

En un tratamiento primario, se remueve una fracción importante de la carga orgánica, que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO_5 y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos. Entre los tipos de tratamiento primario se encuentran:

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Filtros gruesos.
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

Es importante resaltar que la caracterización de las aguas residuales avícolas efectuada, se realizó en hora de mayor consumo (6:00 am), por lo que se hace necesario la adición al sistema de un tanque de homogenizador y ecualizador para amortiguar las variaciones de caudal y de calidad de las aguas residuales generadas en la industria; dicho tanque dependerá del caudal del afluente, con el fin de calcular su volumen mediante un diagrama de masas (Caudal acumulado Vs tiempo). Asimismo, tiene el propósito de proveer un flujo continuo en plantas de residuos industriales con operación de procesos intermitentes.

6.1.4 Tratamiento Secundario. En los tratamientos secundarios o sistemas biológicos, se emplean microorganismos que pueden metabolizar la materia orgánica presente en las aguas residuales y disminuir aún más la contaminación. Los sistemas biológicos son utilizados primordialmente para remover carga orgánica cuando los vertimientos no contienen sustancias potencialmente tóxicas que puedan inhibir el metabolismo de los organismos o elementos que no sean fácilmente digeribles como aceites, grasas y combustibles. Su aplicación entonces para industrias químicas y de curtiembres debe ser estudiada con cuidado puesto que se pueden requerir tratamientos previos, lo que no sucede con otro tipo de procesos productivos como sacrificio de animales, elaboración de derivados lácteos, bebidas, cervezas, destilación de alcoholes donde su eficiencia ha demostrado ser alta en la remoción de carga orgánica y de sólidos.

Dentro de las alternativas de tratamiento secundario se encuentra los zanjones de oxidación.

- **ZANJONES DE OXIDACION**

Es un proceso de lodos activados, del tipo de aireación prolongada, en el cual se usa un canal cerrado, con dos curvas, para la aireación y mezcla. Como equipo de aireación y circulación del licor mezclado generalmente se usan aireadores mecánicos del tipo cepillos horizontales, de jaula o de discos. Con este sistema se busca la aglomeración de los microorganismos junto con el suministro de aire el cual se realiza por medios mecánicos. Los aglomerados son formados por organismos, principalmente bacterias heterofilicas, y por material coloidal orgánico e inorgánico. Aunque las bacterias son las principales agentes para la remoción de la materia orgánica, los aglomerados en si son parte fundamental del proceso de descontaminación. Casi el 40% de la carga orgánica presente en las aguas es absorbida por interacciones iónicas y queda entrapada en el floc para posteriormente ser hidrolizada por enzimas extracelulares antes de ser absorbida

y metabolizada por las bacterias. La mezcla de agua residual tratada y de aglomerados (licor mezclado) es llevada posteriormente a un sedimentador o clarificador en donde por gravedad se tiene la separación del agua tratada. Los aglomerados sedimentan hacia el fondo del tanque en donde forma el lodo el cual contiene grupos de microorganismos encargados de metabolizar cada uno determinados residuos industriales. Al final, parte del lodo es recirculado al tanque aireador, y otra parte es llevada a concentración antes de su disposición final.

El zanjón de oxidación es denominado también Carrusel, por la dirección del flujo del agua; este sistema no requiere de sedimentación primaria y presenta remociones de DBO_5 y SS mayores al 85%. También es usado para remover nitrógeno mediante la producción de zonas aerobias y anóxicas. Ver anexo D.

- **CLARIFICADOR**

Los clarificadores secundarios son de flujo ascendente y se caracterizan por no contar con equipos mecánicos para la remoción de lodos sedimentados. Su geometría en la parte superior es de sección cuadrada y en el fondo es de sección de tronco de pirámide invertida [15].

El diseño de los clarificadores se basa en los criterios de carga hidráulica superficial ($25-40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$), tiempo de detención, y profundidad y su función es la de separar los sólidos del lodo activado del líquido mezclado.

6.2 DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES AVÍCOLAS

Los humedales artificiales, permiten eliminar la materia orgánica y la DBO_5 de manera eficaz; llegando a ser un sistema viable para verter el agua a ríos o

quebradas ya que disminuye los impactos ambientales negativos al generar bajos costos tanto desde el punto de vista de consumo de energía como de requerimientos de mantenimiento así como también facilitar la reducción de los caudales de vertimientos (tasas retributivas).

A continuación se describen los cálculos típicos requeridos para el diseño y dimensionamiento de un humedal sub superficial, de factible implementación en la industria avícola como sistema terciario tanto para la disposición vertical como para la horizontal exclusiva. Las dos disposiciones se diferencian básicamente en el tipo de medio filtrante a usar, el tipo de vegetación y la profundidad del medio filtrante, siendo este último parámetro asociado al tipo de vegetación a usar por la profundidad de crecimiento de las raíces.

Con respecto a la disposición combinada vertical – horizontal, para la fase vertical se tuvieron en cuenta los mismos cálculos y resultados obtenidos para la disposición vertical exclusiva. Para la fase horizontal de esta disposición, el diseño se basó en los criterios establecidos por la ley de Darcy que considera como limitantes la velocidad de entrada (8.6 m / seg.) y el ancho mínimo así como también el tiempo de retención hidráulica. Para lograr el cumplimiento de los valores mínimos en cuanto a carga hidráulica y superficie específica sugeridos. Para estos parámetros de diseño se adaptaron taludes de subdivisión al interior de las celdas.

Para esta última fase combinada vertical - horizontal se consideró no solo el tratamiento del caudal total del efluente sino también diferentes porcentajes del caudal inicial mismo como bien se mencionó en la descripción del esquema de evaluación de factibilidad de implementación en el capítulo 4.

DATOS DE DISEÑO

- Humedal vertical

Q=	10	lps	864	m3/día
T=	25	°C		
DBO ₅ Entrada=	670	Kg/día	775	mg O ₂ /l
E=	80	%		
DBO ₅ Salida=	155	mg O ₂ /l		
DQO _{Entrada} =	1174	Kg/día	1358	mg O ₂ /l
DQO _{Remocion} =	80%			
DQO _{Salida} =	271,60	mg O ₂ /L		
SST _{Entrada} =	1378	Kg/día	1595	mg O ₂ /l
SST _{Salida} =	319	mg O ₂ /L		
Nitrógeno Total	100	mg N/l		
P	12	mg/l		

Fuente: Autores

- Humedal Horizontal

Q=	10	lps	864	m3/día
T=	25	°C		
DBO ₅ Entrada=	134	Kg/día	155	mg O ₂ /l
E=	80	%		
DBO ₅ Salida=	31	mg O ₂ /l		
DQO _{Entrada} =	271,60	Kg/día	234,7	mg O ₂ /l
DQO _{Remocion} =	80%			
DQO _{Salida} =	54,32	mg O ₂ /L		
SST _{Entrada} =	275,62	Kg/día	319	mg O ₂ /l
SST _{Salida} =	63,80	mg O ₂ /L		

6.2.1 Consideraciones para la construcción de humedales. Dentro de los parámetros más importantes a tener en cuenta en la construcción de humedales, se encuentran la impermeabilización de la capa subsuperficial del terreno, la selección del tipo de medio y vegetación; asimismo y la adecuada selección de los tratamientos preliminares y de las estructuras de llegada y salida al humedal.

a. Impermeabilización

El fondo del humedal debe ser impermeabilizado con el fin de asegurar la estanqueidad en los lechos para evitar pérdidas y aislar el agua residual de suelo, evitando la contaminación de este y de los acuíferos cercanos. Generalmente, se emplea arcilla compactada, logrando la impermeabilización del terreno, con espesores entre 20 - 30 cm, considerando un material homogéneo y controlando su compactación. Además, según la disponibilidad y extensión se puede emplear láminas plásticas en PVC o EPDM, los cuales son considerados materiales flexibles.

b. Selección del medio

Es necesario tener en cuenta que la función del lecho filtrante es proveer el mecanismo de filtración para la retención de sólidos suspendidos y proporcionar el área de soporte para la formación de la capa de microorganismos que degradan aeróbica y anaeróbicamente la materia contaminante. Otra función importante es la de constituir un medio de fijación de las raíces de las plantas macrofitas y así permitir su desarrollo.

Existen diferentes opiniones y teorías respecto a la selección del medio. En Colombia los estudios que se han realizado han demostrado que el medio más recomendable debería estar compuesto por biomasa en la siguiente proporción:

Tierra negra	→	50 – 60 %	} BIOMASA
Viruta madera	→	15 %	
Tamo	→	20 – 25 %	

La mezcla debe prepararse y debe cumplir con los parámetros:

- Porosidad (volumen vacíos / volumen total)
- Curva granulométrica
- Permeabilidad
- Nutrientes

Características geotécnicas del medio:

La capacidad de tratamiento de un humedal está relacionada directamente con la conductividad hidráulica, la porosidad y el tiempo de residencia, los cuales influyen en la calidad final del agua. Si disminuye la conductividad hidráulica, disminuye la porosidad y por ende la capacidad de tratamiento.

La conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad, representa la mayor o menor facilidad con la que el medio deja pasar el agua a través de él por unidad de área transversal a la dirección del flujo y su valor depende de características de las partículas, tales como diámetro, distribución de tamaño, forma; la porosidad del lecho y el patrón de arreglo de las partículas.

La permeabilidad del medio afecta el movimiento del agua a través del humedal. Existen varios métodos de determinación de la conductividad hidráulica, entre los que se encuentra la ecuación de Darcy, y la ecuación de Ergun, además de ensayos de laboratorio, empleando permeámetros de carga constante y/o variable permitiendo estudiar la relación entre conductividad hidráulica y porosidad [16].

Ecuación de Darcy,

$$K = \frac{QL}{A_t \Delta H}$$

Donde K, permeabilidad (m/día)
Q, Caudal (m³/día)
L, Longitud (m)
A_t, Área de la sección transversal (m²)
ΔH, Carga constante de la columna de agua (m)

Ecuación de Ergun,

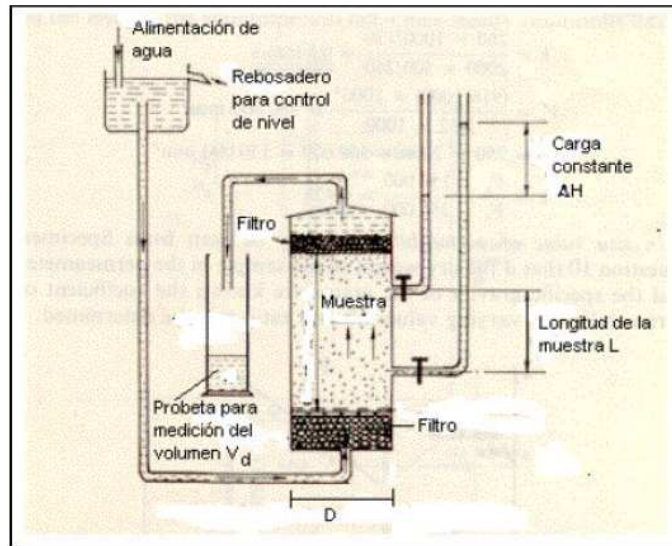
$$-\frac{dH}{dx} = \frac{150(1 - \varepsilon)^2 \mu}{\rho g \varepsilon^3 D^2} u + \frac{1.75(1 - \varepsilon)}{g \varepsilon^3 D} u^2$$

Donde, H, altura
x, distancia de la entrada (m)
g, aceleración de la gravedad (m/día²)
μ, viscosidad del agua (kg/m/día)
ε, porosidad (fracción)
D, diámetro de la partícula (m)
u, velocidad del agua (m/día)

En laboratorio se encuentran los permeámetros de nivel constante o variable dependiendo del tipo de suelo analizado:

- *Método para suelos granulares*, Se conoce como ensayo de nivel de agua constante, se aplica generalmente en suelos granulares (arenas).
- *Método para suelos finos*, Este ensayo se conoce como ensayo de nivel de agua variable, se aplica generalmente a suelos finos arcillosos o limo arcillosos.

Figura 7. Permeámetro de carga constante para la determinación de la conductividad hidráulica en sustratos.



Fuente: Determinación de la conductividad hidráulica en pantanos artificiales experimentales de flujo subsuperficial; Delfino Francia P., J. Manuel Cabrera S., Álvaro Flores G. Universidad de Guanajuato, México.

A continuación, se indican las características de los medios normalmente empleados en sistemas de flujo sub superficial (Ver Tabla No 14):

Tabla 14. Características típicas de los medios para humedales SFS

TIPO	DIMENSIÓN EFECTIVA (mm)	POROSIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA $K_s (m^3/m^2/d) *$
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena media gruesa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava media	32	36-40	10.000-50000
Grava gruesa	128	38-45	50000-250000

Fuente: Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales, Jaime A. Borrero Lara, Universidad Politécnica de Cataluña, 1999.

* El coeficiente de permeabilidad (K), es una medida de la velocidad del flujo de agua a través de un suelo saturado bajo un gradiente hidráulico de agua. $K = f(\text{tamaño de granos, relación vacíos y constitución del suelo})$.

c. Selección de la macrófita:

La escogencia de la especie a emplear, se realizó teniendo en cuenta el grado de abundancia y facilidad de adaptación a la zona de instalación del humedal así como también del área y profundidad de sus raíces y rizomas ya que estos proporcionan medios microbianos adecuados para la degradación de la materia orgánica y nitrificación y también para facilitar la filtración, la adsorción de los constituyentes del agua residual, permitiendo la transferencia de oxígeno al agua y controlando el crecimiento de algas, mediante la reducción de la penetración de luz solar. Dentro de las especies normalmente más empleadas se encuentran:

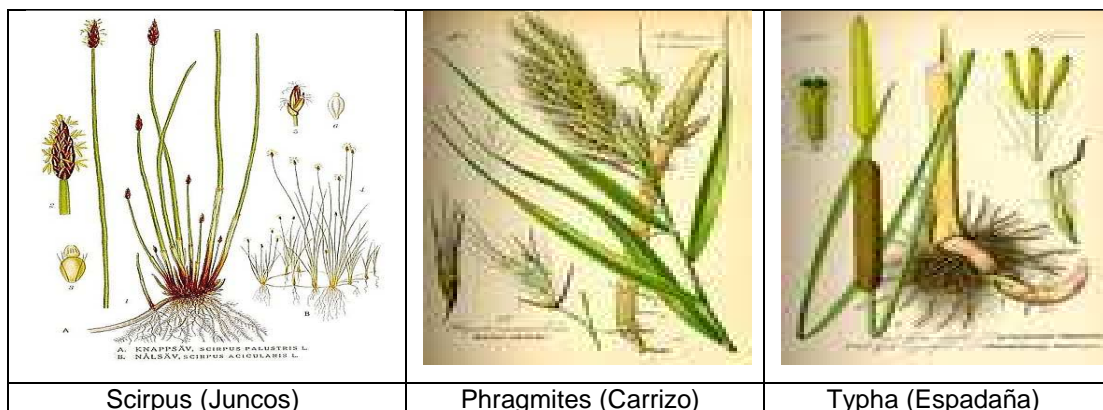
Tabla 15. Características típicas de especies vegetales para humedales Sub superficiales

ESPECIE VEGETAL *	PROFUNDIDAD DE ENRAIZAMIENTO (m)
<i>Scirpus</i>	0.76
<i>Phragmites</i>	>0.60
<i>Typha</i>	0.30

Fuente: Manual de Fito depuración (BEASCOCHEA E, 2009)

*Estas especies se deben seleccionar preferiblemente de entre las especies más cosmopolitas o la que presente mayor abundancia en la región. Como dato importante a considerar, el tipo *Phragmites* a diferencia de la *Scirpus* y la *Typha* no constituye fuente de alimento para roedores y otros animales.

Figura 8. Especies plantas macrofitas



Fuente: Autores

En Europa así como en Colombia la planta más utilizada es el carrizo, con densidades de plantación de hasta 3 plantas/m². Se estima que estas plantas pueden transferir entre 0,02 y 12 gr.de O² por día por cada m² de área superficial del humedal.

Biomasa:

Además de cumplir como medio de crecimiento de la especie vegetal seleccionada, con la dimensión efectiva, la porosidad, la permeabilidad, etc., debe contener los elementos denominados mayores o macro nutrientes y los elementos menores o trazas. También debe contener los elementos necesarios para los microorganismos presentes en el suelo (biomasa).

Materia orgánica de la biomasa:

La materia orgánica representa una gran reserva de elementos esenciales y de cationes destinados al intercambio con la fracción coloidal, favorece y conserva una buena estructura del terreno, tiene un poder tampón con relación al pH, ayuda al intercambio hídrico y gaseoso del suelo y es una fuente abundante de carbono. En los humedales la eliminación de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica alcanzan rendimientos entre el 75-95%, lo que demuestra la eficacia de estos sistemas.

Microorganismos:

Numerosos son los microorganismos que tienen como hábitat el suelo y que con él contraen relaciones de diferente clase, interactuando entre ellos de manera integral.

Factores que influyen la población del suelo:

1. *Temperatura:* En su mayoría los humedales presentan temperatura del orden de 25°C lo que propicia el desarrollo de algunos microorganismos denominados mesófilos (*Azotobacter* y *Rhizobium*).
2. *Humedad:* Las bacterias prefieren terrenos húmedos. Si el terreno se satura se inhibe el metabolismo oxidativo de las especies aerobias favoreciendo las anaerobias (constituidas únicamente por bacterias).
3. *Luz:* La luz llega solamente a los estratos superficiales y la cantidad final asimilable dependerá en gran medida del grado de cobertura vegetal ofrecida por la planta.
4. *Población edáfica:* El mayor número se tiene en los estratos superficiales más oxigenados, luminosos y con mayor contenido de materia orgánica. Los estratos de terreno localizados en la zona de raíces son los que contienen el mayor número de microorganismos.
5. pH = Valores de pH de entre 6 y 8 propician el crecimiento de bacterias.
6. *Materia orgánica:* Provee los nutrientes para todos los diferentes tipos de microorganismos.

d. Profundidad del Lecho

El lecho de los humedales SFS tiene una profundidad típica de 0,60 m del medio seleccionado, sin embargo, actualmente se ha optado por implementarlos a profundidades menores en zonas con climas cálidos, aumentando así el potencial de transferencia de oxígeno al requerirse áreas mayores. Algunas a veces (se implementan medios con una capa de grava fina que va desde 76 a 150 mm de espesor, con el fin de dar enraizamiento inicial a la vegetación, la cual se mantiene seca en condiciones normales.

En el diseño del humedal, cabe resaltar, que se debe tener en cuenta que la profundidad del lecho está relacionada con la profundidad potencial de crecimiento de las raíces de vegetación a instalar; por lo tanto, para determinar la profundidad de penetración de las plantas, se considera como valor a usar el límite potencial de máximo crecimiento, relacionándose este valor con la remoción del DBO₅ y nitrógeno contenidos en el efluente a tratar.

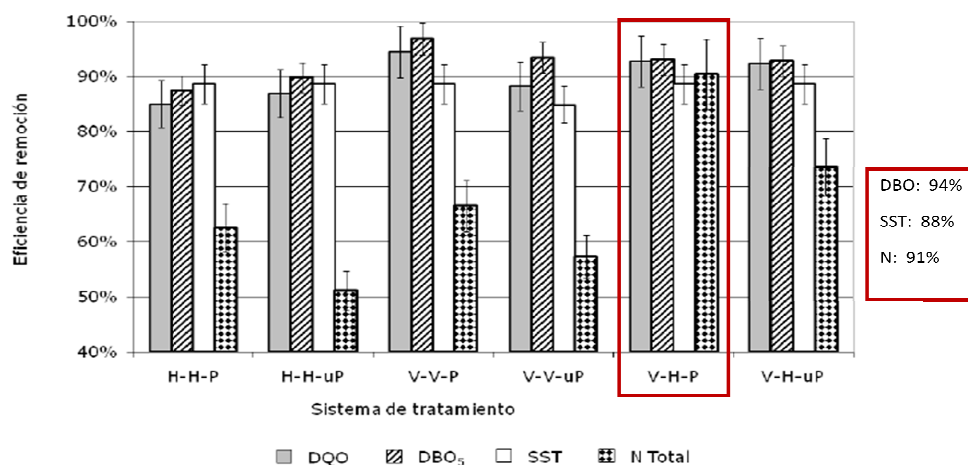
e. Parámetros de Diseño

Dentro del diseño de los humedales sub superficiales, se debe considerar varios parámetros dentro de los que se cuentan: tiempo de permanencia hidráulica, profundidad y geometría del humedal (ancho y longitud), así como también la concentración de DBO₅, sólidos Suspendidos, Nitrógeno y Fosforo, estos últimos muy importantes si se tiene en cuenta que el tamaño de los humedales sub-superficiales está determinado por el tipo de contaminante que requiere la mayor área para su remoción.

Dado que las tasas de remoción de contaminantes (DBO₅, DQO, SST) dependen en gran medida de la disposición del humedal (horizontal, vertical o combinación de ambas) y teniendo en cuenta la extensión del humedal y su costo final estarán dados por una acertada identificación de estas tasas, para la disposición combinada vertical – horizontal se tomaron como base los valores descritos en la conferencia: *“Efecto del uso de plantas, flujo y combinación de los sistemas en la remoción de organismos patógenos mediante el uso de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domesticas en condiciones climaticas tropicales”* y mostrados en Grafico No 7, estudio realizado bajo condiciones típicas de una zona tropical por lo que se asumen como válidas y pertinentes para los cálculos requeridos en la etapa de diseño.[17]

Este estudio realizo ensayos para diferentes combinaciones en las que se encuentra combinación entre humedal horizontal- horizontal plantado (H-H-P), combinación entre humedal horizontal-horizontal sin plantas (H-H-uP), combinación vertical-vertical plantado (H-H-P), combinación vertical-vertical sin plantas (V-V-uP), combinación humedal vertical-horizontal plantado (V-H-P), combinación humedal vertical-horizontal sin plantas (V-H-uP).

Grafico 7. Porcentaje de remoción para cada configuración de tratamiento mediante humedales



Fuente: Conferencia:” Efecto del uso de plantas, flujo y combinación de los sistemas en la remoción de organismos patógenos mediante el uso de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domesticas en condiciones climáticas tropicales, Jenny Adriana Garcia Palacio, Pereira, 2009.

Todas los valores asumidos para las tasas de remoción por tipo de contaminante y disposición son mostradas en la Tabla No.16.

Tabla 16. Valores de tasas de remoción asumidos o calculados en la etapa de diseño de las diferentes alternativas de humedales.

Disposición del Humedal	DBO ₅	SST	Nitrógeno total	P
Vertical	86%	88.78%	88.64%	44.17%
Horizontal	86%	88.78%	88.32%	45%
Vertical - Horizontal	94%	88%	91%	*

Fuente: Autores

*Se determino de acuerdo a ecuaciones resultantes de correlaciones de sistemas pilotos de humedales en Estados Unidos.

6.2.2 Determinación del área requerida para humedal vertical. En el proceso de diseño, se seleccionó la profundidad del humedal ($d=0,90m$), para la siembra de phragmites (carrizo).

Grava:	Media
Tamaño efectivo:	32 mm
Porosidad:	40%
Conductividad hidráulica:	$25\ 000\ m^3/m^2.d$
Temperatura media del agua:	25 °C

1. Determinación del área superficial para la remoción de la DBO_5 :

$$A_S = (\ln DBO_{entrada} - \ln DBO_{salida}) * \frac{Q}{n * K_T * 0.95 * d} [m^2]$$

Partiendo del análisis de los datos obtenidos y de los diferentes planteamientos bibliográficos enunciados para el diseño de un humedal artificial, se realizó el cálculo del sistema usando valores de parámetros de K_t enunciados por diferentes autores (ver formulas anexo F), obteniéndose los siguientes resultados para un caudal de agua residual de $864\ m^3/día$:

$$A_S = (\ln 775 - \ln 155) * \frac{864}{0,40 * K_T * 0.95 * 0,9} [m^2]$$

Autor	K_t	$A_{superficial} (m^2)$
EPA	1,48	2752
REED	2,42	1683

W.P.C.F	1,08	3770
RAS	2,17	1870

Teniendo en cuenta que en Colombia, la normatividad por la que se rige es la RAS (Reglamento de Saneamiento Básico y Agua potable), fue el escogido para el diseño.

2. Determinación del tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{1870 * 0.9 * 0,4}{864} = 0,78 \text{ dias}$$

3. Determinación de la geometría

Para una mejor eficiencia del sistema y facilitar operaciones de mantenimiento se diseñaran humedales divididos en celdas.

Se tomaran 6 celdas iguales de 325 m² cada una. Determinando así la relación ancho: largo.

$$W = \frac{1}{0,9} * \left[\frac{144 * 312}{0,05 * 4167} \right]^{0,5} = 16,32m \approx 16,5m$$

$$L = \frac{312}{16,5} = 18,91m \approx 19 m$$

Por lo tanto, la relación ancho: largo sería de 1,15: 1 la cual cumple con el valor límite establecido (relación L: W entre 0,4 y 3).

4. Verificar carga hidráulica

Estos parámetros fueron verificados de acuerdo a los datos por EPA², los cuales se consideran muy exigentes.

$$L_W = \frac{144}{19 \cdot 16,5} = 0,46 \quad 0,014 < L_w < 0,046 \quad \text{No Cumple}$$

$$A_{SP} = \frac{1}{0,46} = 2,17 \quad 21,5 < Asp < 71 \quad \text{No Cumple}$$

Debido a que los parámetros analizados no se encuentran dentro del intervalo indicado, se requiere efectuar un ajuste,

$$A = \frac{144}{0,046} = 3130,43 \text{ m}^2$$

$$L_W = \frac{1}{21,5} = 0,0465 \approx 0,046$$

Por consiguiente el sistema tendrá las siguientes dimensiones:

Largo: 60,5 metros (6 celdas)

Ancho: 52 metros

Profundidad: 0,9 metros

Área Final (Zona raíces): 18.876 m²

Tiempo de retención hidráulica final: 7,86 d.

5. Comprobación remoción DBO₅

$$DBO_5 = \frac{864 \cdot 775}{1000} = 669,60 \text{ mg/l}$$

No Celdas=6

$$DBO_{5 \text{ celda}} = \frac{669,60}{6} = 111,6 < 112 \text{ }^3 \text{ Cumple}$$

² Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales, EPA

6. Remoción de sólidos suspendidos totales

Se debe considerar la velocidad de flujo en el humedal, garantizando que esta zona se efectúe la sedimentación.

$$CH = \frac{864}{18876} * 100 = 4,58 \text{ cm/d}$$

Donde CH, Carga hidráulica, cm/día.

Concentración de sólidos en el efluente.

$$C_e = 1595 * (0,1058 + 0,0014 * 4,58) = 178,97 \text{ mg/l}$$

Lo que ratifica el porcentaje de remoción de aprox. 89%, lo cual cumple con los requerimientos de la normativa.

7. Remoción de nitrógeno

Para determinar la superficie requerida para la remoción de nitrato se realizan dos cálculos, considerando el 50 y 100% de obstrucción del humedal a causa de las raíces:

*50% Obstrucción

$$K_{NH}(50\%r_z) = 0,01854 + 0,3922 * (0,5)^{2,6077} = 0,08288$$

³ CRITES, R. Y TCHOBANOGLOUS, G. Small and Decentralized wastewater management systems, Mc Graw Hill, 1998.

Se asume una concentración de nitratos en el afluente de 100 mg/l y efluente 50 mg/l, dando un remoción de por lo menos un 50%.

$$A_s = \frac{864 * \ln\left(\frac{100}{50}\right)}{0,08288 * 0,9 * 0,4} = 20070,73m^2$$

$$TRH = \frac{20070,73 * 0,9 * 0,4}{864} = 8,36d$$

*100% Obstrucción

$$K_{NH}(100\%rz) = 0,01854 + 0,3922 * (1,0)^{2,6077} = 0,4107$$

$$A_s = \frac{864 * \ln\left(\frac{100}{50}\right)}{0,4107 * 0,9 * 0,4} = 4050,14m^2$$

$$TRH = \frac{4050,14 * 0,9 * 0,4}{864} = 1,69d$$

Concentración de nitratos,

*50%

$$K_T = 0,2187(1,048^{T-20}) = 0,2187(1,048^{25-20}) = 0,276$$

$$C_e = C_o * e^{-K_T * TRH} = 100 * e^{-0,276 * 8,36} = 9,90 \text{ mg/l}$$

*100%

$$K_T = 0,2187(1,048^{T-20}) = 0,2187(1,048^{25-20}) = 0,276$$

$$C_e = C_o * e^{-K_T * TRH} = 100 * e^{-0,276 * 1,69} = 62,71 \text{ mg/l}$$

Nitrógeno Total,

*50% $NT = 50 + 9,90 = 59,9 > 50 \frac{mg}{l}$ Valor supuesto NO CUMPLE

*100% $NT = 50 + 62,71 = 112,71 > 50 \frac{mg}{l}$ NO CUMPLE

Teniendo en cuenta el área dada para la remoción de DBO₅ y concentración de nitrógeno del efluente de 20 mg/l (considerando el 80% de remoción),

*100%

$$A_s = \frac{864 * \ln\left(\frac{100}{20}\right)}{0,4107 * 0,9 * 0,4} = 9404,12 \text{ m}^2$$

$$TRH = \frac{9404,12 * 0,9 * 0,4}{864} = 3,92d$$

$$C_e = 100 * e^{-0,276 * 3,92} = 33,85 \text{ mg/l}$$

$$NT = 20 + 33,85 = 53,84 \approx 50 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Se observa que al tener un área cercana a la obtenida en la remoción de DBO_5 (18876 m^2), se puede lograr remoción de nitrógeno de aprox. 88,6%.

8. Remoción de fosforo

$$CH = \left(\frac{864}{18942}\right) * 100 = 4,56 \text{ cm/d}$$

Asumiendo una concentración de fosforo de 12 mg/l y una remoción del 60%, es decir, concentración del efluente = 5 mg/l.

$$C_e = 12 * e^{-\frac{2,74}{4,56}} = 6,58 \text{ m/l}$$

$$A_s = \frac{100 * 864 * \ln\left(\frac{12}{5}\right)}{2,74} = 27606 \text{ m}^2$$

Cabe resaltar que remover fosforo, requiere de área mayores que las de remoción de DBO_5 y nitrógeno; Se sugiere, realizar un tratamiento anterior al humedal, con el fin de lograr disminuir dicha concentración de fosforo en el efluente. La remoción de fosforo dada por el área de remoción de DBO_5 es de 44,2%.

El área para el humedal vertical es:

No celdas. 6

L: 60,5 m
W: 52,0 m
Área: 3146 m²
Profundidad: 0,90 m

6.2.3 Determinación del área requerida para humedal horizontal. Para el diseño de un humedal horizontal, se empleara:

Grava fina con una permeabilidad $n=38,7\%$ y conductividad $K_s= 8570$

Planta: *Canna spp*

1. Determinación del área superficial para la remoción de la DBO₅:

Obteniendo de acuerdo con la ecuación para calcular el área superficial, los siguientes valores:

Autor	Kt	A _{superficial} (m ²)
EPA	1,48	3012
REED	2,42	1782
W.P.C.F	1,08	4125
RAS	2,17	2047

2. Determinación del tiempo de retención hidráulica

3.

$$TRH = \frac{2047 * 0,85 * 0,387}{864} = 0,78d$$

Debido a que por lo menos para la remoción de DBO₅ se requiere de 3-4 días, se asume 4 días y se halla el área superficial; Por lo tanto, se requiere $A_s=9922 \text{ m}^2$

4. Determinación del área transversal (A_T):

$$A_T = \frac{Q}{K_S * S}$$

$$K_S = \frac{8570}{3} = 2856 \text{ m/d}$$

Con base a experiencias se sugiere un límite máximo de la velocidad del flujo longitudinal.

$$V_L = \frac{Q}{A_T} \leq 8.6 \text{ m/d}; \text{ Donde } S \leq \frac{8.6}{K_S} \longrightarrow S = \frac{8.6}{2856} = 0.003 \text{ (1\%)}$$

$$A_T = \frac{864}{2856 * 0.003} = 100,46 \text{ m}^2$$

5. Ancho mínimo del lecho (Wmin):

$$W_{MIN} = \frac{100,46}{0.95 * 0.85} = 124,41 \text{ m} \approx 125\text{m}$$

Con base a experiencias en plantas similares se sugiere que un límite máximo para la velocidad del flujo longitudinal sea igual a:

$$V_L = \frac{864}{125} = 6,91 < 8.6$$

Por consiguiente el sistema tendrá las siguientes dimensiones:

Largo (L): 84,1 metros (2 celdas)

Ancho (W): 62,5 metros

Profundidad: 0,85 metros

Área Final (Zona raíces): 10512,5 m²

Tiempo de retención hidráulica final: 4,002 d.

Relación L/W 0,74

Debido a que el humedal no cumple con carga hidráulica y área superficial, en la parte constructiva se instalaran jarillones en tierra compactada en su longitud, con el fin de aumentar el tiempo de retención hidráulica y así poder cumplir con este requerimiento, donde el flujo de agua atraviesa dicho talud por medio de tubería instalada entre la estructura.

Los cálculos relacionados con el diseño de la alternativa combinada (vertical – horizontal) no son incluidos por ser básicamente similares a los mostrados anteriormente para las disposiciones vertical y horizontal exclusivas.

6.3 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN

Los principales elementos que se incluyen en los costos de inversión de los humedales de Flujo Sub superficial son similares a muchos de los requeridos para los sistemas de lagunas. Estos incluyen el costo del terreno, la evaluación del sitio, la limpieza del sitio, la movilización de suelos, el recubrimiento, el medio de grava, las plantas, las estructuras de entrada y descarga, entre otros, los cuales hacen parte de los costos de inversión. El medio de grava y el recubrimiento pueden ser los elementos más costosos de esta lista. En los estados del Golfo de México en donde los suelos arcillosos a menudo eliminan la necesidad del recubrimiento, el costo de traer la grava puede representar el 50 por ciento del costo de construcción. En otras localidades en donde la grava está disponible localmente pero se requiere una membrana de recubrimiento, el costo de esta puede ser cerca del 40 por ciento del costo de construcción. En muchos casos la compactación en el sitio de los suelos naturales proporciona una barrera suficiente para prevenir la contaminación del agua freática. [18]

Otros tipos de costos a considerar son los costos de funcionamiento (administración, operación y mantenimiento). Los costos de operación y mantenimiento son los que se generan para garantizar el buen desempeño de las operaciones y procesos de tratamiento del agua y asegurar que las instalaciones sean operadas y mantenidas eficientemente. Estos costos están asociados a la tecnología y tamaño del sistema a emplear.

Los costos administrativos, son los relacionados con el mantenimiento de los equipos, gastos personal administrativo, tasas ambientales.

Para este caso, se dará a conocer el costo de construcción en serie del humedal vertical-horizontal de acuerdo al diseño planteado (Ver planos-detalles), estimando así las variables a tener en cuenta para la aprobación de un proyecto que contemple humedales artificiales (ver tabla 17).

Tabla 17. Costos de Inversión para un humedal de tipo vertical con una capacidad de 10 lps

SISTEMA TERCIARIO INDUSTRIA AVICOLA CALCULO ECONOMICO DEL PROYECTO PROYECTO: HUM. VERTICAL/HORIZONTAL IND. AVICOLA Qdiseño= 864 m3/día AREA TOTAL = 30.000 m2 AREA ZONA DE RAICES : 18876 M2 VERTICAL + 10512,5 M2 HORIZONTAL				
DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
PREPARACION DEL SUELO				
EXCAVACION	26.450	m3	3.500	92.573.775
RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL SELECCIONADO PROVENIENTE DE LA EXCAVACION	7.935	M3	9.500	75.381.503
RETIRO SOBRANTES	18.515	M3	2.000	37.029.510
RECUBRIMIENTO DEL SUELO				
GEOMEMBRANA IMPERMEABILIZANTE	29.389	m2	5.800	170.453.300
GEOTEXTIL	29.389	m2	3.700	108.737.450
CONFORMACION JARILLON EN TIERRA	1.033	M3	15.000	15.487.500

REDES DE DISTRIBUCION AFLUENTE- EFLUENTE				
TUBO 4" PVC - SANITARIA	962	m	12.500	12.025.000
TUBO 4" PVC - LLUVIA	350	m	11.000	3.850.000
CODO PVC SANITARIA D= 4"	250	un	3.870	967.500
TEE DE PVC SANITARIA D = 4"	100	un	4.489	448.900
UNIONES, PVC SANITARIA D = 4"	150	un	2.064	309.600
ADAPTADORES DE LIMPIEZA D=4"	120	un	2.500	300.000
CAJAS DE DISTRIBUCION	15	un	200.000	3.000.000
ESTRUCTURAS ENTRADA-SALIDA				
CAMARA ENTRADA	1	GL	900.000	900.000
CAMARA SALIDA	1	un	900.000	900.000
CONFORMACION DEL MEDIO H. VERTICAL				
GRAVA (PIEDRA DE RIO LAVADA) Tamaño 32 mm	16.988	m3	30.000	509.652.000
ARENA DE RIO (Lavada)	944	m3	31.000	29.257.800
HENO (Aprox. 950 m3)	5.000	pacas	4.500	22.500.000
Mtr. VEGETAL (Carrizo)	6.292	un	5.000	31.460.000
H. HORIZONTAL				
GRAVA FINA	8.936	m3	31.000	277.004.375
TIERRA NEGRA	9.496	M3	8.000	75.969.000
CASCARILLA ARROZ	315	M3	3.000	946.125
VIRUTA MADERA	315	M3	9.500	2.996.063
Mtr. VEGETAL (Canna spp)	3.504	un	5.500	19.272.917
NUTRIENTES	1	GL		3.000.000
COSTO MATERIALES				1.494.422.317
ADMINISTRACION				
COSTO DEL TERRENO	30.000	m2	2.000	60.000.000
ARRANQUE (CARACTERIZACIONES)	1	GL		1.000.000
COSTO ADMINISTRACION				61.000.000
COSTO TOTAL				1.555.422.317

Fuente: Autores

El valor de la construcción del sistema en serie de los humedales vertical y horizontal, asciende a \$1.555.422.317, considerando que se cuenta con sistema primario y secundario que funciona bajo los criterios establecidos para su óptimo desempeño.

Los costos más representativos en inversión inicial de sistemas naturales están constituidos por el costo del lote necesario para la construcción del sistema, costos de impermeabilización y costos del material filtrante.

Existen varios estudios que plantean modelos matemáticos que permiten simular, el comportamiento de los diferentes costos asociados a la inversión inicial, operación y mantenimiento de las tecnologías empleadas para el tratamiento de aguas residuales, con el fin de evaluar el costo versus los recursos disponibles y tecnología que mejor se adapta a cada condición específica.[19]

6.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE HUMEDALES ARTIFICIALES

Ventajas:

- Los humedales VSB proporcionan tratamiento efectivo en forma pasiva y minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores calificados.
- Pueden ser menos costosos de construir, y usualmente también son menos costosos para operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento diseñados para un nivel equivalente de calidad de efluente.
- La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas más fríos. Mientras que a nivel de tratamiento

terciario avanzado es posible durante todo el año en climas cálidos o semicálidos.

- Los sistemas de humedales VSB no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.
- Son muy efectivos en la remoción de la DBO₅, la DQO, los SST, los metales y algunos compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas. La remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles es también posible pero se requiere un tiempo de retención mucho mayor.
- Los mosquitos y otros insectos vectores similares no son un problema, mientras el sistema se opere adecuadamente y el nivel subsuperficial de flujo se mantenga. También se elimina el riesgo de que niños y mascotas estén expuestos al agua residual parcialmente tratada.

Desventajas:

- Un humedal VSB requiere un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales de tratamiento.
- La remoción de DBO₅, DQO y nitrógeno es un proceso continuo renovable. El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
- En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO₅, NH₃ y NO₃. Un aumento en el tiempo de retención puede compensar por la disminución de las tasas pero el incremento en el tamaño de los humedales en climas extremadamente fríos puede no ser factible desde el punto de vista económico o técnico.
- La mayoría del agua contenida en los humedales es anóxica, limitando el potencial de nitrificación del amoníaco del agua residual. El aumento del tamaño del humedal y el tiempo de retención puede hacerse como

compensación, pero puede no ser eficiente en términos económicos. Métodos alternos de nitrificación en combinación con los humedales FS han sido utilizados con éxito. Los humedales VSB no pueden ser diseñados para lograr una remoción completa de compuestos orgánicos, SST, nitrógeno o bacterias coliformes. Los ciclos ecológicos en estos humedales producen concentraciones naturales de esos compuestos en el efluente.

En general, los humedales son una Alternativa práctica, económica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales, siempre que exista disponibilidad de suelo a un costo razonable.

6.5 EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTACIÓN.

Finalmente y después de realizar el diseño y evaluación del desempeño que tendría un humedal construido con las diferentes alternativas, se calcularon los parámetros finales que tendría el vertimiento a la salida de este humedal asumiendo un efluente de salida proveniente del tratamientos secundarios con las características que previamente se determinaron en la fase de caracterización del mismo. Los valores obtenidos en este ejercicio tanto para el tratamiento total del efluente de entrada como para el tratamiento parcial del mismo con diferentes porcentajes de flujo principal se muestran en la Tabla No 18.

Tabla 18. Valores de parámetros estimados de vertimiento final aplicando las diferentes alternativas de disposiciones de humedales como tratamiento terciario en efluentes de plantas avícolas.

ALTERNATIVA	Q (lps)		No	L (mt)	W (mt)	Area (m2)	DBO Efluente (mg/l) final y diluido	% remocion DBO	SST Efluente (mg/l)	% remocion SST	N Efluente (mg/l)	% remocion N	P Efluente (mg/l)	% remocion P
H. Vertical plantado (prhagmites). 100% caudal tratado.	10		6	52	61	18876	111.6	86%	178.97	88.78%	11.36	88.64%	6.7	44.17%
H. Horizontal plantado (canna spp). 100% caudal tratado	10		6	94	34	18894	111.6	86%	178.96	88.78%	13.68	86.32%	6.6	45.00%
Humedales en serie Vertical + Horizontal														
100 % del caudal tratado	10	V-H				29389	46.5	94%	191.4	88%	9	91%	4.73	61%
		V	6	52	61	18876								
		H	2	84	63	10513								
70 % del caudal tratado	7	V-H				20547	265.05	66%	612.48	62%	36.3	64%	4.74	61%
		V	4	74	45	13172								
		H	2	59	63	7375								
50 % del caudal tratado	5	V-H				14700	410.75	47%	893.2	44%	54.5	46%	4.73	61%
		V	4	74	32	9408								
		H	2	42	63	5292								
30 % del caudal tratado	3	V-H				8853	556.45	28%	1173.92	26%	72.7	27%	4.71	61%
		V	2	71	40	5640								
		H	2	26	63	3213								

Tabla 19. Valores de de costos estimados de construcción de humedales para las diferentes alternativas contempladas.

ALTERNATIVA	Q (lps)		No	L (mt)	W (mt)	Area (m2)	Costos de construccion (pesos colombianos)
H. Vertical plantado (prhagmites). 100% caudal tratado.	10		6	52	61	18876	\$ 968.045.100.00
H. Horizontal plantado (canna spp). 100% caudal tratado	10		6	94	34	18894	\$ 928.667.655.00
Humedales en serie Vertical + Horizontal							
100 % del caudal tratado	10	V-H				29389	\$ 1.555.422.317.00
		V	6	52	61	18876	
		H	2	84	63	10513	
70 % del caudal tratado	7	V-H				20547	\$ 1.046.779.267.00
		V	4	74	45	13172	
		H	2	59	63	7375	
50 % del caudal tratado	5	V-H				14700	\$ 756.852.440.00
		V	4	74	32	9408	
		H	2	42	63	5292	
30 % del caudal tratado	3	V-H				8853	\$ 465.159.360.00
		V	2	71	40	5640	
		H	2	26	63	3213	

Fuente: Autores

Adicionalmente se estimaron los costos de construcción de las diferentes alternativas contempladas los cuales se incluyen en la Tabla 19.

Los valores de los parámetros característicos del vertimiento final del sistema combinado de tratamiento los cuales se obtuvieron a partir de las formulaciones y cálculos descritos anteriormente y que se observan en la Tabla 18, se evaluaron bajo la normativa actual vigente que rige el vertimiento de efluentes a cuerpos de agua. Sin embargo, se debe tener en cuenta que actualmente cursa en el Congreso un proyecto de Reforma del decreto 1594 y que busca, entre otros, la modificación de los parámetros exigibles para vertimientos y que propone valores límite puntuales de estos parámetros y no porcentajes de remoción de la carga inicial con lo cual se haría mucho más exigente el vertimiento de efluentes producto de procesos productivos.

Evaluando los valores obtenidos para los índices de remoción de DBO₅, DQO, SST y Nitrógeno y Fósforo total a través de la aplicación de las diferentes alternativas consideradas se observa que la opción que contempla el tratamiento del 50% del efluente proveniente del esquema de tratamiento secundario cumple con los valores límite planteados tanto por la normatividad actual vigente como por la propuesta que actualmente está en curso. Estos valores pueden ser mejorados aún más si se observan buenas prácticas de producción relacionadas con la disposición de residuos, mantenimiento de máquinas, programación de lavados internos de la planta lo cual llevaría a incrementar los porcentajes de remoción de los esquemas de tratamiento primarios y secundarios y a su vez esto incrementarlo el porcentaje de remoción de contaminantes en la fase terciaria del tratamiento constituida por el humedal de disposición combinada vertical – horizontal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De los análisis y evaluaciones realizadas se puede concluir lo siguiente:

Es factible implementar la técnica de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la industria avícola. De acuerdo con los cálculos y análisis realizados, una combinación de humedales de disposición vertical y horizontal que trate un 50 % del efluente característico de este tipo de industrias (ver resultados de la caracterización de un efluente típico en la Tabla 18) y con una mezcla del 50% de efluente proveniente directamente del esquema de tratamiento secundario, permitiría cumplir con los estándares establecidos en la normatividad actual vigente. Tratar el 100% del efluente, aunque permitiría entregar un vertimiento con muy bajos niveles de contaminantes, no sería óptimo ya que el caudal del efluente usado como base para el cálculo solo se da en horas pico por lo que tratar de estabilizar el caudal del efluente después de la segunda fase de tratamiento con ayuda de un tanque de igualamiento y posteriormente tratar el 50% del mismo podría constituirse un la mejor opción desde el punto de vista técnico y económico.

Los costos asociados en la implementación de esta técnica rondarían los \$ 750.000.000 y podría demandar una extensión de 1.5 hectáreas de terreno.

Se sugiere ahondar en posteriores trabajos, en el mejoramiento del nivel de detalle del modelo de evaluación de factibilidad para incorporar fenómenos más complejos como evapo-transpiración, advección (transporte de sólidos al interior de un fluido en movimiento) y transporte de materia orgánica al interior del humedal teniendo en cuenta ciclos estacionales particulares de la zona de implementación del esquema de tratamiento.

Se identificó la importancia de profundizar y mejorar el detalle de los estudios, criterios de diseño y evaluaciones de factibilidad de implementación de humedales, como alternativa viable de tratamiento en industrias no solo del sector avícola sino también de otros sectores productivos.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Artículo: "La producción avícola en Colombia". Connotaciones; Jose Daniel Mora Soriano, Universidad Nacional de Colombia.

[2] Tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola; Manuel E. Lopez. Consultor Ambiental; <http://www.adiveter.com/ftp/articles/A31008.pdf>

[3] Pathogens excreted by livestock and transmitted to humans through water; Black.R.E et all; UCD Animal Agriculture Center; Davis, California; 1997.

[4] Manure management for water quality: costs to animal feeding operations of applying manure nutrients to land; Ribaud.M.N et all; US Department of Agriculture, Economic Research Service, Resource Economics Division, Agriculture Economic Report 824; June 2003; USDA Washington D.C.

[5] Ahorro y uso eficiente del agua en plantas de beneficio de aves; Corporación para el fomento de la producción mas limpia y desarrollo sostenible. www.cdmb.gov.co/ciaga/ahorro%20y%20uso.pdf

[6] Condiciones de calidad de Agua en Estados Unidos; Agencia de protección ambiental, EPA; Estados Unidos, junio 2000. <http://water.epa.gov/lawsregs/guidance/cwa/305b/98summsp.cfm>.

[7] Informe de tasa retributiva semestral de caracterización; Genny Sánchez Méndez; Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga, CDMB 2005.

- [8] Síntesis diagnóstica microcuenca La Honda, Municipio de Rionegro, Santander; Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB
- [9] Guía Ambiental para la formulación de planes de pre tratamientos de efluentes industriales. Ministerio del Medio Ambiente. 2002.
- [10] Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La Edar de los Gallardos (Almería); Agustín Lahorsa, Gestión de Aguas del Levante Almeriense, S.A, GALASA.
- [11] Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales, Trabajo Final (Master e ingeniería y gestión ambiental), Jaime A. Borrero L; Instituto Catalán de tecnología, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 1999.
- [12] Tratamiento de Aguas Residuales; Jairo Alberto Romero Rojas; Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.
- [13] Multiscale modeling of vegetated submerged bed system with application in organic matter removal and clogging; Ram Chandra Marahatta; PhD dissertation; Interdepartmental Area of Engineering (Civil Area); The Graduate College of University of Nebraska; 2005.
- [14] Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, correspondiente a la Resolución No.1096 del 17 de noviembre de 2000, del Ministerio de Desarrollo Económico.
- [15] Planta de tratamiento de aguas residuales El retiro, Antioquia, Empresas Públicas de Medellín.

[16] Determinación de la conductividad hidráulica en pantanos artificiales experimentales de flujo sub superficial; Delfino Francia P., J. Manuel Cabrera S., Álvaro Flores G.; Universidad de Guanajuato, Instituto de Ciencias Agrícolas.

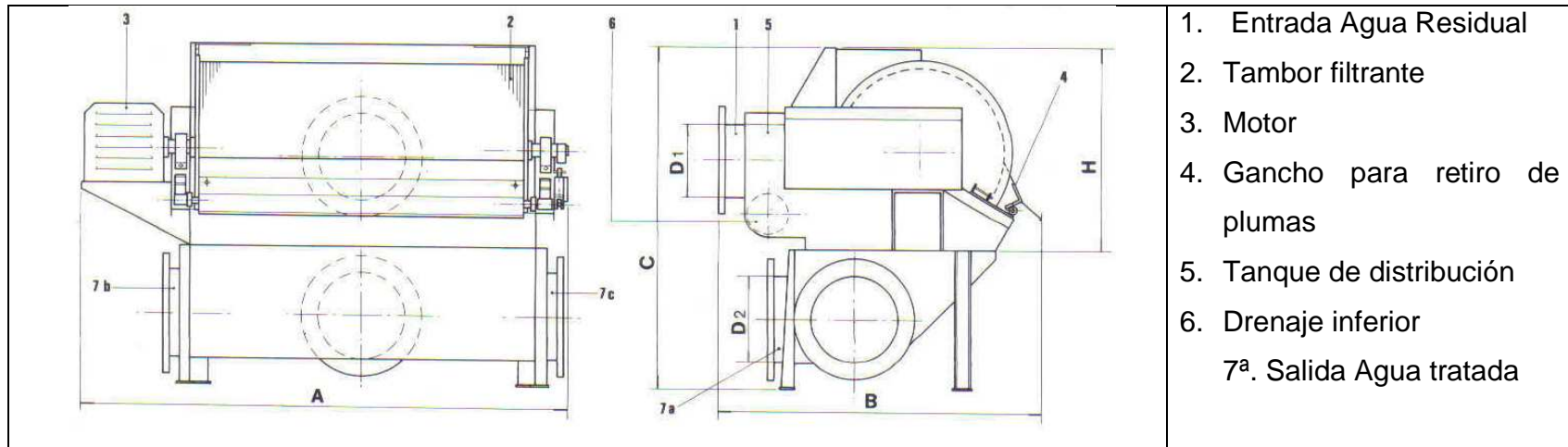
[17] Efecto del uso de plantas, flujo y combinación de los sistemas en la remoción de organismos patógenos mediante el uso de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domesticas en condiciones climaticas tropicales; Conferencia internacional sobre humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales; transferencia de conocimiento a Latinoamérica; Jenny Adriana García Palacio, Universidad Tecnológica de Pereira, Maestría en Eco tecnología, Febrero de 2009, Pereira.

[18] Design Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment, US EPA CERL, Cincinnati, Ohio.2000.

[19] Artículo: “*Modelo de costos para el tratamiento de las aguas residuales en la región*”; Diana Salas Quintero, Mario Alberto Zapata, Jhoniers Guerrero; Universidad Tecnológica de Pereira; Pereira, 2007.

ANEXOS

Anexo A. Dimensiones IDRASCREEN serie GF-6206



1. Entrada Agua Residual
2. Tambor filtrante
3. Motor
4. Gancho para retiro de plumas
5. Tanque de distribución
6. Drenaje inferior
- 7^a. Salida Agua tratada

DIMENSIONI (mm.) - PESI (Kg.)

DIMENSIONS (mm.) - WEIGHT (Kg.)

TIPO	Diametro cilindro	Lunghezza cilindro	Potenza CV	A	B	C	H	D1*	D2*	Peso a vuoto	Peso in funzione
MODEL	Cylinder diameter	Cylinder length	Motor HP							Dry weight	Operating weight
GF-3103	309	300	0,33	600	710	665	415	80	100	95	140
GF-6206	628	600	0,75	1220	1170	1280	760	200	250	260	450
GF-6209	628	900	0,75	1520	1170	1280	760	200	250	300	575
GF-6212	628	1200	0,75	1820	1170	1280	760	250	300	340	700
GF-6218	628	1800	0,75	2420	1170	1280	760	300	350	420	950
GF-9030	914	3000	2,00	3800	1680	—	1300	350x2	—	1240	2400

* I valori indicati sono DN (diametri nominali) - Flange piane PN 10 - UNI 227767.

Alimentazione standard: 220/380 Volt 50 Hz

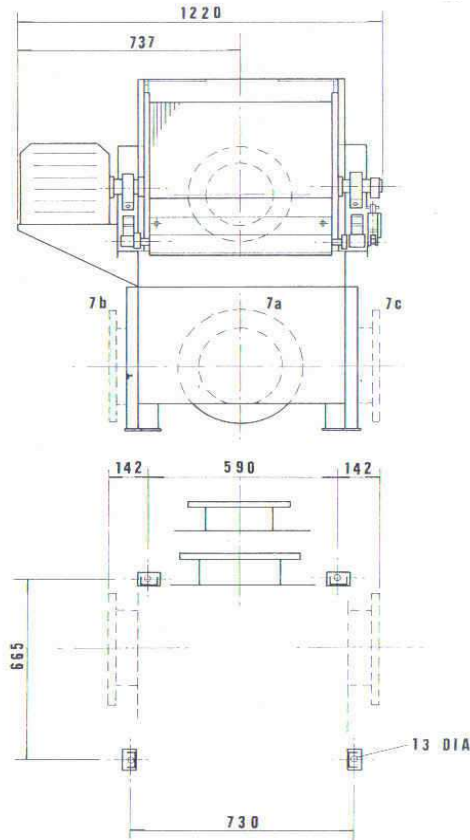
Velocità periferica cilindro: 29 cm./sec. - A richiesta variatore di giri.

* Nominal diameter - Slip on flanges WP 10 - DIN 2576

Feeding voltage: 220/380 Volt - 50 Hz

Peripheral speed: 29 cm./sec. - On request: variable speed

Anexo B. Plano Cortes Filtro rotatorio GF-6206

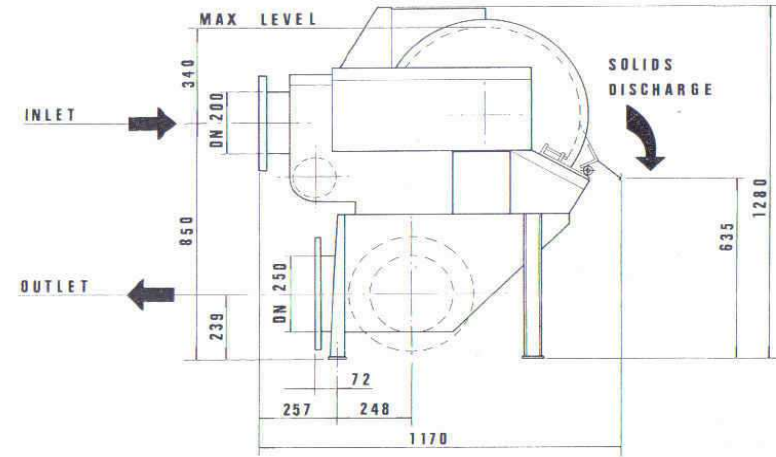


FEATURES:
 Material: AISI 304 stainless steel
 Cylinder outside diameter: 628 mm.
 Cylinder length: 600 mm.
 Installed power: 0,75 HP
 Feeding voltage: 220-380 Volt 50 Hz
 Rotation speed: 9 rpm
 Variable speed: on request

Influent inlet: DN 200* WP 10
 Effluent outlet: DN 250* WP 10
 7a: Alternative 1 (standard)
 7b: Alternative 2 (on request)
 7c: Alternative 3 (on request)
 * Slip on flanges WP 10 DIN 2576
 Dry weight: 260 Kg.
 Operating weight: 450 Kg.

CARATTERISTICHE:
 Materiale: INOX AISI 304
 Diametro cilindro: 628 mm.
 Lunghezza cilindro: 600 mm.
 Potenza installata: 0,75 CV
 Alimentazione: 220-380 Volt 50 Hz.
 Velocità di rotazione: 9 giri/min.
 Variatore di giri: a richiesta

Ingresso liquame: DN 200* PN 10
 Liquame trattato: DN 250* PN 10
 7a: Posizione 1 (standard)
 7b: Posizione 2 (a richiesta)
 7c: Posizione 3 (a richiesta)
 * Flange libere PN 10 UNI 2277-67
 Peso a vuoto: 260 Kg.
 Peso in funzione 450 Kg.



IDRASCREEN

MODEL **GF 6206** IS-82403

FLOW CAPACITIES (cubic meters for hour) PORTATE (mc/h)

MODEL	SCREEN OPENINGS (mm)					LUCI DI FILTRAZIONE (mm)		
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50
6206	58	103	137	171	193	216	232	232

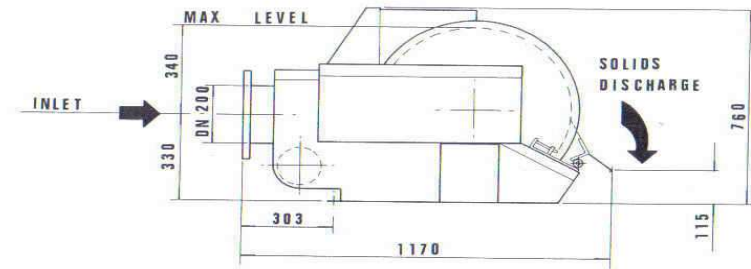
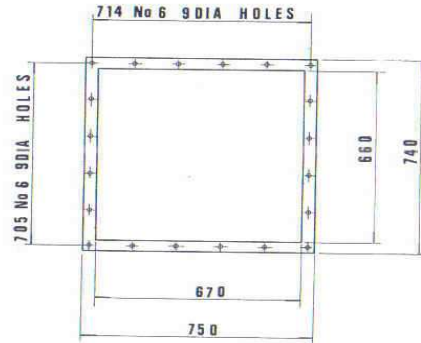
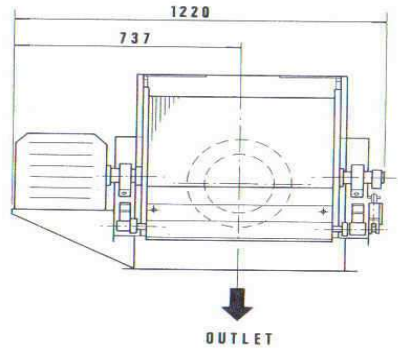
The sizing chart is for reference only and is established on the basis of raw sanitary sewage which has a suspended solids level of approximately 200 mg/lit or ppm. Higher suspended solids can be handled but should be referred to IDRACOS for sizing.

Le portate sono indicative e riferite a liquami civili con contenuto in solidi sospesi 200 ppm, in volume. Per elevati valori di s.s. e liquami industriali consultare la IDRACOS.



IDRACOS S.p.A. - Viale Mentana, 45 - 43100 PARMA - Italy
 Tel. 0521/272100 - Fax 0521/774680

Anexo C. Plano planta GF-6206



FEATURES:
 Material: AISI 304 stainless steel
 Cylinder outside diameter: 628 mm.
 Cylinder length: 600 mm.
 Installed power: 0,75 HP
 Feeding voltage: 220-380 Volt 50 Hz

Rotation speed: 9 rpm
 Variable speed: on request
 Influent inlet: ND 200* WP 10
 * Slip on flanges WP 10 DIN 2576
 Dry weight: 220 Kg.
 Operating weight: 370 Kg.

CARATTERISTICHE:
 Materiale: INOX AISI 304
 Diametro cilindro: 628 mm.
 Lunghezza cilindro: 600 mm.
 Potenza installata: 0,75 CV.
 Alimentazione: 220-380 Volt 50 Hz.

Velocità di rotazione: 9 giri/min.
 Variatore di giri: a richiesta
 Ingresso liquame: DN 200* PN 10
 * Flange libere PN 10 UNI 2277-67
 Peso a vuoto: 220 Kg.
 Peso in funzione 370 Kg.

IDRASCREEN

MODEL GF 6206 W/O IS-82404

FLOW CAPACITIES (cubic meters for hour) PORTATE (mc/h)

MODEL	SCREEN OPENINGS (mm)				LUCI DI FILTRAZIONE (mm)			
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50
6206 W/O	58	103	137	171	193	216	232	232

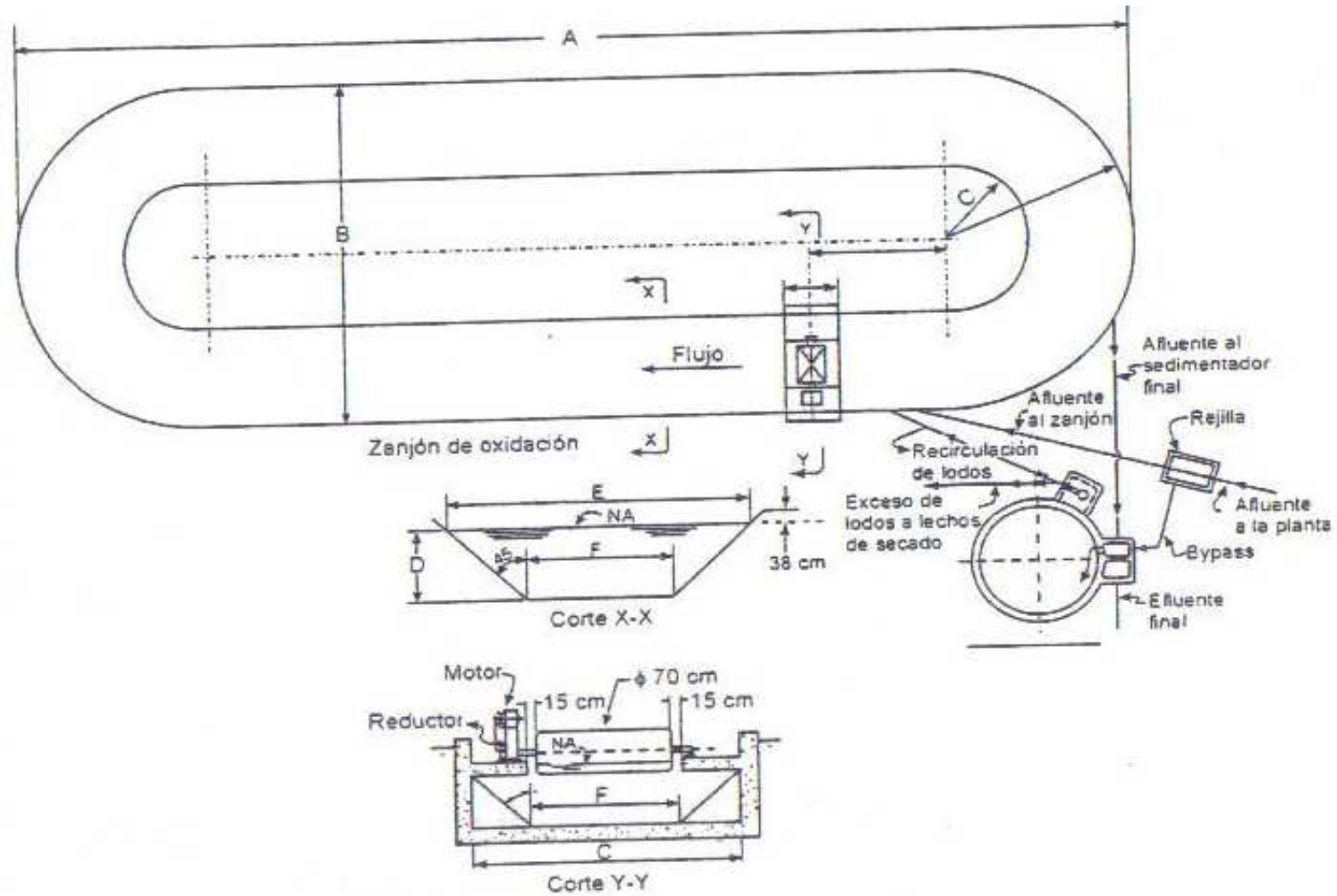
The sizing chart is for reference only and is established on the basis of raw sanitary sewage which has a suspended solids level of approximately 200 mg/l (or ppm). Higher suspended solids can be handled but should be referred to IDRACOS for sizing.

Le portate sono indicative e riferite a liquami civili con contenuto in solidi sospesi 200 ppm. in volume. Per elevati valori di s.s. e liquami industriali consultare la IDRACOS.

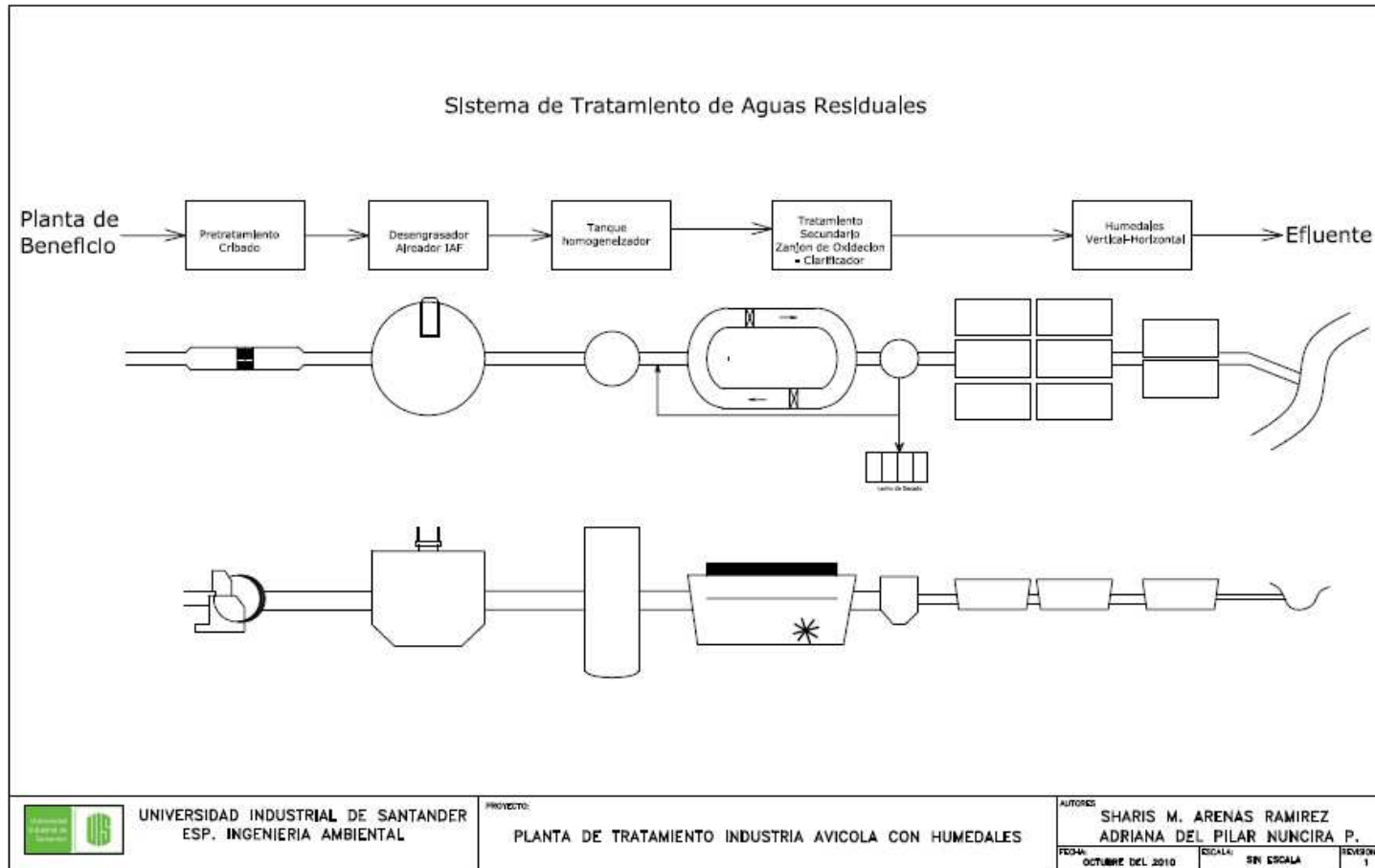


IDRACOS S.p.A. - Viale Mentana, 45 - 43100 PARMA - Italy
 Tel. 0521/272100 - Telex 531462 IDRAC I - Fax 0521/774680

Anexo D. Detalle zanjón de oxidación



Anexo E. Detalle Planta de tratamiento Industria avícola con humedales



Anexo F. Formulas diseño humedal vertical y horizontal

Determinación del área requerida para humedal vertical:

1. Determinación del área superficial para la remoción de la DBO₅:

$$A_S = (\ln DBO_{5\text{ entrada}} - \ln DBO_{5\text{ salida}}) * \frac{Q}{n * K_T * 0.95 * d} [m^2]$$

Valores de k_T , para T=25°C por diferentes autores

E.P.A.	REED	W.P.C.F.	RAS 2000
$k_T = k_{20} * \theta^{(T-20)} (d^{-1})$ $\theta = 1.06$ $k_{20} = 1.104 (d^{-1})$ $K_T = 1,48$	$k_T = k_{20} * \theta^{(T-20)}$ $\theta = 1.1$ $k_{20} = k_0 (37.31 * n^{4.172})$ con $n \geq 0.4$ $k_0 = 1.839 (d^{-1})$ Vert. urbanos $k_0 = 0.198 (d^{-1})$ Vert. Industriales $K_T = 2,42$	$k_T = k_{20} * \theta^{(T-20)}$ $\theta = 1.06$ $k_{20} = 0.806 (d^{-1})$ $K_T = 1,08$	$k_T = k_{20} * \theta^{(T-20)} (d^{-1})$ $\theta = 1.1$ $k_{20} = 1.35 (d^{-1})$ $K_T = 2,17$

Fuente: Autores

2. Determinación del tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{A_S * d * n}{Q}$$

3. Determinación de la geometría

$$W = \frac{1}{d} * \left[\frac{\left(\frac{Q}{6}\right) * \left(\frac{A_S}{6}\right)}{m * \left(\frac{k_S}{6}\right)} \right]^{0,5}$$

$$L = \frac{A_S}{W}$$

Conocida el área superficial A_s y el ancho W , debemos definir la geometría del lecho, es decir la relación entre ancho y largo.

Para el correcto cálculo de la longitud del lecho es importante tener en cuenta que:

- La relación profundidad del lecho vs longitud, individua el máximo gradiente hidráulico disponible.
- Valores bajos de la longitud pueden presentar cortos circuitos.
- La relación ancho: largo más aconsejable es la relación menor a 3:1. Además que se aconseja que se divida la superficie en dos o más lechos puestos en paralelo el uno con el otro.

4. Verificar carga hidráulica

Estos parámetros fueron verificados de acuerdo a los datos por EPA⁴, los cuales se consideran muy exigentes.

$$L_W = \frac{Q}{L*W} \quad 0,014 < Lw < 0,046$$
$$A_{SP} = \frac{1}{Lw} \quad 21,5 < Asp < 71$$

Si la condiciones anteriores no cumplen se deben replantear el área requerida.

5. Comprobación remoción DBO_5

$$DBO_5 = \frac{Q * DBO_5 \text{ Entrada}}{1000}$$
$$DBO_5 \text{ celda} = \frac{DBO_5}{\text{No celdas}} < 112 \text{ }^5$$

⁴ Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales, EPA

⁵ CRITES, R. Y TCHOBANOGLOUS, G. Small and Decentralized wastewater management systems, Mc Graw Hill, 1998.

6. Remoción de sólidos suspendidos totales

Se debe considerar la velocidad de flujo en el humedal, garantizando que esta zona se efectúe la sedimentación.

$$CH = \frac{Q}{A_s} * 100$$

CH, Carga hidráulica cm/día.

Concentración de sólidos en el efluente.

$$C_e = C_o * (0,1058 + 0,0014 CH)$$

7. Remoción de nitrógeno

Para determinar la superficie requerida para la remoción de nitrato se realizan dos cálculos, considerando el 50 y 100% de obstrucción del humedal a causa de las raíces:

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922 * (\%)^{2,6077} = 0,08288$$

$$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_{50\%} * d * n}$$

Se calcula el tiempo de retención hidráulica (numeral 2)

Concentración de nitratos para 50% y 100%,

$$K_T = 0,2187(1,048^{T-20})$$

$$C_e = C_o * e^{-K_T * TRH}$$

Nitrógeno Total,

$$NT = Valor\ asumido + o - C_e < Valor\ asumido$$

8. Remoción de fosforo

Basada en el análisis de datos de North American Data Base

$$C_e = C_o * e^{-\frac{K_p}{CH}}$$

Kp, constante para estimar la remoción de fosforo por Kadlec 2,74 cm/d

$$CH = \left(\frac{Q}{A_s}\right) * 100$$

$$C_e = C_o * e^{-\frac{2,74}{CH}}$$

Determinación del área requerida para humedal horizontal.

1. Determinación del área superficial para la remoción de la DBO₅:

$$A_s = (\ln DBO_{5\ IN} - \ln DBO_{5\ OUT}) * \frac{Q}{n * K_T * 0.95 * d} [m^2]$$

2. Determinación del tiempo de retención hidráulica

$$TRH = \frac{A_s * d * n}{Q}$$

Verificar que por lo menos la remoción de DBO₅ se requiere de 3-4 días.

Determinación del área transversal (A_T):

El flujo hidráulico en los sistemas SFS se describe de la Ecuación de Darcy que se aplica en el caso de flujo en medios porosos, empleando por lo general, suelo y arena como medio del lecho. La ley de Darcy asume que el comportamiento del flujo es de régimen laminar, constante y uniforme. Ks que resulta del Test de

laboratorio (realizado al medio), será para efectos de diseño dividido por un factor de seguridad mayor o igual a 3.

$$Q = K_S * A_T * S \text{ (Darcy); donde,}$$

$$A_T = \frac{Q}{K_S * S}$$

Q = Caudal

S = Gradiente hidráulico

$$K_S = \frac{\text{Valor en Laboratorio}}{\text{Factor de Seguridad}} = 3$$

Gradiente hidráulico (S):

Con base a experiencias se sugiere un límite máximo de la velocidad del flujo longitudinal.

$$V_L = \frac{Q}{A_T} \leq 8.6 \text{ m/d}; \text{ Donde } S \leq \frac{8.6}{K_S}$$

3. Ancho mínimo del lecho (Wmin):

4.

$$W_{MIN} = \frac{A_T}{0.95 * d_{MIN}} [m]$$

Con base a experiencias en plantas similares se sugiere que un límite máximo para la velocidad del flujo longitudinal sea igual a:

$$V_L = \frac{Q}{A_T} < 8.6$$

La relación L/W más aconsejable varía entre 0.4 y 3. Además que se aconseja que se divida la superficie en dos o más lechos puestos en paralelo el uno con el otro.

PLANOS

