

**VALORACIÓN DE LAS UNIDADES ECOTECNOLÓGICAS COMO  
ALTERNATIVA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN  
LAS COMUNIDADES DEL GRAN PARQUE METROPOLITANO DE LA  
HABANA - CUBA**

**CAMILO ADOLFO DIAZ ZERRATE**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÁ D.C.  
2007**

**VALORACIÓN DE LAS UNIDADES ECOTECNOLÓGICAS COMO  
ALTERNATIVA DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN  
LAS COMUNIDADES DEL GRAN PARQUE METROPOLITANO DE LA  
HABANA - CUBA**

**CAMILO ADOLFO DIAZ ZERRATE**

**TESIS DE GRADO**

**DIRECTOR: ING ROBERTO RAFAEL BALDA**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
BOGOTÁ D.C.  
2007**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del director**

---

**Firma del jurado 1**

---

**Firma del jurado 2**

***Bogotá D.C. 27 de Agosto de 2007***

*Esto escribió mi padre el día de mi nacimiento "He venido a este mundo no para ser uno más, si no uno con los demás"*

*Hoy ratifico, que rodeado de mi familia y de todas aquellas personas que han tenido que ver con mi desarrollo y crecimiento, sumado a mi carrera profesional, soy uno con todos los demás.*

*A Mali y Pajulio, mis abuelos*

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo habría sido imposible realizarlo una sola persona, el conocimiento no es el resultado de un solo individuo. Por eso a todos y todas que en algo colaboraron con el presente trabajo, pero sobre todo quienes han sido parte fundamental de mi desarrollo y formación, sabrán que a ellos me debo. Sin embargo, resulta necesario mencionar a quienes hicieron posible la realización de este trabajo.

Distintivamente agradezco al profesor Roberto Balda, quien mediante su labor como director de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad de la Salle, colaboró con este proyecto, quien decidió supervisar mi trabajo en la misma ciudad de la Habana.

Así mismo, al profesor Orestes Gonzáles, Vice Decano de la Facultad de Ingeniería Civil del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), por sus observaciones, comentarios y ayuda prestada durante el desarrollo del proyecto.

Del mismo modo, mi gratitud a la comunidad de la CUJAE, (estudiantes, profesores y amigos) por su cooperación y apoyo

Mi agradecimiento también a Abel A. Yasells García por su tiempo, dedicación y paciencia.

Finalmente, es necesario mencionar el apoyo brindado por el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) de la CUJAE; así como el respaldo del Gran Parque Metropolitano de la Habana (GPMH) en el desarrollo del proyecto.



## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>14</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>18</b>
<b>1 ECOTECNOLOGÍAS.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1 HUMEDALES ARTIFICIALES.....</b>	<b>20</b>
1.1.1 Plantas propias de los Humedales .....	21
1.1.2 Tipos de Humedales.....	23
1.1.3 El papel de los microorganismos.....	26
1.1.4 El papel de las plantas.....	27
1.1.5 Proceso de remoción de contaminantes.....	28
1.1.6 Parámetros de diseño .....	30
<b>1.2 SISTEMAS SOLARES ACUATICOS (SAS).....</b>	<b>31</b>
<b>2 TRATAMIENTO AEROBIO CON LODOS ACTIVADOS. ....</b>	<b>33</b>
<b>2.1 GENERALIDADES .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2 TIPOS DE PROCESOS. ....</b>	<b>34</b>
2.2.1 Convencional.....	34
2.2.2 Aireación gradual.....	35
2.2.3 Aireación escalonada. ....	35
2.2.4 Estabilización por contacto. ....	36
2.2.5 Reactor discontinuo secuencial. ....	37
2.2.6 Papel de las Bacterias.....	38
2.2.7 Aireación.....	39
2.2.8 Parámetros de diseño.....	40
<b>3 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA HABANA.....</b>	<b>41</b>
<b>3.1 CIUDAD DE LA HABANA.....</b>	<b>42</b>
3.1.1 Dificultades en el manejo de los residuos sólidos. ....	43
3.1.2 Contaminación Atmosférica.....	46



3.1.3	Deforestación. ....	48
3.1.4	Contaminación a Cuerpos de Agua .....	49
<b>3.2</b>	<b>ESTRATEGIAS DE SANEAMIENTO .....</b>	<b>51</b>
3.2.1	Residuos Sólidos.....	52
3.2.2	Recurso aire. ....	53
3.2.3	Recurso Agua.....	53
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE LAS UNIDADES ECOTECNOLOGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INSTALADOS EN EL GPMH.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS ECOTECNOLOGÍAS. ....</b>	<b>56</b>
4.1.1	Sistema Natural Pogolotti. ....	56
4.1.2	Sistema Palatino.....	58
4.1.3	Sistema Cubeco .....	63
<b>4.2</b>	<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.....</b>	<b>68</b>
4.2.1	Distribución de los puntos de muestreo.....	69
4.2.2	Pruebas de Operación y Control. ....	73
<b>4.3</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>77</b>
4.3.1	Sistema Palatino.....	79
4.3.2	Sistema Cubeco .....	83
4.3.3	Comparación de DBO y DQO entre los dos (2) sistemas.....	87
<b>4.4</b>	<b>COMPORTAMIENTO ACTUAL DE LAS UNIDADES ECOTECNOLÓGICAS .....</b>	<b>90</b>
4.4.1	Sistema Palatino.....	90
4.4.2	Sistema Cubeco. ....	91
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS ECOTECNOLOGICOS. ....</b>	<b>105</b>
<b>5.1</b>	<b>PROPUESTA DE OPTIMIZACION.....</b>	<b>109</b>
5.1.1	Sistema Palatino.....	109
5.1.2	Sistema Cubeco .....	110
<b>5.2</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS ECOTECNOLOGÍAS.....</b>	<b>113</b>
<b>5.3</b>	<b>COMPARACION DE LAS ECOTECNOLOGIAS EXISTENTES .....</b>	<b>120</b>
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS PARA IMPLEMENTAR ALTERNATIVAS ECOTECNOLOGICAS EN AREAS DEL GPMH .....</b>	<b>124</b>
<b>6.1</b>	<b>ANÁLISIS FODA PARA IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS.....</b>	<b>124</b>



6.1.1	Fortalezas.....	124
6.1.2	Debilidades.....	125
6.1.3	Oportunidades .....	125
6.1.4	Amenazas.....	126
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>131</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>132</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>136</b>





## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial .....	26
Tabla 2. Características de los Humedales artificiales sistema Palatino ...	60
Tabla 3. Distribución de las tomadas en el sistema ecotecnológico Palatino.....	70
Tabla 4. Parámetros tomados in situ con su respectivo equipo. Sistema Palatino.....	70
Tabla 5. Ubicación, Laboratorios Muestras Integrales y Puntuales en el Sistema Cubeco.....	72
Tabla 6. Parámetros tomados in situ con su respectivo equipo. Sistema Palatino.....	73
Tabla 7. Tiempos de toma de muestras de OD en los tanques de Aireación.....	74
Tabla 8. Límites Máximos Permisibles Promedio para las Descargas de Aguas Residuales según la Clasificación del Cuerpo Receptor...	77
Tabla 9. Datos de entrada al sistema Palatino.....	79
Tabla 10. Datos a la salida del sistema Palatino.....	80
Tabla 11. Prueba de Hipótesis Palatino.....	82
Tabla 12. Datos de entrada del sistema Cubeco.....	83
Tabla 13. Datos de salida del sistema Cubeco.....	84
Tabla 14. Prueba de Hipótesis Cubeco.....	86
Tabla 15. Comparación de DBO y DQO entre los sistemas Palatino y Cubeco.....	88
Tabla 16. Comportamiento actual del sistema Cubeco.....	101



Tabla 17.	Sistema Palatino Comparación de parámetros de diseño.....	106
Tabla 18.	Sistema Cubeco. Comparación de parámetros de diseño.....	107
Tabla 19.	Parámetros de diseño en los diferentes procesos de Lodos Activados.....	108
Tabla 20.	Presupuesto Sistema Palatino.....	114
Tabla 21.	Listado de Equipos Sistema Palatino .....	115
Tabla 22.	Operación y Mantenimiento Sistema Palatino.....	116
Tabla 23.	Presupuestos sistema Cubeco.....	117
Tabla 24.	Listado de equipos Sistema Natural Cubeco .....	118
Tabla 25.	Operacion y mantenimiento Sistema Cubeco.....	119
Tabla 26.	Tabla resumen de costos, sistemas Palatino y Cubeco.....	119
Tabla 27.	Descripción de los elementos de la Matriz de Priorización.....	120
Tabla 28.	Matriz de Priorización.....	122
Tabla 29.	Matriz FODA.....	127



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Características de la Typha planta utilizada en humedales artificiales.....	22
Figura 2. Características Del Jacinto de agua.....	23
Figura 3. Descripción de Humedal de flujo Superficial.....	24
Figura 4. Descripción de Humedal de flujo Subsuperficial.....	25
Figura 5. Descripción de Humedal Con plantas Flotantes.....	26
Figura 6. Proceso de depuración de aguas residuales en Humedales.....	28
Figura7. Proceso de lodos activados Convencional.....	34
Figura 8. Relación demanda suministro de oxígeno. Flujo de pistón.....	34
Figura 9. Relación demanda-suministro de oxígeno. Aireación gradual.....	35
Figura 10. Esquema del proceso convencional con aireación escalonada...	36
Figura 11. Relación demanda-suministro de oxígeno. Aireación escalonada	36
Figura 12. Esquema del proceso de estabilización por contacto.....	37
Figura 13. Pasos del sistema SBR.....	37
Figura 14. Esquema del proceso de lodos activados.....	39
Figura 15. Esquema de transferencia de oxígeno.....	40
Figura16. Ubicación de Ciudad de la Habana Cuba: 15 municipios y 105 consejos.....	43
Figura 17. Acumulación de residuos. Consejo Popular, Pogolotti–Finlay, Reparto Carlos J Finlay, calle 90 y Final.....	43



Figura 18.	Acumulación de residuos. Consejo Popular, Pogolotti–Finlay,....	44
Figura 19.	Arroyo donde los recipientes depositan los residuos.....	45
Figura 20.	Vertedero calle 100.....	46
Figura 21.	Vertedero calle 100.....	46
Figura 22.	Nivel de contaminación atmosférica de algunas ciudades de Cuba.....	47
Figura 23.	Organigrama del consejo provincial de cuencas, situando la cuenca Almendares-Vento .....	54
Figura 24.	Tubería de entrada Sistema Natural Pogolotti.....	57
Figura 25.	SBR TREICO (Sequenced Batch Reactor).....	59
Figura 26.	SBR antes de ser instalado en el humedal de Palatino.....	60
Figura 27.	Esquema Sistema Palatino.....	61
Figura 28.	Cámara 1 del Humedal Palatino.....	62
Figura 29.	Humedal Palatino, profundidad del agua en las cámaras.....	52
Figura 30.	Sistema Cubeco.....	64
Figura 31.	Dispositivo de aireación.....	65
Figura 32.	Cubeco Fila de tanques de aireación y Sedimentador Secundario.....	66
Figura 33.	Sistema de aireación. Unidad Cubeco.....	67
Figura 34.	Puntos de toma de muestras Sistema Palatino.....	70
Figura 35.	Sistema Cubeco (puntos de muestra).....	71
Figura 36.	Palatino Determinación de las profundidades actuales.....	73
Figura 37.	Cubeco, Aforo de Caudal en cada una de las filas.....	74
Figura 38.	Puntos de verificación de OD en los tanques de aireación.....	75



Figura 39.	Medida de Oxígeno Disuelto en diferentes niveles del tanque.....	75
Figura 40.	Medida de Oxígeno Disuelto en diferentes niveles del tanque.....	75
Figura 41.	Determinación de la velocidad de respiración por medio del respirómetro.....	76
Figura 42.	Muestras en la entrada y salida del Sedimentador en Conos Imhoff.....	76
Figura 43.	Comportamiento Palatino.....	81
Figura 44.	Comportamiento Cubeco.....	85
Figura 45.	Follaje sistema Palatino.....	90
Figura 46.	Caracterización a la entrada y salida del sistema Palatino.....	91
Figura 47.	Caudales del sistema Cubeco.....	92
Figura 48.	Balance de Materia del comportamiento del sistema Cubeco 30 de Enero de 2007.....	93
Figura 49.	Balance de Materia del comportamiento sistema Cubeco, 1 de febrero de 2007.....	95
Figura 50.	Oxígeno disuelto. Fila 1 con Plantas.....	97
Figura 51.	Oxígeno Disuelto. Fila 2 sin Plantas.....	98
Figura 52.	Oxígeno disuelto en el Tanque 1 fila 1.....	99
Figura 53.	Muestras del Sedimentador.....	100
Figura 54.	Funcionamiento del Pozo de bombeo con recirculación.....	110
Figura 55.	Balance de cargas para el sistema Cubeco.....	112



## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Parámetros de diseño Humedales Artificiales.
- Anexo B. Parámetros de diseño Lodos Activados
- Anexo C. Mapa de focos contaminantes del Gran parque metropolitano de la Habana
- Anexo D. NORMA CUBANA 27 del 1999 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.
- Anexo E. Principales fuentes contaminación industrial del río Almendares.
- Anexo F. Distribución de la caracterización sistema Cubeco
- Anexo G. Respiración Microbiana
- Anexo H. Resultados de Laboratorios Sistema Palatino y Cubeco.
- Anexo I. Análisis Estadístico
- Anexo J. Cálculos Para los Rediseños Sistema Cubeco y Palatino.
- Anexo K. Diseño Cámara de rejas.
- Anexo L. Diseño Vertedor Triangular
- Anexo M. Diseño Sedimentador
- Anexo N. Catalogo Bombas
- Anexo O. Catalogo Mezcladores
- Anexo P. Catalogo Sistema de Aireación
- Anexo Q. Planos Palatino
- Anexo R. Planos Cubeco



## **GLOSARIO**

**AFLUENTE:** Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o a algún proceso de tratamiento.

**BUCÓLICO:** (Dialecto Popular CUBA) “se refiere al sucio, descuidado, con malos olores”.

**EFLUENTE:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**ENDÉMICO:** Una especie que sólo existe en una zona geográfica determinada.

**HIPÓTESIS:** Planteamiento inicial cuya validez ha de ser confirmada por la experimentación o el razonamiento.

**INTERVALO DE CONFIANZA:** Es un intervalo de valores alrededor de un parámetro muestral en los que, con una probabilidad o nivel de confianza determinado, se sitúa el parámetro a estudiar.

**POZO SÉPTICO:** Sistema individual de disposición de aguas residuales para un conjunto de viviendas; combina la sedimentación y la digestión.

**PROCESO AEROBIO:** Es un proceso de respiración en el cual el oxígeno libre es el único aceptador final de electrones; el oxígeno es reducido y el carbono es oxidado, al igual que la materia orgánica o inorgánica.

**PROCESO ANAEROBIO:** Es la descomposición u oxidación de compuestos orgánicos, en ausencia de oxígeno libre, para obtener la energía requerida para el crecimiento y mantenimiento de los organismos anaerobios.

**PROCESO ANÓXICO:** También llamada respiración del nitrato, es definida como el conjunto de reacciones de reducción del nitrato o nitrito, en las cuales éstos se utilizan como aceptadores de electrones, en ausencia de oxígeno libre.

**SANEAMIENTO BÁSICO:** Conjunto de actividades, técnicas y elementos destinados a fomentar las condiciones higiénicas de una comunidad o de una localidad.

**SISTEMAS DE TRATAMIENTO:** Procesos físicos, químicos y biológicos los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del uso humano cotidiano del agua.

**VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS:** Son lugares donde se disponen los residuos sin ningún tipo de medida sanitaria; por esta razón se crean vectores



como ratas y moscas, además de generar malos olores y humos, contaminan los acuíferos subterráneos y aguas superficiales.

Un vertedero controlado, denominado también como Relleno Sanitario, es una técnica de eliminación final de desechos sólidos en el suelo que no causa molestias ni peligros para la salud y seguridad pública, tampoco perjudica el ambiente durante su operación

**VERTEDERO HIDRÁULICO:** Es una estructura hidráulica o dispositivo destinado a medir el caudal y permitir el paso libre o controlado del agua.

**VERTIMIENTOS DOMÉSTICOS (ALBAÑALES):** son los vertimientos de aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y servicios, generados principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

**VERTIMIENTOS INDUSTRIALES:** Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial

**SEDIMENTACIÓN:** Proceso de clarificación de las aguas residuales mediante la precipitación de la materia orgánica.





## RESUMEN

Este trabajo de investigación fue desarrollado en Cuba, durante la pasantía realizada en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE) como tesis de grado de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, Colombia.

La investigación identifica la situación ambiental de la ciudad de la Habana – Cuba y las estrategias de saneamiento necesarias para poder sobrellevar los actuales problemas. Con el fin de ayudar al restablecimiento ambiental de la región se creó en la capital la empresa “Gran Parque Metropolitano de La Habana (GPMH)” denominado como el gran pulmón verde de la ciudad, encargado del restablecimiento ambiental con el objetivo principal de ayudar a la depuración del río Almendares, afluente que atraviesa el parque.

Para este fin se han instalado sistemas de tratamiento naturales denominados *ecotecnologías*, las cuales ayudan a la depuración del río de forma económica, además de crear estructura urbana con espacios verdes en medio de la ciudad atrayendo especies de animales e involucrando a la comunidad mediante procesos educativos y talleres ambientales.

Es de esta manera que, con apoyo de investigadores del GPMH y de la CUJAE, se realizó la valoración de estas unidades *ecotecnológicas* como una alternativa viable para ayudar en el saneamiento básico y la calidad de vida de la población.

Se llevaron a cabo estudios de funcionamiento por medio de caracterizaciones, análisis estadísticos y pruebas de operación y control en las *ecotecnologías Palatino* y *Cubeco* instaladas en diferentes puntos del Parque para determinar el comportamiento actual, identificando un buen resultado de las *ecotecnologías* en cuanto a las características climáticas Cubanas y una solución apropiada de saneamiento básico de forma descentralizada para la población, ya que cumplen con la Normatividad Cubana vigente pero es necesario implementar controles para mejorar su eficiencia y optimizar su funcionamiento.

Asimismo se desarrollaron análisis de las características económicas, técnicas y ambientales de las *ecotecnologías* resaltando sus potencialidades para ser reproducidas e instaladas en más lugares del GPMH así como en toda Cuba.



## ABSTRACT

This investigation was developed in Cuba, during the work training hold at Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE) as a requirement to develop the thesis to obtain the undergraduate degree of Environmental and Sanitary Engineer of the University of the Salle, Colombia.

The investigation identifies the environmental situation of the city of Havana - Cuba and the sanitation strategies necessary to bear the present problems. In order to help the environmental reestablishment of the region the company "Great Metropolitan Park of Havana (GMPH)", denominated as the great green lung of the city, was created having a main target: to help with the purification of the Almendares river, body of water that crosses the park.

To achieve this goal, natural systems of treatment denominated ecotechnologies have been installed, which help with the purification of the river in an economic way, besides creating an urban structure with green spaces in the middle of the city so that species of animals are attracted and the community is involved by means of educative processes and environmental workshops.

It is this way that, with the support of the GMPH investigators and the CUJAE, the valuation of these Ecotechnologic units was made as a viable alternative to help with the basic sanitation and the quality of life of the population.

Statistical studies of operation by means of characterizations, analyses and tests of operation and control within the Ecotechnologies Palatino and Cubeco installed at different points of the Park were carried out. Their good behavior was determined with the identification of the Cuban climatic characteristics and an appropriate solution of basic sanitation in a decentralized way for the population, since they fulfill the effective Cuban standards; nevertheless it is necessary to implement controls to improve their efficiency and to optimize their operation.

Also the ecotechnologic features were developed to analyse the economic, technical and environmental characteristics standing out the reproduction of their potentialities and their installation in more places of the GMPH as well as in the rest of Cuba.



## INTRODUCCION

La Ingeniería Ambiental nace por la preocupación de muchas personas que habitamos este planeta, quienes mirando en retrospectiva, nos hemos dado cuenta del daño que se ha hecho a los recursos naturales y al medio ambiente; situación que surgió en principio por las necesidades de desarrollo del ser humano. Poco a poco los intereses de comercialización han contribuido en la destrucción de estos recursos, llegando a las circunstancias actuales que llaman nuestra atención como ingenieros ambientales para convertirnos en investigadores permanentes y lograr cambiar este pronóstico para educar a las poblaciones con este mismo fin y hacerlos analizar detenidamente todos los ecosistemas del mundo.

“Mas de mil millones de individuos carecen de acceso a un suministro básico de agua limpia (de los cuales 80% viven en áreas rurales), mas de dos mil millones sufren cada año de enfermedades relacionadas con el agua y aproximadamente 3,900 niños mueren diariamente por falta de agua potable y saneamiento apropiado”.<sup>1</sup>

Un abre bocas de las causas antes mostradas infieren a: una infraestructura insuficiente y en deterioro para el abastecimiento de agua, particularmente áreas urbanas marginadas y en zonas rurales; financiamiento y capacidad técnica insuficientes para el mantenimiento y la expansión de los sistemas de abastecimiento de agua; la contaminación de fuentes tradicionales de agua a causa de desperdicios humanos y animales, escurrimiento agrícola y desperdicios industriales, y el acceso reducido y el agotamiento de fuentes de agua, debido a sequías, crecimiento poblacional, conflictos armados y al predominio de la agricultura comercial y actividades industriales.

Ante tales circunstancias estamos en la obligación de trabajar cuando es casi imposible impedir un desastre ambiental, cuando el mundo crece en incertidumbres de su destino, se desarrolla en medio del más extenso consumo de los recursos naturales y donde las ciudades alargan cada vez más sus tentáculos para reducir a cemento grandes extensiones de bosques, selva y áreas cultivables.

Hoy es necesario preguntarse por la calidad de vida que tiene el hombre sumido en una relación de conflicto entre el ambiente, con sus formas de organización, de desarrollo y de tecnología.

---

<sup>1</sup> ARROJO Agudelo, Pedro. La gota de la Vida: “Hacia una Gestión Sustentable y democrática del agua”. Fundación Heinrich Böll. Mexico: Frente y Vuelta, 2003. p. 8



Es así como observando características de desarrollo y consumo del agua, resulta contradictorio que los países en desarrollo, como los de Latino América, presenten las mayores reservas de agua, como el Acuífero Guaraní, ó los nevados y paramos en toda la cordillera de los Andes. En Colombia por ejemplo, “los ríos escurren 410 mil millones de m<sup>3</sup>, catorce mil millones de m<sup>3</sup> de agua dulce se encuentran en los lagos y lagunas y 107 mil millones de m<sup>3</sup> están almacenados artificialmente”<sup>2</sup>, pero un elevado porcentaje de la población no tiene servicio de acueducto y alcantarillado y las políticas de privatización elevan los costos de los servicios públicos, evitando el acceso de estos a personas de escasos recursos.

Es esto lo que me ha llevado a realizar estudios en un país que como Cuba, quien ostenta de tener una política social diferente y cuya situación económica, social y religiosa, pueden aportar otros puntos de vista que nos faciliten una investigación complementaria al desarrollo social, para de este modo aplicar y aprender conceptos y criterios para el beneficio de la humanidad.

Cuba, en la actualidad, afronta serios problemas ambientales como la desertificación, dificultades en el manejo de residuos sólidos, contaminación atmosférica y contaminación hídrica entre otros, que aunados al bloqueo de estados Unidos, agudizan las dificultades para mejorar estos aspectos y por consiguiente la calidad de vida de su población.

“La situación del abasto y saneamiento en Cuba estaba muy desatendida en épocas anteriores al triunfo de la Revolución (1959), pero posteriormente consiguió profundas transformaciones políticas, económicas y sociales que abarcaron todos los sectores de la sociedad”.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) desarrolló un programa para lograr la recuperación y elevación de la calidad de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento. “Situación que empeoró a partir de 1990 con la caída de la Unión Soviética, al agravarse la condición económica del país, conllevando a que el acceso al agua en asentamientos rurales dependiera mayoritariamente del acarreo mediante vehículos y fuentes de agua lejanas de mala calidad”<sup>3</sup>.

“Para dar solución a esta situación, el Gobierno de la República de Cuba y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), crearon en 1992 el Programa Nacional de Acción (PNA)”<sup>4</sup>, y conjuntamente el Programa Rural Cubano (PRC), donde se establece la estrategia a seguir para mantener el incremento de los logros alcanzados anteriormente por el INRH en estos sectores, así como en la educación y la salud.

---

<sup>2</sup>MARÍN, Rodrigo. Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. Bogotá: Himat 1992. p. 47

<sup>3</sup>FERNÁNDES Soriano, Armando. La gota de la Vida: “Hacia una Gestión Sustentable y democrática del agua” Derecho Humano al Agua en Cuba. Fundación Heinrich Böll. Mexico: Frente y Vuelta, 2003. p. 125

<sup>4</sup>UNICEF. Evaluación del servicio de agua potable y saneamiento. [en línea] Cuba, 1992 [citado junio 2 del 2007]. Disponible en < <http://www.bvsde.opsoms.org/eswww/eva2000/cuba/informe/inf-08.htm> >



Esta labor se realizó para dotar a todas las comunidades rurales de sistemas adecuados de agua potable y saneamiento, teniendo en cuenta que las soluciones a brindar fueran sencillas en su construcción, funcionales y de fácil operación y mantenimiento, de bajo costo y concibiendo la participación comunitaria en todas las etapas del proyecto

Aunque la situación no es fácil, se parece a la de muchos países en vías de desarrollo que tienen que trabajar y desarrollarse en medio de dificultades económicas y financieras. Por tal razón la importancia de emplear nuevas tecnologías económicas, eficientes, aplicables y sostenibles que ayuden al saneamiento básico de una comunidad.

Es por esta razón que como alternativa a las técnicas convencionales de tratamiento de las aguas residuales se han desarrollado una serie de sistemas basados en los mecanismos de depuración existentes en la naturaleza, denominados Ecotecnologías; sistemas de tratamiento naturales que además de cumplir la función de depurar aguas residuales, genera espacios verdes, en medio de la ciudad creando estructura urbana y educación ambiental a la comunidad.

Con el fin de cumplir con el propósito de mejorar la calidad de vida de la población, en Cuba y específicamente en la Habana, se ha realizado el proyecto del Gran Parque Metropolitano de La Habana (GPMH) con el objetivo principal de “Llevar acabo el saneamiento ambiental del territorio, contribuyendo especialmente al saneamiento del río Almendares como eje del Parque Metropolitano”<sup>5</sup>. Para este fin el GPMH ha desarrollado diferentes proyectos *ecotecnológicos* que ayudan a la depuración del río con la instalación de 3 sistemas naturales ubicados en diferentes localidades o consejos populares que lo conforman.

Los sistemas son: Sistema Natural *Pogolotti*, sistema Natural *Palatino* y Sistema Natural *Cubeco* los cuales tratan aguas residuales domesticas de las localidades donde se encuentran. A futuro se planea ubicar más de estos sistemas en las 700 hectáreas del GPMH.

Es así como el presente trabajo de investigación nace con el propósito de realizar una valoración de éstos sistemas Ecotecnológicos, observar su comportamiento y plantear posibles soluciones a implementar para mejorar sus características actuales por medio de análisis de laboratorios, estadísticos y pruebas de operación y control; con ayuda de Tutores asignados en las área de hidráulica y química, además de investigadores, profesores y estudiantes del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE).

---

<sup>5</sup> ESTRATEGIA DE DESARROLLO Haciendo Camino al Andar. en Gran Parque Metropolitano de La Habana. No 3 2003 – 2006,p.3



El documento presenta una descripción de las diferentes tecnologías que se encuentran en el GPMH, así como las pruebas de control y análisis de laboratorio para identificar su comportamiento; además, se detallan económicamente los instrumentos de instalación, operación y mantenimiento de los sistemas. Posterior a esto se implementa una matriz de priorización en la cual se realiza una comparación económica, técnica y ambiental entre estos sistemas. Finalmente un análisis FODA, estableciendo las potencialidades que tienen las Ecotecnologías para poder ser implementadas en más zonas del Parque Metropolitano.

No obstante, las investigaciones se tratan de un proceso de conocimiento donde cada trabajo aporta su grano de arena para obtener como resultado un elemento que funcione y se acople de la mejor forma. Este trabajo es el primer estudio realizado en el sistema *Cubeco* y *Palatino* siendo la pieza fundamental para continuar con el proceso de investigación por parte de estudiantes y profesores de la CUJAE, así como de investigadores del GPMH en el desarrollo de nuevas tecnologías que se puedan implementar para la comunidad.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Valorar las unidades ecotecnológicas para el saneamiento *insitu* de los vertimientos domésticos de las comunidades enclavadas en la cuenca del Río Almendares del área del Gran Parque Metropolitano De la Habana (GPMH).

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar de forma técnica, económica y ambiental los sistemas de tratamiento de las aguas residuales que se encuentran instalados en el GPMH.

Plantear las posibles soluciones a implementar en cada una de las unidades ecotecnológicas para mejorar sus características actuales.

Analizar potenciales y obstáculos, (FODA) para posible implementación de alternativas ecotecnológicas en otras áreas del GPMH.

Comparar las ecotecnologías existentes como unidades de tratamiento de los vertimientos domésticos del GPMH.



## 1 ECOTECNOLOGÍAS

Sabiendo que la “ecología es la ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y su entorno”<sup>6</sup> y la tecnología es el “conjunto de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico,”<sup>7</sup> se podría deducir que el término de *ecotecnología* se refiere al aprovechamiento práctico de una investigación científica, teniendo en cuenta la relación de los seres humanos con su entorno. Sin embargo, en este caso, estos son la base de la aplicación de la investigación de sistemas naturales para estudiar las problemáticas ambientales, en especial en la descontaminación de aguas como en este caso específico, y proponer las soluciones correspondientes.

Estas ecotecnologías van relacionadas con el uso de la vegetación para la prevención de la degradación del paisaje, remediación y restauración de los ecosistemas, teniendo un control de los procesos ambientales, supervisando y valorando la calidad del medio ambiente.

Las ecotecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, han desarrollado varios sistemas de depuración existentes en la naturaleza, que requieren la misma cantidad de energía por cada kilogramo de contaminante degradado que las tecnologías convencionales, esto sin emplear en su proceso, ningún tipo de aditivos químicos, ni energía externa; sin embargo, esta fuente es tomada de la naturaleza como la energía solar, la energía cinética del viento, la energía potencial acumulada en la biomasa y en el suelo, entre otros.

Entre los sistemas ecotecnológicos se encuentran las lagunas de oxidación, los filtros verdes, los humedales naturales y artificiales, e incluso la combinación de éstos con tecnologías convencionales como son la mezcla de plantas flotantes con sistemas de lodos activados o la utilización de humedales artificiales como tratamiento terciario para remover nutrientes de las aguas residuales, así como metales pesados y otros tipos de contaminantes químicos.

Los sistemas naturales son de bajo consumo en energía convencional, por tanto sus costos de operación y mantenimiento son significativamente menores que los costos de sistemas convencionales de tratamiento, pero, requieren una mayor superficie de terreno por habitante. Para poder aprovechar esta energía solar se han implementado diversos sistemas con algas o plantas acuáticas que producen el oxígeno necesario para el crecimiento de microorganismos que ayudan a la depuración de aguas residuales.

---

<sup>6</sup> REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Diccionario De La Lengua Española - Vigésima segunda edición. 2001

<sup>7</sup> Ibid.

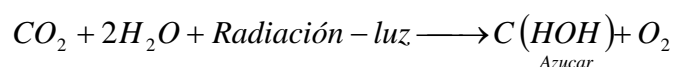




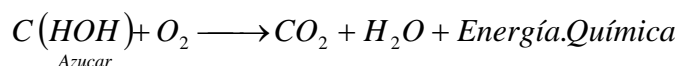
Los vegetales y las algas captan la energía solar y la transforman en energía química que es utilizada en su metabolismo para formar biomasa y realizar sus funciones vitales. “En este proceso se rompen las moléculas de agua para dar oxígeno molecular, que se desprende, el hidrógeno (o electrones y protones) que reduce el carbono mineral contenido en el  $CO_2$  y lo transforma en carbono orgánico. El oxígeno desprendido en la fotosíntesis es utilizado por los seres heterótrofos como aceptor final de electrones en las reacciones del catabolismo que degradan la materia orgánica.”<sup>8</sup>

Se obtienen 2 tipos de reacciones:

Fotosíntesis.



Catabolismo.



A continuación se describen las características de los humedales artificiales como ecotecnología para ser instalada en una pequeña comunidad.

## 1.1 HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son una de las opciones ecotecnológicas por sus características de funcionamiento propios de la naturaleza para el tratamiento de aguas residuales, donde se combinan procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren al interactuar las aguas con el suelo, las plantas, los microorganismos y la atmósfera, dando lugar a procesos de sedimentación, filtración, absorción, degradación biológica, fotosíntesis, fotooxidación y toma de nutrientes por parte de la vegetación mediante el metabolismo.

“Las plantas traslocan el oxígeno desde las hojas y tallos hasta las raíces, creándose cerca de la rizosfera una zona adecuada para que las bacterias presentes en ella (bacterias aeróbicas), tomen el oxígeno para la oxidación de la materia orgánica”<sup>9</sup>

Los humedales son áreas que se encuentran conformados por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tal, suficiente para mantener condiciones saturadas; generalmente tienen profundidades menores a un metro (1m) y fondo impermeable, utilizados con plantas propias de zonas de humedales ya sean emergentes, flotantes y/o sumergibles las cuales sirven como filtros y mecanismos de absorción de los componentes de un agua residual, sirve para transferir oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas ya que

<sup>8</sup> METCALF & EDDY. Ingeniería Sanitaria. Labor, S.A, 1985 .p. 439

<sup>9</sup> MOORHEAD, K y K REDDY. Oxygen transport through selected aquatic macrophytes. Nueva York, 1988. p. 253



limitan la entrada de luz solar. Esta ecotecnología tiene alta productividad de microorganismos que favorecen a la descomposición de la materia orgánica.

Los sistemas de humedales se pueden clasificar según la posición de la superficie del agua o el tipo de vegetación presente:

- Los humedales artificiales de flujo superficial (FS): Son aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera; estos son estanques o canaletas de poca profundidad inundadas, generalmente colocados en paralelo con un suelo relativamente impermeable para evitar filtración al manto freático, donde el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde el punto de entrada hasta el punto de descarga
- Los humedales de flujo subsuperficial (SFS) horizontal: Son construidos en un canal que contiene un medio poroso como el lecho de grava que se mantiene saturado por el paso del agua residual en el que crecen plantas emergentes.

Estos sistemas dan un tratamiento efectivo de forma pasiva, minimizando la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de operadores con experiencia, reduciendo costos de operación y mantenimiento, no producen lodos que requieran tratamiento y tienen características de remoción efectiva de contaminantes, generan espacios verdes, incorporando hábitat de vida silvestre y espacios de recreación pública. “Los sistemas de flujo superficial, tienen la ventaja de requerir menores áreas y evitar olores y problemas de mosquitos y roedores, teniendo como principal desventaja la necesidad de utilizar un material como lecho de soporte para el crecimiento y desarrollo de las plantas, y de la masa de microorganismos”.<sup>10</sup> “Son convenientes para el tratamiento de las aguas albañales de casas particulares o pequeñas comunidades, como sistemas secundarios o terciarios en poblaciones de hasta 1000 habitantes, extendiéndose además a tratamientos de efluentes industriales, drenajes de minas ácidas y efluentes agrícolas”<sup>11</sup>

#### 1.1.1 Plantas propias de los Humedales

Los humedales se caracterizan porque funcionan con diferentes tipos de plantas acuáticas denominadas como “micrófitos”, (plantas tolerantes al agua como la enea, la *Typha*, lenteja de agua, o Jacinto) estas crecen y se desarrollan y debido a sus características tienen la capacidad de depurar el agua mediante asimilación directa de nutrientes como el Nitrógeno y el Fósforo, metales pesados, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal. “Los *helófitos* (planta de tipo macrofita) son capaces de transportar oxígeno en grandes cantidades desde los tallos hacia sus raíces y rizomas donde es utilizado por los microorganismos

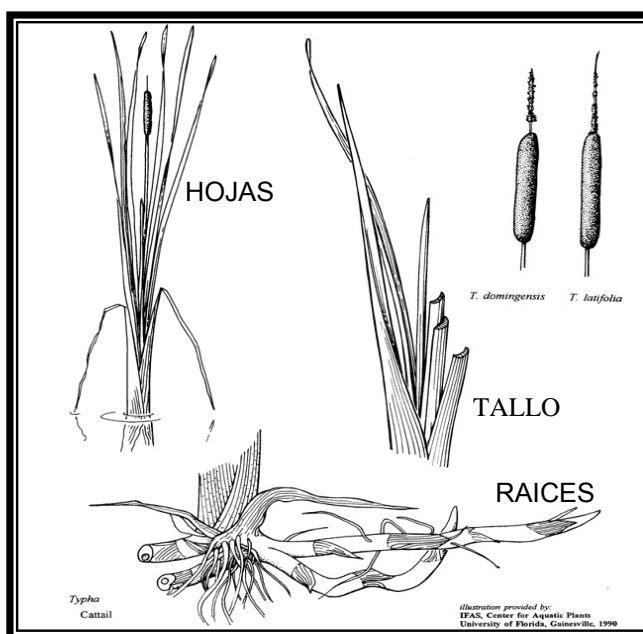
<sup>10</sup> CRITES AND TCHOBANOGLOUS. Sistemas de manejo de agua residual para núcleos pequeños y descentralizados: McGraw-Hill, 1998. p. 565

<sup>11</sup> HEDIN, R.S NAIRN, R.W. y KLEINMANN. Passive treatment of polluted coal mine drainage. Estados Unidos: RLP, 1994. p. 349



heterótrofos que crecen sobre ellos en forma de biopelícula, lo que contribuye a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación.”<sup>12</sup> Se establece una especie de simbiosis en la que la planta suministra oxígeno a los microorganismos y aprovecha algunos productos resultantes del metabolismo de los mismos, consiguiendo en condiciones adecuadas, crecer a ritmos muy elevados. Entre estas plantas se destaca comúnmente la *Typha* (eneas o junco de laguna). Se trata de plantas acuáticas *helófitas*, estas son plantas acuáticas con sistema radicular arraigado en el fondo del humedal, y estructura vegetativa que emerge por encima de la lámina de agua, permanecen erguidas, desarrollando un gran tamaño que alcanzan más de tres (3) m de altura. En la Figura 1 se pueden ver sus principales características.

**Figura 1** Características de la *Typha* planta utilizada en humedales artificiales..



Fuente: Figura adaptada de: [aquat1.ifas.ufl.edu/typhpic.html](http://aquat1.ifas.ufl.edu/typhpic.html) 2006

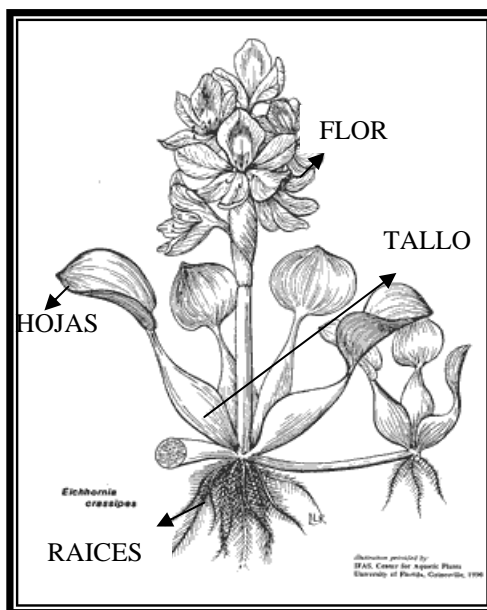
Otro tipo de plantas macrófitas son las flotantes, plantas en las que sus organismos asimiladores están flotando en la superficie del agua con sus raíces suspendidas en el agua, destacando entre estas el *Eichhornia crassipes* conocido como Jacinto de agua, *Camalote*, *Lampazo*, *Violeta de agua*, *Buchón*, *Taruya*, *Lirio de agua*, *lechuga de agua*, *lechuguín*, tiene forma de roseta, las raíces son negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes, negro violáceas cuando son adultas, generalmente alcanza unos cincuenta centímetros (50cm) de altura. Sus raíces pueden alcanzar hasta tres (3) m por esta razón tienen excelente poder de filiación, y capacidad de absorber impurezas y contaminantes como el níquel,

<sup>12</sup> HANDMER, Donald A. Constructed Wetlands for Wastewater treatment. Estados Unidos: Lwis Publishers. Cheslea, 1989 p. 102



cadmio, plomo, mercurio, cromo, plata, cobre, fenoles entre otros. En climas tropicales, la especie muestra una gran adaptabilidad ecológica, desarrollándose bien en estanques temporales, zonas húmedas, marismas y aguas contaminadas. La Figura 2 muestra sus rasgos más importantes.

**Figura 2** Características Del Jacinto de agua.



Fuente: Figura adaptada de: [msucares.com/.../farmpond/veg/hyacinth.html](http://msucares.com/.../farmpond/veg/hyacinth.html) 2006

### 1.1.2 Tipos de Humedales.

Los humedales se describen típicamente por la posición de la superficie del agua y/o el tipo de vegetación presente. Pueden clasificarse como de flujo superficial, subsuperficial y con plantas flotantes.

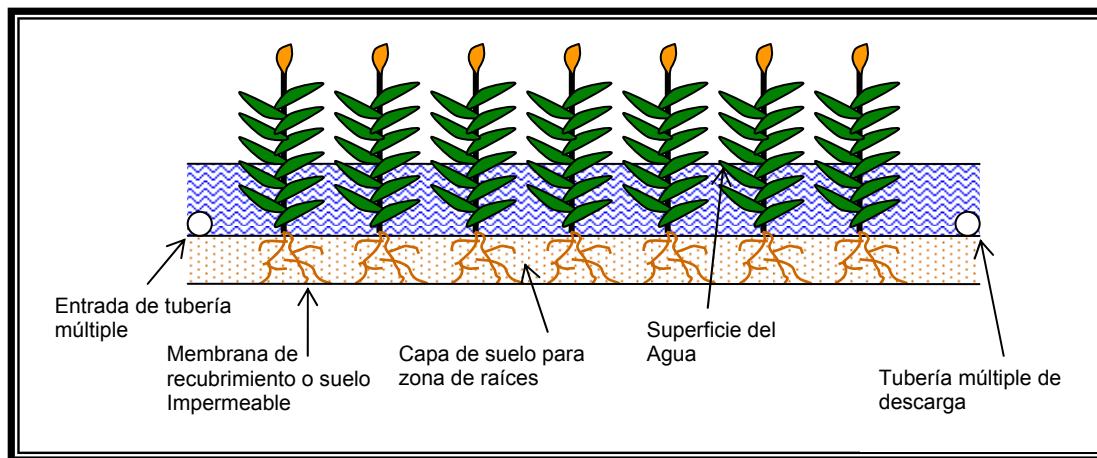
- Flujo superficial. (F.S)

Estos sistemas son de tipo horizontal. Como se muestra en la Figura 3, el agua circula expuesta a la atmósfera (superficialmente) por un canal que tiene una capa de agua no muy profunda, con un recubrimiento de fondo para prevenir la precolación al agua freática susceptible a contaminación, y una capa sumergida de suelo para las raíces de vegetación macrófita emergente seleccionada; también se pueden incorporar especies acuáticas flotantes. “El sistema de FS sirve como filtro para los sólidos suspendidos y como estructura de soporte para el crecimiento microbiano que se desarrolla alrededor de las raíces”.<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> HANDMER, Donald A. Constructed Wetlands for Wastewater treatment. Estados Unidos: Lwis Publishers. Cheslea, 1989 p.105



**Figura 3** Descripción de Humedal de flujo Superficial.



Fuente: Figura adaptada de [www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm](http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm), 2007

Los sistemas de humedales de FS remueven en forma confiable la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST). También pueden producir bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo con tiempos de retención suficientemente largos. “Los metales son removidos eficazmente y se puede esperar también una reducción de un orden de magnitud en coliformes fecales. Estos humedales tienen la necesidad de terrenos grandes, especialmente si se requiere la remoción de nitrógeno y fósforo”<sup>14</sup>.

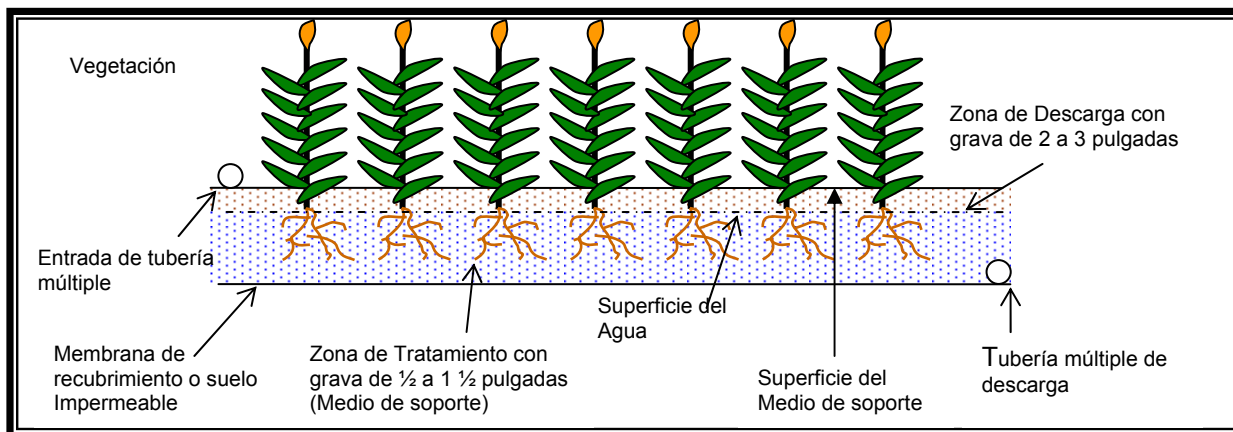
- Flujo Subsuperficial. (SFS)

En estos sistemas, el agua se hace pasar por debajo de la superficie del sistema, como se muestra en la Figura 4, fluye a través de un medio inerte que consiste en un lecho de arena y/o grava de grosores variables, que sostiene la vegetación, durante este paso, la materia orgánica se descompone biológicamente, el fósforo y el nitrógeno puede ser desnitrificado, y los metales pesados son fijados en el suelo, remueven la DBO, la DQO y los SST. Las plantas tienen dos importantes funciones: suministrar oxígeno a los microorganismos en la rizósfera e incrementar y estabilizar la conductividad hidráulica del suelo. Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son, la prevención de proliferación de mosquitos, de malos olores y la eliminación de un contacto directo de las personas con el agua residual.

<sup>14</sup> EPA. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales en Humedales de flujo superficial [en línea] Estados Unidos [citado noviembre 5 del 2006] Disponible en: <[www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm](http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm), Acceso 5 Noviembre 2006>



**Figura 4** Descripción de Humedal de flujo Subsuperficial.



Fuente: Figura adaptada de [www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm](http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm) 2007

Si en este sistema existe una colmatación de los espacios libres del lecho por el crecimiento de las raíces de las plantas, se crean caminos preferenciales para el agua, con lo que se reduce el tiempo de retención y la capacidad de depuración del filtro.

Tiempos de retención. Como el agua en SFS, el agua se mueve a través de un medio de soporte el tiempo de retención es en función del gasto y la conductividad hidráulica del medio. Otros factores a tener en cuenta son la configuración del humedal, los dispositivos de entrada y salida (una deficiente concepción de estos, puede provocar corto circuitos y zonas muertas), y el área superficial, la distribución del flujo del agua debe ser uniforme.

Medio de soporte. Estos son de un material granular (generalmente grava), que actúa como barrera primaria de tamizado para los sólidos suspendidos, además de actuar como estructura de soporte para las plantas, facilita los mecanismos de intercambio iónico entre el agua residual y los componentes minerales del suelo, y se crea sobre él un medio de soporte en el que se retiene la materia orgánica en suspensión y los microorganismos patógenos. "Sólo una parte del espesor se encuentra realmente activo, ya que en la zona más cercana al medio poroso los microorganismos mueren por escasez de substrato."<sup>15</sup>

En la Tabla 1 se muestran las principales características de medios para estos tipos de humedales, especificando su conductividad hidráulica.

<sup>15</sup> ELLIS J.B, REVITT, DM, SHUTES, RB AND LANGLEY, JM. The performance of vegetated biofilters for highway runoff control. Nueva York: The Science of the total Environmen, 1994, p.417





**Tabla 1** Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial

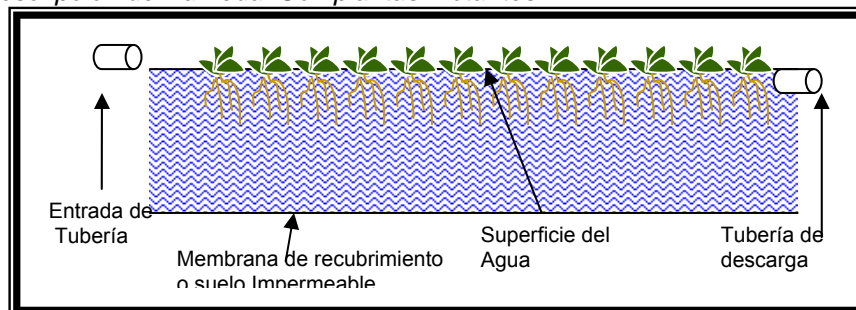
Medio	Tamaño efectivo Mm.	porosidad	Conductividad Hidráulica
Arena Media	1	0.30	500
Arena Gruesa	2	0.32	1000
Arena y grava	8	0.35	5000
Grava media	32	0.40	10000
Grava gruesa	128	0.45	100000

Fuente: Romero Rojas Jairo, 2001

- Humedales con plantas flotantes

Estos sistemas funcionan con una capa de cobertura vegetal de plantas macrófitas flotantes sobre la lamina de agua, como se muestra en la Figura 5. Este diseño no necesita un sustrato en el fondo y es necesaria la extracción periódica de las plantas. Estos tanques tiene una profundidad de 0,4 a 1.5 m de agua residual. Las plantas generalmente utilizadas para este sistema de humedales son *el jacinto de agua*, (anteriormente mencionado) las cuales bombean oxígeno desde el aire hacia las raíces para poder sobrevivir en su hábitat, tienen una gran superficie de contacto de sus raíces con el agua residual y desarrollar una gran actividad depuradora de la materia orgánica por la adhesión de microorganismos en estas, los cuales son capaces de reducir contaminantes como SST, Materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo, así como metales pesados.

**Figura 5.** Descripción de Humedal Con plantas Flotantes.



Fuente: Autor, 2007

Toda la zona sumergida de la planta tiene una gran superficie específica, debido principalmente al número de raíces que actúan de soporte para la filtración de los microorganismos. Estos sistemas tienen una alta eficiencia por no existir resistencia al paso del agua por colmatación y una alta capacidad de depuración por tener todo el sistema radicular bañado por el agua residual, aunque tienen una capacidad limitada de acumular biomasa, por sus características de permanecer próximos a la superficie del agua, siendo necesario hacer una cosecha de las plantas para que estas puedan seguir creciendo.

### 1.1.3 El papel de los microorganismos

En la depuración de aguas residuales se encuentran organismos heterótrofos como bacterias, protozoos, actinomicetos, hongos, organismos que participan en la descomposición de la materia orgánica y son productores primarios de biomasa.



Estos son organismos que necesitan carbono orgánico para desarrollarse y se concentran alrededor de la superficie de las partículas sólidas, sedimentos, y de desechos y partes sumergidas de las plantas.

La degradación la materia orgánica ocurre dentro de los humedales principalmente debido a los microorganismos presentes. Intervienen en la liberación de compuestos gaseosos hacia la atmósfera. Desempeñan una función esencial en el ciclo del nitrógeno, ya que hidrolizan el nitrógeno orgánico y lo transforman hacia formas asimilables para las plantas (ión amonio y nitrato); además, la actividad de ciertas bacterias anaerobias conduce a la desnitrificación, que consiste en la reducción del ión nitrato a nitrógeno gaseoso, que se libera hacia la atmósfera. De la actividad microbiana dependen la asimilación de fósforo y nitrógeno para las plantas

Los hongos se nutren de los restos de alimentos, residuos y plantas contribuyendo a reducir la carga orgánica contaminante del sistema.

#### 1.1.4 El papel de las plantas

Las macrófitas retienen los sólidos gruesos arrastrados por el agua residual, y funcionan como barrera física para el flujo, reduciendo la velocidad del efluente favoreciendo la sedimentación de partículas en suspensión.

Las plantas crean un área superficial para el desarrollo de bio películas en las que crecen los microorganismos anteriormente mencionados. La vegetación de tipo emergente como la *Typha*, amortiguan las temperaturas extremas y fenómenos atmosféricos.

En los procesos de depuración, la vegetación genera intercambio gaseoso desde las hojas hacia la zona radicular en contacto con el agua residual liberando oxígeno ayudando en la extracción de contaminantes por la absorción de iones como los metales pesados.

“La extracción de nutrientes depende directamente de las funciones características de la planta. Como se sabe, hay tres grupos de elementos indispensables para la vida de las plantas:

- Macro nutrientes: Nitrógeno, fósforo, potasio, cuya proporción en la composición de la planta es del orden de 1-2%, 0.1-1% y 0.5-1% del peso seco de la biomasa respectivamente, aunque en determinadas plantas estos contenidos pueden ser muy superiores (por ejemplo, el contenido en nitrógeno de las lentejas de agua puede llegar al 7%).
- Micro nutrientes: Azufre, calcio, magnesio, cuya proporción es <0.5%.





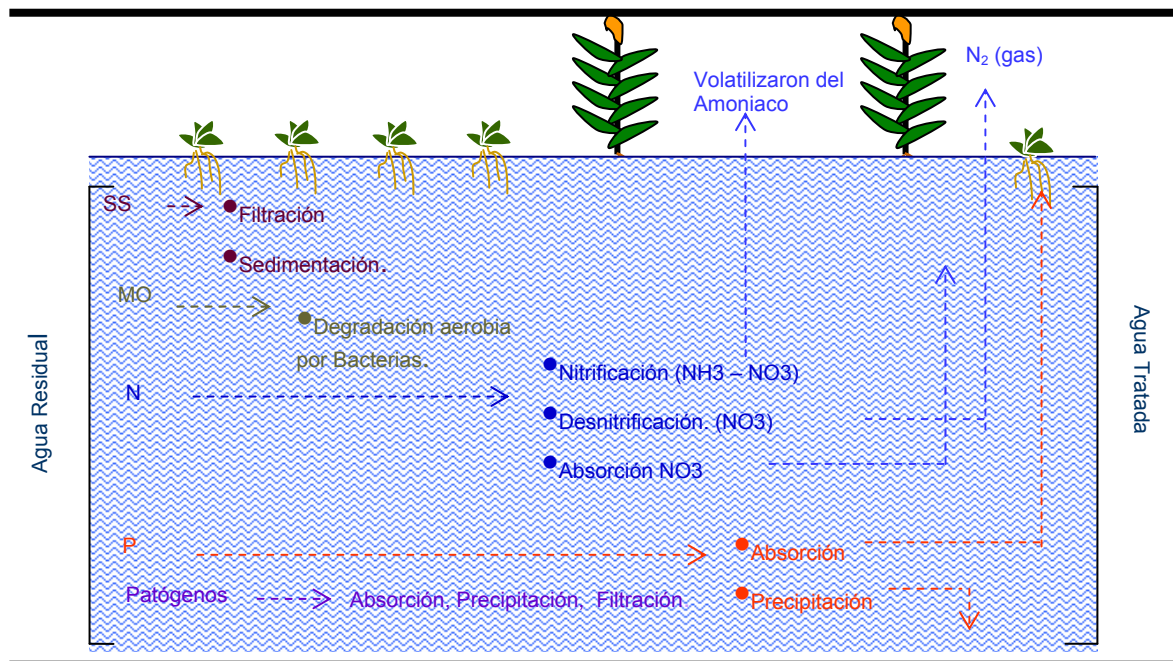
- Oligoelementos: Hierro, manganeso, cinc, cobre, boro, molibdeno, que son imprescindibles para la vida de las plantas pero se encuentran en proporciones muy pequeñas, del orden de ppm, en sus tejidos.”<sup>16</sup>

Las plantas acuáticas tienen la característica de ser muy productivas en la extracción de nutrientes y los principales elementos contaminantes. Los cuales se verán a continuación.

#### 1.1.5 Proceso de remoción de contaminantes

Los humedales como ecotecnología se basan en un cierto equilibrio ecológico en el que interaccionan organismos vivos e interviene procesos físicos, químicos, biológicos, hidrológicos. Estos necesitan de dispositivos de pretratamiento para eliminar los sólidos gruesos, arenas, materiales flotantes y grasas para su correcto funcionamiento y eficiencia. A continuación en la Figura 6 se indicarán los procesos de remoción de contaminantes del agua residual.

**Figura 6** Proceso de depuración de aguas residuales en Humedales



Fuente: Autor.2007

- Sólidos Suspendidos (SS)

Los procesos que conducen a la remoción de sólidos suspendidos dependen del tipo de humedal. En principio, la sedimentación de los sólidos, ocurre por efecto de

<sup>16</sup> GONZÁLES J Fernández. Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrófitas en Flotación. España: Proyecto LIFE., 2001. p. 67



la gravedad, y en condiciones ideales se rige por la ley de Stokes, que indica que la velocidad de sedimentación es proporcional al cuadrado del diámetro de la partícula e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido”<sup>17</sup> En los sistemas de FS, los sólidos en suspensión se eliminan por la floculación (floculación/sedimentación) en la unión de partículas cargadas eléctricamente que colisionan entre sí formando flóculos que finalmente sedimentan. Otro proceso es Filtración/intercepción que en estos sistemas no suele ser muy significativo si las partes sumergidas de la planta no forman un tupido entramado.

En los sistemas de flujo subsuperficial, la remoción de sólidos es muy efectiva debido a la gran superficie proporcionada por el lecho de arena y grava y a la velocidad del flujo lenta que en este se genera, facilitando los procesos de sedimentación, floculación y adsorción.

- **Materia Orgánica. (MO)**

Los componentes orgánicos son, en su mayor parte, degradados aeróbicamente. La disponibilidad del oxígeno requerido para la degradación aeróbica es suministrado directamente por la atmósfera hacia las plantas, pasando el oxígeno requerido al substrato, suministrándolo a las bacterias a través de canales de aireación, degradando de esta manera la materia orgánica aeróbicamente. “En las zonas más alejadas de las raíces y rizomas se puede originar un déficit de oxígeno, produciéndose entonces un tratamiento de la materia orgánica de tipo anaerobio. Algunos compuestos orgánicos de difícil degradación como los fenoles, pueden ser también absorbidos por las raíces de algunas plantas.”<sup>18</sup>

- **Nitrógeno. (N)**

Los compuestos de nitrógeno se encuentran entre los contaminantes principales a remover de las aguas residuales por su rol en la eutrofización, su efecto en el contenido de oxígeno del agua y su toxicidad para vertebrados e invertebrados acuáticos”<sup>19</sup>

El nitrógeno orgánico y amoniacal son las formas principales presentes en el agua residual. La eliminación de nitrógeno orgánico se realiza principalmente en la remoción de sólidos en suspensión, pues hace parte de la materia orgánica del agua residual. En el proceso de remoción biológica se tiene en cuenta el la nitrificación y desnitrificación del ciclo del nitrógeno. “El amoníaco es oxidado a nitrato por las bacterias nitrificantes en las zonas aerobias. El nitrato es convertido en nitrógeno gaseoso por las bacterias denitrificantes en las zonas anóxicas”<sup>20</sup>. El

---

<sup>17</sup> Ibid., p. 70

<sup>18</sup> TCHOBANOGLOUS G. Aquatic Plants Systems for Waste water Treatment. En gineering Consideration. In Aquatic Plants for Water Treatmen and Resource Recavery, K.R Reddy and W.H Smith. Orlando, Florida: Magndia Pub. Inc, 1987. p. 152

<sup>19</sup> Ibid, p. 160

<sup>20</sup> REDDY K. R ABD E.M. D'ANGELO. Soil processes regulating water quality in wetlands Estados Unidos, 1994. p. 86



oxígeno requerido para la nitrificación es proporcionado por la atmósfera a través de los canales de aireación de las raíces de las plantas ( $>1$  mg/l). Fósforo (P)

El fósforo en el agua residual puede presentarse como orto fosfato, polis fosfato y fósforo orgánico. El fósforo esta en forma de partículas que pueden depositarse por sedimentación en el fondo del humedal o adherirse a la superficie de las plantas, los fosfatos solubles pueden formar precipitados insolubles de hierro, calcio y aluminio, o ser adsorbidos por las arcillas, materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos. “Las condiciones básicas favorecen la formación de fosfatos de calcio insolubles; en condiciones ácidas pueden ocurrir precipitaciones de hierro y aluminio.”<sup>21</sup>. La vegetación contribuye con las extracciones de fósforo, siempre y cuando la biomasa se retire del sistema.

- Patógenos

El principal parámetro para determinar patógenos es el indicador de coliformes fecales, que en los influentes de los humedales oscila entre 0.8 y 7.0 colonias/100 ml, estos pueden ser removidos por los procedimientos asociados con la remoción de sólidos, El remanente entra en competencia con los otros organismos no patógenos y generalmente no sobreviven por falta de aceptación ambiental del medio, o por efecto de la luz ultravioleta.

#### 1.1.6 Parámetros de diseño

Para el diseño de humedales se han publicado diferentes trabajos desde 1980. Los más recientes, hechos a mediados y finales de la década de 1990, pero las observaciones realizadas por naturalistas, ecólogos y otros investigadores sobre la capacidad depuradora de los humedales naturales, incentivó el desarrollo de los sistemas de depuración basados en humedales artificiales desde los años “50” y “60” del siglo XX. “El primer experimento realizado con humedales construidos se llevó a cabo en Alemania en 1952, en el instituto Max Planck. Luego de 20 años de investigación fue posible operar el primer humedal construido a escala real para el tratamiento de aguas residuales urbanas”<sup>22</sup>. Después de esta fecha y debido al auge que se ha generado en torno a estos sistemas de depuración se ha difundido ampliamente su uso por varias regiones del mundo.

Desde aquella época, los estudios realizados se han compilado principalmente en libros de texto que presentan modelos en el diseño de humedales como: Reed, et al 1997, Kadlec & Knight 1996, Crites & Tchobanoglous, 1998. En la mayoría, los modelos se basan principalmente en el modelo básico de flujo tipo pistón.

Los parámetros de diseño presentes en la literatura se relacionan con estudios realizados en lugares de clima frío y templado. Aunque Cuba, ha implementado

<sup>21</sup> GONZÁLES, J, Fernandez, Op. Cit. p. 70

<sup>22</sup> KADLEC Y KNIGHT. Treatment Wetlands. Florida: CRC Press, 1996. p. 893



este tipo de tecnologías alternativas con excelentes resultados, no tienen parámetros definidos en simples formulas, para el clima tropical.

Los parámetros de diseño para los humedales artificiales se describen en el Anexo A.

## 1.2 SISTEMAS SOLARES ACUATICOS (SAS)

Los sistemas solares acuáticos o SAS, por sus siglas en Ingles *Solar Acuatic Sistem*, son sistemas de tratamiento de aguas residuales que permite el vertimiento de aguas residuales de manera sostenible. Es un sistema canadiense<sup>23</sup> que se denomina también como sistema ecotecnológico

Operando bajo condiciones controladas, el SAS desarrolla un proceso de purificador natural que imita los procesos de humedales artificiales ya que utiliza el crecimiento de bacterias, algas, plantas y animales acuáticos para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como domésticos.

El agua residual fluye a través de una serie de tanques translucidos con aireación, que forman el lodo biológico y metaboliza los contaminantes en el agua, con ayuda de los microorganismos presentes en las raíces de las plantas y en la superficie de los tanques.

El resultado es un sistema ecológico controlado que aumenta al máximo la degradación biológica de contaminantes. El ecosistema que se desarrolla proporciona el más alto nivel de biodiversidad comparado con otros sistemas de tratamiento biológico; trata un rango mas ancho de contaminantes, y proporciona un sistema más estable y elástico adaptado a los cambios o características del afluente.

El sistema SAS tiene 4 partes principales para su proceso: 1. Mezcla e igualación del flujo, 2. Tanques translucidos para el proceso biológico aerobio, nitrificación y remoción de contaminantes, 3. Flujo de Humedales subsuperficiales como tratamiento para la desnitrificación, 4. Tratamiento de sólidos por *compost* en la cosecha de plantas. Además de acelerar los proceso de remoción de contaminantes por parte de las plantas gracias a un invernadero. Las algas, plantas bacterias, y otros microorganismos, así como caracoles y otros animales acuáticos constituyen una cadena alimenticia del ecosistema involucrados en la purificación natural del humedal artificial.

---

<sup>23</sup> ECOTEC. Solar Acuatic Advenced Ecological tertiary Treatment plant for a new corporate campus. [en línea] Canadá,[citado octubre 10 del 2006] Disponible en <[www.ene.gov.on.ca](http://www.ene.gov.on.ca)>



El proceso de atamamiento ocurre en 4 etapas.

1. Aireación y reducción de materia orgánica.

Se difunde aire en los humedales, donde se crea un proceso natural de producción de bacterias que con la presencia de aire rompe los compuestos orgánicos. El proceso también degrada grasas, almidones y proteínas en los compuestos que pueden ser utilizados por otros microorganismos.

2. El Ion Nitrógeno.

La remoción de fósforo y nitrificación bacterial, algas y plantas mas altas empiezan a metabolizar los nutrientes. El Amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) es convertido en nitratos. Los nitratos y el amoniaco soluble se metabolizan, los ortofosfatos asimilados directamente por las algas verdes y las plantas. Los caracoles zooplancton y otros empiezan el proceso de digestión de lodo.

3. El reducción de nutrientes y de sólidos suspendidos.

Las plantas presentes en la superficie extienden sus raíces bajo la columna de agua tomando los nutrientes necesarios para su desarrollo, generando flor y hojas. Las poblaciones muy grandes del zooplancton habitan el área de la superficie extensa de la raíz donde el agua es filtrada y remueve gran cantidad de sólidos.

4. Reducción de Patógenos.

Después que el agua es tratada en los tanques, pasa a través de unos filtros, donde los sólidos son retenidos en un medio de arena y grava, donde se reduce el nitrógeno y ciertos patógenos. Para mejorar estas características se coloca de manera opcional una luz ultravioleta en la salida del efluente.



## 2 TRATAMIENTO AEROBIO CON LODOS ACTIVADOS.

El proceso de lodos activados está relacionado directamente con los procesos de remoción biológica. Sus características de depuración eficiente de la concentración de los compuestos orgánicos con microorganismos lo denominan como un tratamiento convencional muy efectivo especialmente para pequeñas poblaciones. Es de aclarar que este proceso necesita de diferentes elementos externos como energía y aire, entre otros los cuales no lo clasifican como una ecotecnología

### 2.1 GENERALIDADES

“El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos; tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, a la cual debe su nombre de activado.”<sup>24</sup> Es el íntimo contacto del agua residual con una masa biológica preformada y en suspensión, en un tanque donde se suministra oxígeno a partir de burbujas de aire. “Esta biomasa está constituida por un cultivo mixto de microorganismos que forma, junto con otras sustancias orgánicas e inorgánicas un conglomerado floculento”<sup>25</sup>.

Cuando se ha utilizado la capacidad de almacenamiento total del lodo, el lodo deja de ser activado en el sentido adsorbido. Es necesario una etapa de separación sólido – líquido, por medio de sedimentación. Después de esta etapa se recircula el sólido mezclándolo con el agua residual entrante. La actividad se recupera solamente después de un periodo de aireación durante el cual el material orgánico se emplea en oxidación y síntesis. Debida a la actividad de los microorganismos da lugar a: la formación de productos finales oxidados,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  y la síntesis de nuevos microorganismos de la biomasa. Oxidación del amoníaco a nitrato por los organismos nitrificantes. Oxidación de la biomasa obteniendo como producto final  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y fósforo.

“Este proceso de aireación, con el propósito de restablecer la actividad y estimular la capacidad adsorptiva, se conoce como estabilización de lodo”<sup>26</sup>. Para el control y diseño de los lodos activados se tiene en cuenta la relación de Alimento/ microorganismo (F/M), el tiempo de retención y temperatura en los tanques de aireación.

<sup>24</sup> ROMERO Rojas Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002 .p. 421

<sup>25</sup> MENÉNDEZ, Carlos. Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. La Habana Cuba: CUJAE Centro de Investigación de Procesos Instituto Superior Politécnico José Antonio Echavarría, 2003. p. 153

<sup>26</sup> Ibid., p. 153





## 2.2 TIPOS DE PROCESOS.

En la utilización de lodos activados para pequeñas comunidades se diseñan con un régimen del flujo a pistón (continuo) o de mezcla completa (amortiguando las variaciones de las concentraciones a la entrada del proceso por medio de un tanque de igualación).

Estos sistemas pueden clasificarse por los tipos de aireación y la eficiencia de la remoción de contaminantes, entre estos se destacan. El convencional, aireación gradual, aireación escalonada y estabilización por contacto.

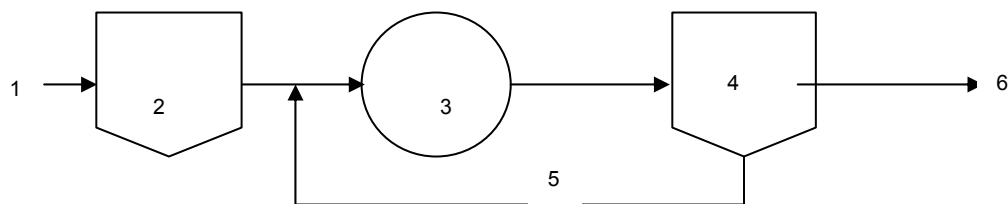
### 2.2.1 Convencional.

Consiste en un tanque de aireación, un clarificador secundario y una línea de retorno del fango. El proceso que ocurre en un sistema convencional que tiene cuatro etapas:

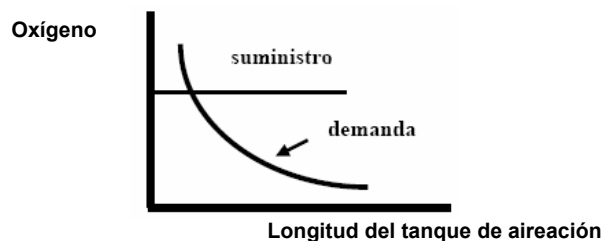
- Sedimentación primaria para la remoción de las sustancias orgánicas y sólidos inorgánicos sedimentables cuando están presentes en el agua residual.
- Aeración de la mezcla de agua residual y biomasa activa (licor mezclado)
- Separación del lodo por sedimentación
- Recirculación nuevamente a la etapa de aeración de una fracción del lodo separado en la tercera etapa.

En la Figura 7 se muestra un esquema de un proceso de lodos activados típico para el tratamiento de aguas residuales.

**Figura7:** Proceso de lodos activados Convencional. 1:Afluente. 2: Sedimentador primario. 3: Tanque de aireación. 4: Sedimentador secundario. 5: Recirculación de lodos activados. 6:Efluente



**Figura 8:** (Relación demanda suministro de oxígeno). Flujo de pistón



Fuente: Menéndez 2003

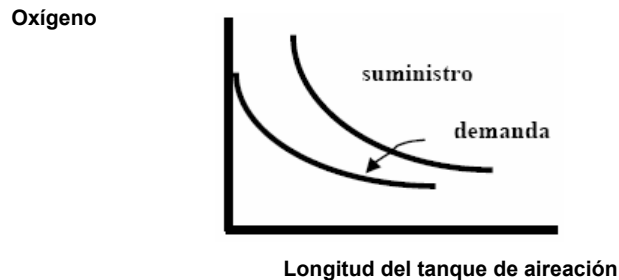


La Figura 8 explica el suministro continuo de oxígeno; a medida que el tanque de aireación es más largo, el suministro de oxígeno sigue siendo el mismo; mientras el agua pasa por el tanque la demanda de oxígeno disminuye.

### 2.2.2 Aireación gradual.

“El objetivo de la aireación gradual es acomodar la cantidad de aire suministrada a la demanda de los microorganismos, conforme el líquido atraviesa el tanque de aireación”<sup>27</sup>. Como se muestra en la Figura 9, el agua residual entra al tanque de aireación; el proceso requiere mayor demanda de oxígeno debido a presencia de sólidos y microorganismos nuevos que entran en contacto. A medida que transcurre el líquido mezclado, atraviesa el tanque, se reduce la demanda de oxígeno, dando lugar a la síntesis de nuevas células, aumentando el número de microorganismos y disminuyendo la concentración de alimento disponible.

**Figura 9:** (Relación demanda-suministro de oxígeno). Aireación gradual



Fuente: Menéndez 2003

### 2.2.3 Aireación escalonada.

En este sistema el aire se distribuye normal en todo el sistema, pero el agua residual es introducida en diferentes puntos, como se ve en las Figuras 10 y 11. El objetivo es distribuir de forma uniforme la carga orgánica igualando la relación alimento/ microorganismo en todo el tanque. De esta forma se reduce la demanda de oxígeno requerido en todo el tanque.

“Este proceso se opera de acuerdo con un régimen hidráulico de flujo a pistón y el sistema de aireación es a base de difusores. De esta manera se logra una eficiencia de remoción entre 85 y 95 %”.<sup>28</sup>

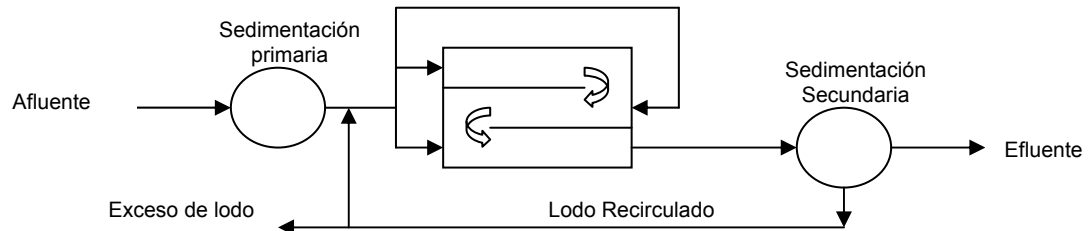
<sup>27</sup> METCALF & EDDY. Op Cit . p. 534.

<sup>28</sup> MENÉNDEZ Op. Cit, p. 158



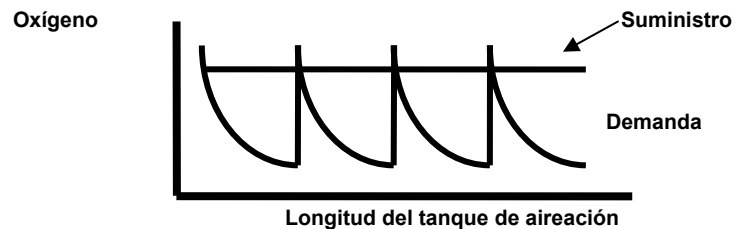


**Figura 10** Esquema del proceso convencional con aireación escalonada



Fuente: Romero Rojas Jairo, 2001

**Figura 11**(Relación demanda-suministro de oxígeno). Aireación escalonada.



Fuente: Menéndez 2003

#### 2.2.4 Estabilización por contacto.

En este caso hay que resaltar las características de absorción y adsorción del lodo activo. El proceso es aplicable cuando hay una gran porción de DBO de forma suspendida o coloidal y se realiza en dos fases.

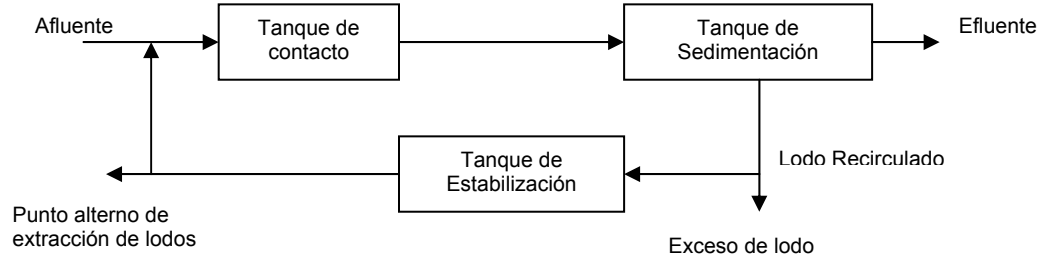
La primera es la de absorción donde los lodos son recirculados a un tanque aireado denominado tanque de contacto, los componentes orgánicos son adsorbidos por el floc biológico y no existe actividad metabólica sino remoción por adsorción y absorción. Después el lodo es separado por sedimentación y el lodo recirculado, es aireado, por (3) tres o (6) seis horas en el tanque de estabilización. Durante este periodo el material orgánico adsorbido se utiliza para producir nuevas células y energía, renovando las superficies activas del lodo para posterior adsorción.

“El proceso permite reducir la capacidad del tanque de aireación convencional en más o menos 50% y se ha demostrado que opera bien con aguas residuales domésticas.”<sup>29</sup>

<sup>29</sup> ROMERO Op. Cit., p. 440



**Figura 12** Esquema del proceso de estabilización por contacto



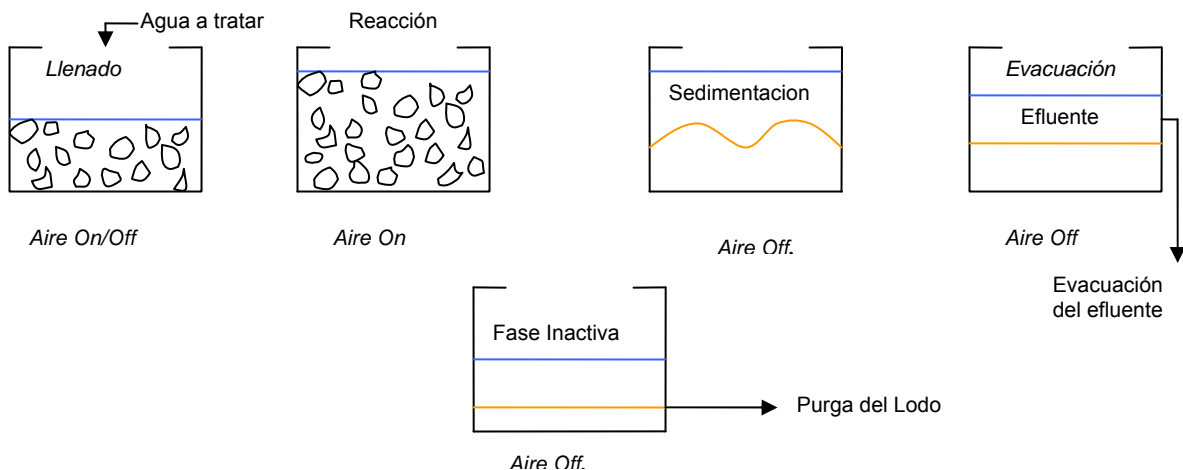
Fuente: Menéndez 2003

### 2.2.5 Reactor discontinuo secuencial.

Un reactor discontinuo secuencial (SBR) *Sequenced Batch Reactor* es un sistema de tratamiento de lodos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado; los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de lodos activados, en ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación-clarificación. No obstante, existen entre ambos una importante diferencia. En las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los SBR, los procesos tienen lugar secuencialmente en el mismo tanque.

Son 5 etapas que tienen lugar de forma secuencial como se muestran en la Figura13: (1) llenado; (2) reacción (aireación); (3) sedimentación (clarificación); (4) extracción (vaciado por decantación), y (5) fase inactiva.

**Figura 13** Pasos del sistema SBR



Fuente: Metcalf and Eddy, 1995

**Llenado:** adición del agua residual al reactor. Esta fase permite que el nivel del líquido en el depósito ascienda desde cerca del 25 % de la capacidad (al final de la fase inactiva) hasta el 100% de su capacidad.



**Reacción:** El propósito de esta fase es que se completen las reacciones iniciadas durante la fase de llenado

**Sedimentación:** El objetivo de esta fase es permitir la separación de sólidos, para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente.

**Vaciado:** El propósito es la extracción del agua clarificada del reactor. Actualmente se emplean muchos métodos de decantación, siendo los más empleados los vertederos flotantes o ajustables.

Para la purga del lodo no existe un momento determinado dedicado a su eliminación; la cantidad de lodo que hay que purgar y la frecuencia con que se debe efectuar se determina según las necesidades dictadas por los rendimientos; esta suele realizarse en la fase de sedimentación o inactividad. Una característica única del SBR es que no es necesario disponer de un retorno de lodos activados. Debido a que tanto la aireación como la decantación tienen lugar en el mismo tanque, no se pierde lodo alguno en la fase de reacción, y no es necesario recircular parte del lodo de la sedimentación para mantener constante el nivel de lodos en el tanque.

#### 2.2.6 Papel de las Bacterias.

“Las bacterias son los microorganismos más importantes en este proceso, por su función de estabilizar el material orgánico y en la formación del floc del lodo activado. Entre los más frecuentes se encuentran: *Alcalingenes*, *Bacillus* y *Pseudomonas*, bacterias Nitrificantes como los *Nitrosomas* y *Nitrobacterias* y la *Zooglea* considerada como el organismo principal en la formación del floc biológico.”<sup>30</sup>

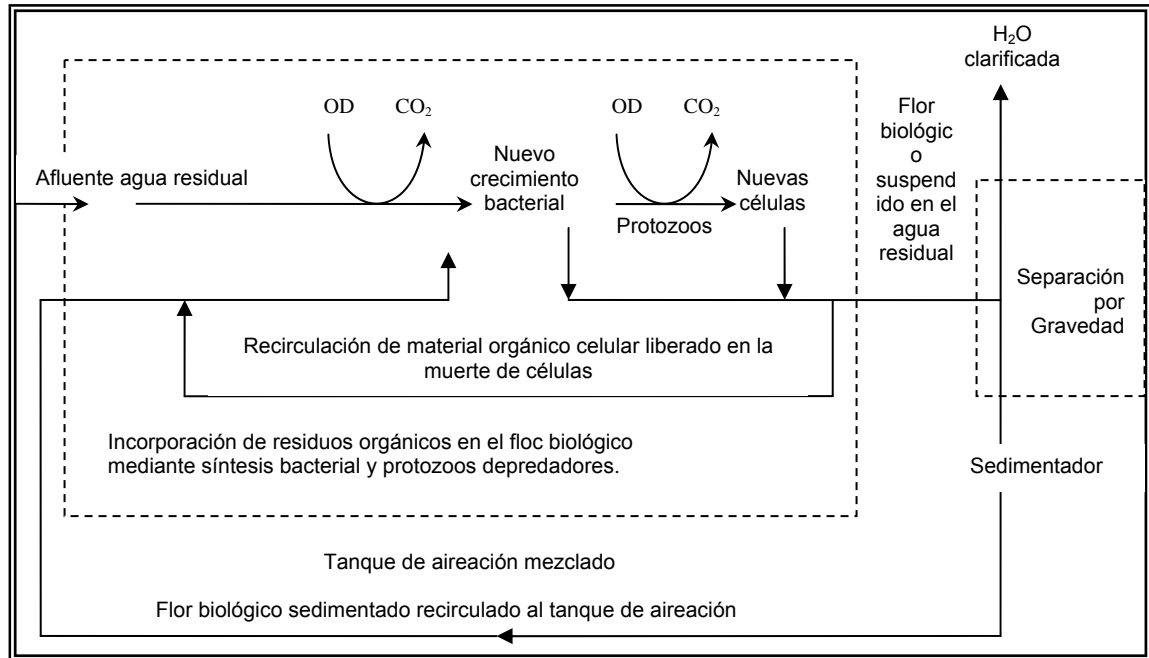
En los lodos activados se presenta el vínculo presa predador en la relación que existe entre bacterias y protozoos. El papel de las bacterias es descomponer, por oxidación, la materia orgánica y producen polisacáridos y otros polímeros extra celulares que facilitan la floculación. Los protozoos se alimentan de las bacterias que se mueven libremente, y así contribuyen a la clarificación del efluente del proceso de lodo activado, que de otra forma tendría una concentración más elevada de sólidos volátiles en suspensión.

---

<sup>30</sup>ROMERO Op. Cit., p. 422



**Figura 14** Esquema del proceso de lodos activados.



Fuente: Romero Rojas Jairo, 2001

En general el proceso de lodos activados funciona como se muestra en la Figura 14; las aguas residuales sin tratamiento pasan por el tanque de aireación con un contenido de materia orgánica y DBO como suministro de alimento. Las bacterias metabolizan los residuos produciendo nuevas bacterias, utilizando oxígeno disuelto y liberando dióxido de carbono. Los protozoos consumen bacterias para obtener energía y reproducirse. Una parte del crecimiento bacteriano muere, liberando su contenido celular en la solución para una nueva síntesis en células microbianas. La mezcla de aguas residuales con floc biológico es separada por medio de un sedimentador, se recircula el floc sedimentado continuamente al tanque de aireación y se descarga el efluente clarificado.

### 2.2.7 Aireación.

La aireación es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. En los lodos activados tienen como propósito:

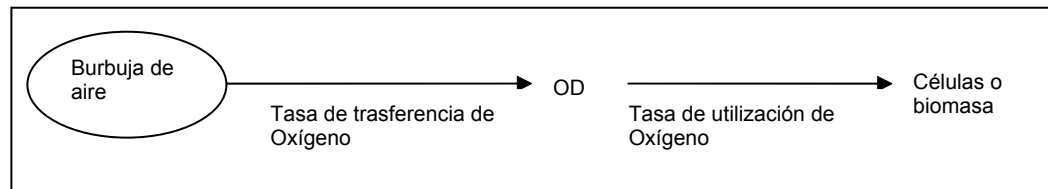
- Suministrar oxígeno a las células
- Mantener la célula en suspensión
- Mantener en contacto íntimo el residuo con los lodos activados.



Los procesos de lodos activados, requieren concentraciones de Oxígeno disuelto generalmente de 0,2 a 2,0 mg/l, con el fin de asegurar el suministro apropiado de oxígeno para el consumo de los microorganismos y mantener un contacto íntimo entre el residuo y el lodo activado y hacer que el proceso funcione, así como también que los sólidos estén en suspensión y no permitir asentamiento en el tanque de aireación.

La transferencia de oxígeno ocurre en dos etapas que se muestran en la Figura 15

**Figura 15** Esquema de transferencia de oxígeno



Fuente: Romero Rojas Jairo, 2001

Las burbujas de aire se crean, por medio de difusores, (aireación producida en el licor mediante aire que pasa a través de un difusor) o un aireador mecánico (introduciendo aire en el licor por medio de turbulencia creada por la acción de un equipo mecánico).

#### 2.2.8 Parámetros de diseño.

“El Proceso de lodos activados fue desarrollado en Inglaterra, en 1914, por Arden y Lockett”.<sup>31</sup> Los trabajos más recientes han sido compilados en textos como Metcalf & Eddy, Inc. (1.985). Ingeniería Sanitaria. Editorial Labor, S.A. Los parámetros de diseños presentados a continuación citan en especial al libro realizado por el ingeniero Carlos Menéndez (Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales, Centro de Investigación de Procesos, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría; La Habana, Cuba)

Se debe aclarar además, que los parámetros de diseño que aparecen en la literatura corresponden a estudios realizados en países con clima templado y frío, sin embargo muchos de ellos son corregidos por altitud y temperatura.

Entre los principales parámetros de diseño se encuentran: Tiempo de retención hidráulica, Carga orgánica, Razón de carga volumétrica, Carga del Lodo y edad del lodo, los cuales se describen en el Anexo B

<sup>31</sup> ROMERO Op. Cit., p. 421



### 3 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LA HABANA

Cuba es la isla de mayor extensión de las Antillas Mayores, está situada en el Mar Caribe al sur de Florida, al norte de Jamaica, al este de la península de Yucatán y al oeste de las Bahamas y de La Española.

La isla se extiende a lo largo de unos 1.200 km desde el cabo de San Antonio (en la provincia de Pinar del Río), al oeste, hasta la punta de Maisí (en la provincia de Guantánamo), en su extremo oriental, y tiene una anchura que varía entre los 32 y 210 kilómetros. Cuenta con unos 4.000 km de costas, y su forma alargada y estrecha ha sido comparada con la figura de un caimán.

“El país está dividido en 14 provincias, 168 municipios y un Municipio Especial que es la Isla de la Juventud.”<sup>32</sup>

Problemas ambientales como la escasez y contaminación hídrica, contaminación, erosión y desertización de los suelos, extinción de especies, contaminación atmosférica sumada al calentamiento global, la pérdida de la capa de ozono y el paulatino deterioro del medio marino, son inconvenientes ambientales con tendencia a empeorar, presentes no solo en Cuba si no en general en América latina y el mundo.

“La globalización de la economía asociada a modelos de desarrollo basados en las leyes del capital y en valores éticos que justifican el deterioro de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad, así como la injusta distribución de las riquezas y por consiguiente el aumento de la pobreza, está intrínsecamente vinculada a procesos de homogenización cultural, orientados a exportar los patrones insostenibles de consumo que caracterizan a las sociedades económicamente desarrolladas y que son elementos con sustantivos de la problemática ambiental”<sup>33</sup>.

A partir de 1990, producto de la caída del campo socialista unido al recrudecimiento del bloqueo norteamericano, Cuba enfrenta un serio problema debido a la falta de recursos materiales, originando preocupantes afecciones en los sectores económicos y sociales, donde la problemática ambiental no fue ajena a esta situación. Esta época fue denominada de “periodo especial” ya que fue una de las mas duras crisis de su historia.

<sup>32</sup> EDITUR. Cuba tierra de emociones inolvidables En: Folleto informativo guía turística. Cuba: Editur, 1999. p. 12

<sup>33</sup> GONZÁLES Díaz, Orestes. Trabajo de investigación Sociológico, Gran parque metropolitano de la Habana. Cuba: CUJAE Facultad de Hidráulica, 2003. p. 4



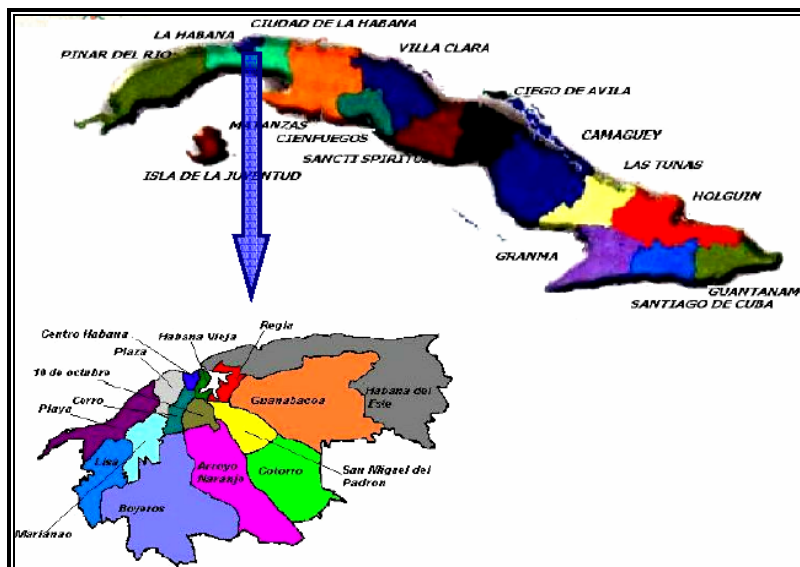
“Cuba tiene una población estimada de más de 11,25 millones de habitantes de las cuales el 24.7 % (2.784.000 hab.) se encuentra concentrada en zonas rurales y el resto (75.3 %) en zonas urbanas y periurbanas”<sup>34</sup>

“Sólo el 9,8% (273.020 habitantes) de la población rural tiene cobertura de alcantarillado, el 74.8% (2.083.590 hab.) dispone sus residuos en fosas sépticas o letrinas ventiladas. El 42.6% (1.187.450 hab.) tiene servicio de agua potable intradomiciliaria y el 30.2% (840.480 hab.) es abastecido por carros cisternas”<sup>35</sup>; según estos datos del 2003, Cuba hace enormes esfuerzos dentro de su severa situación económica por preservar y mejorar las condiciones de su privilegiado entorno.

### 3.1 CIUDAD DE LA HABANA

“La Ciudad de La Habana está situada en la costa noroccidental de la isla de Cuba, su clima tropical y húmedo es suavizado durante casi todo el año por los vientos alisios del nordeste, siendo la temperatura media anual de 25°C y el promedio histórico de humedad relativa del 79 %, lo que refleja la fuerte influencia marítima en su clima.”<sup>36</sup>

**Figura16** Ubicación de Ciudad de la Habana Cuba: 15 municipios y 105 consejos populares.



*Fuente: Gestión ambiental en Ciudad de la Habana. Taller de manejo ambiental de bahías y zonas costeras del Gran Caribe. Octubre 2006*

<sup>34</sup> GONZÁLES Díaz, Orestes. Op. Cit., p. 5

<sup>35</sup> Ibid, p. 5

<sup>36</sup> THE INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CEBTER. Informe Técnico de la República de Cuba, Mexico: Encuentro Internacional de la Ciudad de México Sobre Participación Social en la Gestión del Medio Ambiente Urbano [en línea] Cuba. [citado abril 2 del 2007] Disponible en < [http://www.idrc.ca/en/ev-23852-201-1-DO\\_TOPIC](http://www.idrc.ca/en/ev-23852-201-1-DO_TOPIC)>



La precipitación promedio anual en La Habana es de 1.400 mm, estando bien definidos dos períodos, el de lluvia (mayo a octubre) y el seco (de noviembre a abril).

La Habana tiene una población de aproximadamente 2.200.000 habitantes y 1.000.000 de población flotante, ocupando una superficie territorial de 727 km<sup>2</sup>, que representa el 0,7% del país, con una densidad de población de 2.913,2 habitantes/km<sup>2</sup>. Es la provincia de mayor densidad poblacional del país, además concentra los principales centros de servicio, un gran número de Industrias y una fuerte actividad turística.

Los principales ecosistemas de la provincia son: las Playas del Este, la Bahía de La Habana y la Cuenca Almendares – Vento.

La Ciudad de la Habana no confronta los graves problemas de contaminación ambiental de otras grandes ciudades en el mundo, pero se producen daños y alteraciones del medio, entre los que se sitúan:

- Dificultades en el manejo de los residuos sólidos
- Contaminación atmosférica
- Deforestación
- Contaminación a cuerpos de agua.

A continuación se explica en cada uno de ellos.

### 3.1.1 Dificultades en el manejo de los residuos sólidos.

En la Ciudad de La Habana se generan diariamente de 1500 a 1800 toneladas de residuos que son manejadas en su totalidad por la Dirección de Servicios Comunes en la provincia y en los 15 municipios capitalinos, prestándose este servicio sin costo alguno para la población, asumiéndolos el estado cubano.

Debido a la falta de combustible y moto-recursos (piezas de repuesto para los motores) a partir de 1990, los sistemas de recolección desmejoraron poco a poco, generando mayor acumulación de residuos en los hogares. Además las empresas estatales abandonaron la construcción de edificios, dejando escombros y ruinas en márgenes de ríos y afluentes, produciendo un grave problema ambiental y sanitario. Es por esta razón que se resolvió la descentralización de la recolección de Residuos Sólidos Urbanos, disposición y tratamiento final, basado en la aplicación de vertederos a cielo abierto ubicados en la periferia de la Ciudad.

“Se vio en la necesidad de abrir 26 Vertederos que se llamaron de periodo especial y abrir nuevamente Cayo Cruz en 1992, con el objetivo de disminuir la distancia a recorrer desde los puntos de generación hasta el lugar de disposición





final de los Residuos Sólidos Urbanos y así poder implementar la recogida de los residuos mediante la tracción animal”<sup>37</sup>

La grave problemática sanitaria por el acopio de residuos sólidos, ha llegado hoy por hoy a problemas por focos de ratas y propagación de mosquitos, como el *Aedes aegypti*, (mosquito trasmisor del dengue) al cual se está haciendo ofensiva sanitaria con fumigaciones cada siete (7) días en todos los hogares de la Habana. El problema radica en la falta de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, añadido a los problemas económicos actuales.

Actualmente los vehículos recogen los residuos, y al día siguiente se encuentran acumulados escombros y desechos de todo tipo en el mismo lugar. En muchos casos los residuos clínicos peligrosos procedentes de los servicios de salud (hospitales, clínicas y otros) son manipulados conjuntamente con el resto de los residuos domésticos con un alto nivel de riesgo

“Alrededor de 1,6 millones de metros cúbicos de desechos sólidos fueron recogidos en las calles de la capital cubana, en una campaña contra el *Aedes aegypti*, el mosquito trasmisor del dengue”<sup>38</sup>.

**Figura 17 y 18:** Acumulación de residuos. Consejo Popular, Pogolotti–Finlay, Reparto Carlos J Finlay, calle 90 y Final.



Fuente: Autor, 2006

<sup>37</sup> UNIVERSITÉ DE LIÈGE [en línea] Cuba [citado abril 3 del 2007] Disponible en: <[www.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Cuba/Cuba.ht](http://www.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Cuba/Cuba.ht)>

<sup>38</sup> AMBIENTAL. Diario Tierra América [en línea] Cuba [citado abril 10 de 2007] Disponible en <<http://www.tierramerica.net>>



**Figura 19:** Arroyo donde los residentes depositan los residuos



*Fuente: Autor, 2006*

Un ejemplo claro del manejo de residuos sólidos se presenta en el consejo popular de Pogolotti–Finlay, Reparto Carlos J Finlay, barrio ubicado al noreste de la ciudad de la Habana, donde los residuos son acumulados durante días en márgenes de un arroyo. ( ver Figuras 17, 18 y 19)

“Actualmente, existen en la Capital: 3 Vertederos Provinciales, dos (2) Oficiales Municipales y diez (10) de período especial”<sup>39</sup>, entre los principales problemas se pueden destacar los siguientes:

- La mayoría de los vertederos no tienen ningún tipo de control ni medida sanitaria, además de tener muchos años de explotación
- No cuentan con los medios técnicos necesarios (báscula, garita de control, vehículos para compactación, etc.) para establecer un control eficiente de los residuos sólidos que se vierten en sus áreas.
- Las instalaciones socio-administrativas de los Vertederos son inadecuadas
- Actualmente para disminuir el acopio, son incinerados los residuos generando problemas atmosféricos, y continuos incendios

Las Figuras 20 y 21 muestran las condiciones en que se encuentra el vertedero Calle 100 uno de los más importantes de la capital, ubicado en el municipio de Marianao con 104 hectáreas de extensión.

<sup>39</sup> UNIVERSITÉ DE LIÈGE Op Cit [citado abril 3 de 2007]



**Figuras 20 v 21: Vertedero calle 100**



**Fuente:** [www.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Cuba/CuHavane.htm](http://www.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Cuba/CuHavane.htm), 2003

### 3.1.2 Contaminación Atmosférica.

“Más de 100 millones de personas en América Latina y el Caribe están expuestas a niveles de contaminantes del aire en exteriores que exceden los valores guía recomendados.”<sup>40</sup>

En el caso de Cuba la contaminación del aire tiene sus causas en las deficiencias de algunos aspectos relacionados con la planificación territorial de los asentamientos humanos, la industria, la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y otras fuentes como el transporte automotor.

La Habana por ser la capital y el sector industrial mas importante, tiene mayores problemas de contaminación atmosférica en comparación con otras regiones del país; pero debido a la posición geográfica de la ciudad, donde predominan las zonas llanas y pequeñas ondulaciones, se evita una prolongada concentración de contaminantes atmosféricos sobre su territorio.

No obstante, con la entrada de los frentes fríos, el clima Tropical Húmedo de Sabana, el Tiempo cálido, soleado y húmedo, sus características urbanísticas y la ubicación de industrias que emiten contaminantes a la atmósfera, se ha encontrado concentraciones relativamente altas en algunos puntos de la ciudad.

La demanda de diesel en el sector industrial y el aumento del consumo de la gasolina en los últimos años por la reactivación del transporte, han hecho que aumenten los niveles de opacidad y emisiones a la atmósfera. Esto representa simultáneamente mayor gasto de energía y por consiguiente, un aumento de

<sup>40</sup>MARCELO E. Corp.. Calidad del aire y su impacto en la salud en América Latina y el Caribe. CEPIS, 2000. p. 17



contaminantes con respecto al Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno y la emisión de partículas.

“Los problemas fundamentales se originan en las zonas industriales, en aquellas instalaciones que aún cuentan con viejas tecnologías y que independientemente de los esfuerzos y la exigencia sanitaria por lograr tecnologías limpias, los niveles de determinados indicadores sobrepasan las concentraciones máximas admisibles fundamentalmente en Dióxido de Azufre y Partículas en determinadas horas del día y en condiciones meteorológicas desfavorables.”<sup>41</sup>

En la Figura 22 se muestran las principales ciudades que presentan categorías de extremo muy alto y alto de contaminación atmosférica. Destacando la ciudad de la Habana como una de las más contaminantes de la Isla.

**Figura 22:** Nivel de contaminación atmosférica de algunas ciudades de Cuba



*Fuente: Situación Ambiental Cubana. 2004*

“No obstante, no existe motivo grave de preocupación por la calidad del aire que respira la población, al menos en la zona de influencia de la ciudad por la situación industrial antes mencionada; no se han detectado niveles alarmantes que se aproximen a los calificados como de emergencia de acuerdo a las normas vigentes.”<sup>42</sup>

Uno de los principales problemas actuales, es la inexistencia de posibilidades reales para la evaluación y control sistemático. A partir de los años 90 la información disponible de emisiones y monitoreo ambiental resulta insuficiente, de

<sup>41</sup> INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, EPIDEMIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA. Calidad del Aire en Cuba En: Revista Cubana Higiene y Epidemiología Vol.44 No.2 Ciudad de la Habana . 2006- p. 16

<sup>42</sup>Ibid., p. 16





difícil obtención y poco confiable para la construcción de indicadores efectivos, por falta de equipamiento, pero Cuba confronta estos datos realizando estudios epidemiológicos analíticos, evaluaciones de riesgo y de impacto, para el control del sistema de vigilancia.

### 3.1.3 Deforestación.

Durante muchos años la industria azucarera fue una de las principales entradas económicas de Cuba, siendo una de las causas fundamentales de la deforestación, conjuntamente con las industrias tabacaleras y el consumo urbano de madera y combustible. En la Habana además de la explotación de suelos por parte de estas industrias, la expansión y crecimiento poblacional, condujo a la construcción, desarrollo de edificaciones y el uso de terrenos para cultivos urbanos empujando a la tala y reducción de espacios verdes en la ciudad.

“Durante el período republicano (1902-1958) el factor azucarero continuó siendo la principal causa de la ruina y degradación de los bosques, extendida hacia el centro y el oriente del país, y provocada por la política intervencionista del gobierno norteamericano, que trazó como estrategia política y económica nuevas inversiones, en particular en esta industria. Como resultado fueron taladas y quemadas inmensas áreas de bosques, que dieron lugar a la instalación de grandes centrales, y que condicionaron que en 1958 la cubierta forestal fuera de un 13.4%.”<sup>43</sup>

Desde los inicios del triunfo de la Revolución en La Habana, se han ejecutado varias modalidades de forestación en diferentes etapas, un ejemplo es la creación y consolidación de un grupo de grandes parques de ciudad como el Parque Lenin, el Jardín Botánico Nacional, el Zoológico Nacional, Expocuba, el Parque Panamericano y el Parque Metropolitano, entre otras instituciones, han ido conformando un “pulmón” que posibilita mitigar algunas de las afectaciones ambientales como la pérdida de la biodiversidad, la erosión de los suelos y las afectaciones a las cuencas hidrográficas o la escasez de maderas

Al 2006 el 23,6 % del territorio cubano estaba cubierto por bosques, según datos del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. “Ahora el programa de Desarrollo Forestal cubano pretende elevar a 29,3 % del área cubierta de bosques en el 2015 y con este fin se destinaron tierras cañeras, ganaderas y cafetaleras liberadas de sus funciones luego de un proceso de reorganización agrícola y azucarero”<sup>44</sup>

<sup>43</sup> VALERO González, Mercedes. Simposio de historia Ambiental Americana. Ciencia y Política Forestal en Cuba en el siglo XX, Cuba: Museo Nacional de Historia de las Ciencias “Carlos j. Finlay”, 2003

<sup>44</sup> RODRÍGUEZ Cruz, Francisco. Órgano de la Central de Trabajadores de Cuba ¿Por qué Cuba es más verde? [en línea] 15 de noviembre [citado abril 12 del 2007] Disponible en: <<http://www.trabajadores.co.cu/>>



Aun así, observando las características de estos programas, no se ha podido amortizar la alta tasa de deforestación histórica, generando depresión de los principales acuíferos, la carencia y deterioro de las fuentes de abasto, así como un índice negativo de pluviosidad.

#### 3.1.4 Contaminación a Cuerpos de Agua.

“El potencial de recurso de agua en Cuba está estimado en 38.139 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales solo es aprovechable el 63 %, o sea 23.988 millones de m<sup>3</sup>. De esta última cifra, 74.9% son aguas superficiales y 25.1% restante son aguas subterráneas, con lo cual se puede afirmar que el agua en Cuba es un recurso escaso”<sup>45</sup>

En la Ciudad de la Habana, los servicios de agua potable dan cobertura al 98% de la población garantizando un nivel equitativo del servicio y uso del recurso. Sin embargo, existen un número importante de asentamientos suburbanos que tienen graves problemas de saneamiento ambiental, centrados fundamentalmente en la deficiente captación, conducción y disposición de sus aguas residuales al no contar con sistemas de alcantarillado “La ciudad cuenta con una cobertura del sistema de alcantarillado de aproximadamente el 63%.”<sup>46</sup>, además de todas las industrias e instalaciones ubicadas dentro del área.

La Ciudad posee doce (12) ríos, caracterizados por una fuerte contaminación debido al vertimiento en ellos de residuales industriales y domésticos “La dotación promedio Cubana de agua es de 470 litros por persona día, este es vertido el 80 %, es decir que en promedio son vertidos 376 litros por persona diariamente.”\*. Los residuales generados descargan a los ríos, arroyos y zanjas sin recibir tratamiento, en la mayoría de los casos representa un problema de consideración ya que los niveles de tratamiento de estos son muy bajos; sólo 2 plantas de tratamiento con tecnología convencional en la ciudad, 3 emisarios submarinos y algunos sistemas de lagunaje de forma aislada, en total tratan sólo un bajo % de todo el volumen de residuales generado por esta gran ciudad.

Esta contaminación de ríos y acuíferos subterráneos producen un impacto ambiental negativo en las principales cuencas hidrográficas destacando en la Habana la cuenca Almendares - Vento que en su recorrido recibe las aguas de diferentes afluentes como son: Santoyo, Mordazo, Orengo, Marinero o Cotilla, Paila San Francisco, Limón, Jicotea, Chepalote, Pancho Simón y Guadiana. Recibe también los aportes de vertimientos del alcantarillado de aproximadamente 290.000 habitantes y de la mayoría de las industrias de la Habana.

<sup>45</sup> FONTOVA, Margarita y DÍAZ, Adolfo. Balance de recursos Hidráulicos en Cuba. Ciudad de la Habana Cuba: INRH Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos., 2000. p. 60

<sup>46</sup> GONZÁLES Díaz, Orestes, Op Cit, p. 15

\* Entrevista personal con funcionario de la empresa de aguas de la Habana, Enero 2007



El Río Almendares es de gran importancia para la capital ya que fue uno de los asentamientos iniciales de la Ciudad de la Habana. Es la arteria principal de la ciudad, pues allí estaba la más importante fuente de abastecimiento de agua para la población. “El Almendares fue, además, la principal vía de penetración hacia el interior de la campiña Habanera. Siguiendo su curso se establecieron haciendas, vegas, cortes de madera, ingenios, etc. En los primeros años de colonización, el río constituía un factor de progreso, y la historia de estos primitivos tiempos está estrechamente ligada al pequeño cauce fluvial”.<sup>47</sup>

Un inventario de los vertimientos desarrollados en la cuenca destacó las principales fuentes de contaminación:

- Fábrica de helados Coppelia: Vierte 18250 m<sup>3</sup>/año de desechos lácteos con un alto % de grasas no biodegradables, las cuales facilitan el desarrollo de condiciones eutróficas en el río.
- Cervecerías: Vierten 36500 m<sup>3</sup>/año de líquidos con altos contenidos de carbonatos, ácido nítrico, alcoholes, levaduras y demás sustancias en proceso de fermentación.
- Papeleras: Vierten 300 ton de desechos sólidos procedentes de su producción y de materias primas que no son recicladas, además de vertimientos de sustancias químicas utilizadas en el proceso productivo.
- Fábrica de gas manufacturado: Vierte 450000 m<sup>3</sup>/año de hidrocarburos, los cuales son sustancias con un alto poder oxidante y con una baja biodegradabilidad.
- Fábrica de neumáticos: Vierte 180 ton/año de desechos sólidos procedentes de su producción. Estas sustancias son en su mayoría no biodegradables.
- Fábrica de compotas: Vierte 7500 m<sup>3</sup>/año de sustancias con alto contenido de materia orgánica, ácido nítrico, glucosa, etc. Estas sustancias presentan una alta biodegradabilidad.
- Fábrica de Cal: Vierte 125000 m<sup>3</sup>/año de sustancias con altos contenidos de silicato tricálcico, aluminatos etc. Estas sustancias influyen negativamente en el pH del agua del río.
- Fábrica “Perdurit”: Vierte 740 t/año de desechos sólidos con altos contenidos de asbesto cemento y resinas epóxicas altamente contaminantes y no biodegradables<sup>48</sup>.

Estas industrias han sido seleccionadas por ser las más representativas desde el punto de vista del volumen de residual que vierten. Al río vierten un total aproximado de 38 industrias, con diferentes grados de tratamiento en sus

<sup>47</sup> ESTRATEGIA DE DESARROLLO Haciendo Camino al Andar. en Gran Parque Metropolitano de La Habana. No 3 2003 – 2006, p.3

<sup>48</sup> GONZÁLES, Díaz Orestes. Op. Cit, p. 12



efluentes, aunque se puede plantear que ninguna cumple con las normas para el vertimiento a cuerpos de agua receptores.

Un estudio realizado por el GPMH a lo largo de los últimos 9.5 kilómetros del río Almendares hasta su desembocadura, muestra las principales fabricas que vierten sus aguas residuales al río. (Ver el Anexo C)

Esta continua contaminación del río Almendares durante los años ha generado condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno disuelto) de las aguas del río en su curso medio inferior, produciendo desprendimiento de malos olores y la proliferación de vectores que molestan a la población además de ser focos potenciales de contaminación y enfermedades.

En los costados del río se desarrolla una agricultura semiurbana en la que se utiliza agua residual cruda para el riego de hortalizas y vegetales, los cuales se consumen en su mayoría crudos, siendo vendidos posteriormente a una buena parte de la población cercana. “Estos vegetales y hortalizas son transporte para huevos de helmintos, quistes de parásitos, protozoos (ameba histolítica), bacterias y virus, causantes de parasitismo endémico (amebiasis), enfermedades diarreicas, infecciones de la vista, la piel y virus varios. Estas enfermedades son contagiosas y pueden ser transmitidas por un portador (en muchos casos pasivo) mediante las heces o las secreciones mucosas”<sup>49</sup>.

Las aguas han perdido la calidad para la mayor parte de los usos sociales e industriales, de ahí la importancia que reviste el saneamiento del río Almendares el restablecimiento ecológico de su entorno y la salud de la población en general.

### **3.2 ESTRATEGIAS DE SANEAMIENTO**

Las dificultades precedentemente mostradas en la Ciudad de la Habana representan un grave problema para la salud, flora, fauna economía y en general atentan contra la protección del medio ambiente; es por esta razón que se toma en cuenta como principal estrategia, lograr que se apliquen los instrumentos legales que en materia de medio ambiente regulan y disponen.

En junio de 1997 en Cuba es aprobada por la Asamblea Nacional del Poder Popular la Ley # 81 del Medio Ambiente que deroga la Ley # 33 y el Decreto - Ley # 118 / 90. Esta ley consta de un total de 163 artículos, en la misma se plantean varios objetivos fundamentales, como el de promover la participación ciudadana en la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible, desarrollar la conciencia ciudadana en torno a los problemas del medio ambiente, integrando la educación, la divulgación y la información ambiental y propiciar el cuidado a la

---

<sup>49</sup>Ibid, p. 15





salud humana, la elevación de la calidad de vida y el mejoramiento del medio ambiente en general. También fue creado el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) en 1994, el cual dirige toda la política que sobre el medio ambiente se genera en el país.

La “Ley del Medio Ambiente tiene como objeto establecer los principios que rigen la política ambiental y las normas básicas para regular la gestión ambiental del Estado y las acciones de los ciudadanos y la sociedad en general, a fin de proteger el medio ambiente y contribuir a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible del país.”<sup>50</sup>

Son muchas las acciones que en Cuba y específicamente en Ciudad de la Habana se realizan como estrategia de saneamiento para minimizar y en algunos casos, resolver los principales problemas ambientales identificados. Entre estos se pueden destacar los siguientes:

### 3.2.1 Residuos Sólidos.

El manejo de los residuos sólidos, como se mencionaba anteriormente, es uno de los problemas más graves de la ciudad de la Habana, pero aun así se han implementado planes progresivos para minimizar esta situación.

Actualmente, en la ciudad se trabaja en el proyecto del Plan Director de Residuos Sólidos, por lo tanto, se requiere actualizar la caracterización y determinación de los niveles de formación de residuos:

- Se han incorporado contenedores y equipos especializados para la recolección y el tratamiento final, manteniéndose dificultades materiales, lo que motiva en ocasiones la presencia de micro vertederos en algunas vías.
- Se trabaja en un programa integral para disminuir y eliminar gradualmente los vertederos zonales y eliminación de micro vertederos.
- “Se montó una Planta de Reciclaje con capacidad para procesar 300 ton/día de Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.) que aunque no es suficiente aún, constituye el primer paso de un Programa ambicioso que servirá para alargar la vida útil de los Vertederos al disminuir la cantidad de desechos”<sup>51</sup>.
- “Se instaló una báscula en el Vertedero de Calle 100 que es el mayor de la ciudad (recibe el 60% de los R.S.U. de la ciudad)”<sup>52</sup>
- Se trabaja en la segregación de residuos peligrosos, y manejo adecuado de incineradores para su tratamiento final

Estos planes son complementados con trabajos de educación, divulgación e información como se nombra en la ley 81.

<sup>50</sup> LEY DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 81 República de Cuba, Asamblea Nacional Del Poder Popular. La Habana, 1997.

<sup>51</sup> UNIVERSITÉ DE LIÈGE Op Cit [citado abril 3 de 2007]

<sup>52</sup> Ibid



### 3.2.2 Recurso aire.

Aunque el problema de la contaminación de aire en Cuba, no es un problema preocupante, el gobierno cubano ha creado el Sistema Nacional de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica (SINVCA). “Este desarrolla en todas las provincias y comprende actividades de encuestas de fuentes de contaminantes de la atmósfera, vigilancia y control a través de la REDAIRECUBA, que cuenta con 32 estaciones distribuidas en las principales ciudades y regiones priorizadas”.

Este trabajo también se lleva a cabo con el fin de dar cumplimiento con las provisiones de Kyoto y Río, donde Cuba está a la vanguardia del mundo, incluyendo el reemplazo del gas Freon en los refrigeradores (*diclorodifluorometano*) uno de los responsables de la destrucción de la capa de ozono sustituido por el B-12 inocuo para la capa de ozono estratosférico. Además evita el uso de fertilizantes y pesticidas químicos y los reemplaza por prácticas innovadoras y ecológicamente sanas, creando un sistema agrícola sostenible.

En la actualidad, se están implementado estrategias como el mantenimiento preventivo en industrias y calderas, adecuación de chimeneas e implementación de nuevas tecnologías y mejora en el sector del transporte, pero aún en este sentido, es necesario mejorar las condiciones presentes de la economía Cubana.

### 3.2.3 Recurso Agua.

Para mejorar las condiciones de saneamiento de la Ciudad de la Habana, se han implantado distintos proyectos que mitigan de alguna manera las condiciones actuales. Una de las más importantes es el control y disciplina de la Norma Cubana NC 27 de 1999 que especifica el vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado mostrado en el Anexo D

Esta norma es un instrumento legal para garantizar la calidad de las aguas terrestres mediante la regulación de las descargas de residuales. Sirve de base para la elaboración de estrategias de saneamiento, además de ayudar a la protección de las fuentes de abasto a la población, los cursos naturales de las aguas, las aguas subterráneas y las obras e instalaciones hidráulicas.

Para esta labor, se ha construido el Consejo Provincial de Cuencas Hidrográficas con el fin de mejorar las condiciones sanitarias y de aguas residuales dentro de la ciudad.

“Los Consejos de Cuencas han dado cumplimiento a las tareas previstas en los respectivos planes, encontrándose más avanzado el trabajo en el Consejo Almendares-Vento, donde ya se culminó el diagnóstico integral y fue aprobado el Programa de Acción, lo cual se corresponde con la prioridad conferida a esta cuenca por su trascendencia económica y social.”<sup>53</sup>

<sup>53</sup> THE INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CEBTER, Op Cit. [citado abril 2 de 2007]



A raíz del diagnóstico realizado en 1997, en el “bucólico” río Almendares, se han realizado diferentes labores para progreso del río y de su cuenca, con el fin de mejorar las condiciones al que ha sido sometido con el desarrollo de la ciudad.

“El río es base de la expansión urbana, definieron el actual asiento de la Ciudad de la Habana y las primeras previsiones para realizar un parque urbano. Durante los años de 1925 y 1928 arquitecto y urbanista francés J. Forestier, realizó el proyecto de la Habana. Fue respecto a esa zanja verde que advirtió de inmediato la “salvación” de la salubridad del ambiente de este amplio espacio urbano y recreativo concibiendo un Gran Parque Nacional”<sup>54</sup>

### 3.2.3.1 Parque Metropolitano de la Habana.

Es una franja de terreno que agrupa a ambos márgenes del río a lo largo de sus últimos 7 Km.; tiene una extensión de 700 hectáreas. El mismo pasa por cuatro municipios de Ciudad; Habana; Playa, Plaza, Cerro y Marianao, dentro de estos municipios existen nueve (9) Consejos Populares y 45 circunscripciones, (ver Anexo E) los que de una forma u otra inciden y se benefician de la existencia de “El Gran Pulmón Verde de La Ciudad”.

Es de esta manera como nace la Organización del Gran parque Metropolitano de la Habana (GPMH) con el objetivo principal de ayudar a recuperar el bucólico río Almendares y mejorar este pulmón de la ciudad. La Figura 23 indica la ubicación jerárquica del GPMH, después de la creación del Consejo Provincial de Cuencas en Cuba.

**Figura 23:** Organigrama del consejo provincial de cuencas, situando la cuenca Almendares-Vento como una de las más importantes de la capital



Fuente: Autor 2007

<sup>54</sup>ESTRATEGIA DE DESARROLLO, Op Cit p. 4



Este es un plan que abarca las dimensiones urbana, social y ecológica. Con él se pretende dar solución a problemas de deforestación, contaminación y educación ambiental, y saneamiento del río Almendares entre otros, para contribuir a crear un área de esparcimiento con participación ciudadana.

Como proyecto urbano propone el desarrollo del parque en los últimos kilómetros del río Almendares, (700 hectáreas) y en medio de la ciudad, creando una convivencia entre industrias, agricultura y los centros poblacionales que lo rodean.

Este proyecto ecológico busca devolver a la ciudad de la Habana un pulmón verde principalmente tratando de resolver los problemas que ponen en peligro el río Almendares, eje del parque.

En el transcurso de los últimos años, se han estudiado el estado higiénico sanitario del río y sus posibles soluciones, estos estudios han carecido de continuidad y sistematicidad, por falta de recursos en algunos casos y por la ausencia de un proceso estratégico para alcanzar el objetivo fundamental: el saneamiento del río Almendares.

La gravedad de la situación económica imperante en el país cambia el modelo de desarrollo basado en las tecnologías convencionales de tratamiento de las aguas residuales y busca modelos sustentables, participativos, accesibles y viables económicamente, en armonía con el entorno.

“La política en materia de saneamiento está cambiando de los proyectos de grandes inversiones de capital a tecnologías alternativas autosostenibles y de bajo costo”.<sup>55</sup> Es así, como la instalación de *Ecotecnologías* en el Gran parque Metropolitano de la Habana, ayuda de forma económica y ambientalmente sostenible a la depuración y saneamiento ambiental del río Almendares

Las ecotecnologías se construyen de manera tal que su manejo sea independiente a grandes tratamientos, es decir, de forma descentralizada, con el fin de ayudar al saneamiento del río Almendares directamente desde donde se producen los vertimientos de aguas residuales urbanas. Las ecotecnologías son instaladas en lugares donde se unen las aguas residuales de barrios que vierten sus aguas al río. De esta manera divide la responsabilidad del saneamiento del río en diferentes puntos, evitando la construcción de plantas de tratamiento para grandes volúmenes de agua residual, que deberán estar dotados de una tecnología al menos convencional, con el consecuente alto costo de inversión, operación y mantenimiento.

---

<sup>55</sup> AYES, Gilberto. Desarrollo Sostenible y sus Retos. Cuba: Científico – Técnica, 2006. p. 35



## 4 ANALISIS DE LAS UNIDADES ECOTECNOLOGICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INSTALADOS EN EL GPMH

En el GPMH, actualmente se efectúan labores para ayudar al saneamiento del río Almendares. Se han instalado tres (3) sistemas ecotecnológicos: *Sistema Natural Pogolotti*, *Sistema Palatino* (denominados así por las localidades o consejos populares donde se encuentran ubicados) y *Cubeco*, ecotecnología Canadiense instalada en Cuba nombrado por sus creadores por la unión de sus siglas *Cub* de Cuba y *Eco* de ecotecnología. Estos ayudan a la depuración del río de forma económica e independiente a grandes plantas de tratamiento, además de crear estructura urbana con espacios verdes en medio de la ciudad, atrayendo especies endémicas de animales e involucrando a la comunidad por medio de educación y talleres ambientales.

Cada una de las ecotecnologías descritas a continuación detalla aspectos tales como localidad, población y descripción del correcto funcionamiento de los sistemas. Posteriormente se exponen los análisis de laboratorio y actividades realizadas para determinar sus características y funcionamiento de las plantas *Cubeco* y *Palatino*; finalmente, se especifican los principales problemas deducidos a partir de los análisis y características actuales.

Es de aclarar que este trabajo no se completó para Pogolotti, por problemas de obstrucción en sus tuberías; el sistema no funciona actualmente

### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ECOTECNOLOGÍAS.

A continuación se describen las características de cada sistema, así como de los consejos populares en que ellos se encuentran, el tipo de agua residual y una descripción general de su funcionamiento.

#### 4.1.1 Sistema Natural Pogolotti.

Ubicado en el Municipio de Marianao, al sur oeste de la barriada de Pogolotti, aproximadamente a 300 m de la calle 100. Son dos humedales ubicados en paralelo que presentan un espejo de agua de 60 m de largo por 6 m de ancho (el área de espejo es de 360 m<sup>2</sup>); la estructura utiliza una relación 1/ 10 con profundidad de 0.4 m y pendiente de fondo del 0.8 %. Es un sistema de humedales artificiales de flujo mixto; en los 25 m iniciales presenta un flujo superficial y los últimos 35, subsuperficial<sup>56</sup>

La planta emergente utilizada el sistema es *Typha*, debido a que es común encontrársela en cualquier humedal natural cubano, además de ser muy utilizada

<sup>56</sup> SALAZAR Yuleidy y GONZÁLEZ Anhara. Evaluación de un Humedal construido para el Tratamiento de aguas Residuales Domesticas, Trabajo de Diploma, Ingeniería Civil. Cuba CUJAE, 2005. p. 49



a escala mundial en estos ecosistemas artificiales, tanto para humedales de flujo superficial como de flujo subsuperficial.<sup>57</sup>

Este sistema no se encuentra actualmente en funcionamiento por problemas de obstrucción en las tuberías de entrada al sistema, por lo tanto el agua residual a tratar se desvía hacia el río, mientras los humedales se encuentran desecados y sin plantas

**Figura 24:** Tubería de entrada Sistema Natural Poacolotti.



*Fuente: Gran Parque Metropolitano de la Habana.2005*

La Figura 24 contempla la tubería de entrada a los humedales y las características de sus plantas cuando se encontraba en funcionamiento

El agua residual que se depura en estos sistemas es de carácter doméstico, (albañal) la cual llega a los Humedales de forma continua después de ser sometido a un tratamiento primario en un tanque séptico. Este se encuentra ubicado a una altura superior a la de los humedales, lo que facilita la entrada del residual a ellos sin necesidad de equipos de bombeo. La tubería encargada de comunicar los dos tratamientos cuenta con tres válvulas: la primera con el fin de impedir que el agua sea vertida directamente al río y las otras dos regulan el caudal de entrada a cada Humedal además de facilitar el mantenimiento de los mismos, pues se puede cerrar una y mantener operando un solo sistema.

El agua luego de ser sometida a este tratamiento secundario, mediante Humedales, es vertida al arroyo Santoyo, un efluente del río Almendares, además de ser utilizada en el riego de las especies de la faja reguladora del arroyo.

<sup>57</sup> HANDMER, Donald A, Constructed Wetlands for Wastewater treatment.Estados Unidos: Lwis Publishers. Cheslea, 1989 . p. 7





#### 4.1.2 Sistema Palatino

El sistema Palatino tomó su denominación por haberse construido en la localidad del mismo nombre; consta de un pozo de bombeo, un reactor secuencial por tandas (SBR) y 3 humedales artificiales de flujo superficial colocados en secuencia.

A continuación se dará una mayor descripción de estos aspectos.

##### 4.1.2.1 Descripción de la localidad.

El Sistema Palatino, se encuentra ubicado en el barrio Santa Catalina, Consejo Popular Palatino, al noroeste de la ciudad de La Habana. Actualmente tiene una población de 4074 habitantes en un área aproximada de 0.651 km<sup>2</sup> de los 2.8 km<sup>2</sup> del Consejo Popular. En su mayoría el barrio es residencial, las viviendas son de una (1) planta en buen estado con un índice de cinco (5) habitantes por vivienda. En los últimos tres (3) años se han construido edificios de 3 y 4 pisos; a futuro se tiene planificado la culminación de cuatro (4) más y conjuntamente la urbanización de varias zonas. Este barrio tiene grandes zonas de recreación, como la Ciudad Deportiva y la Escuela de Deporte Comandante Fajardo.

La calidad ambiental de la localidad es favorable. En este hay una recolección continua de residuos, y por ser un barrio residencial, no posee problemas de emisiones atmosféricas cercanas, aunque en sus límites se encuentra la Avenida Boyeros, una de las vías más importantes de la capital.

El humedal actualmente está recibiendo aguas de una parte del reparto Santa Catalina con aproximadamente 574 habitantes, con un caudal promedio de 2,5 l/s, sin tener en cuenta las épocas de lluvia. Como ya se, mencionó anteriormente, esta también llega al sistema de tratamiento.

##### 4.1.2.2 Descripción general del sistema Palatino.

El sistema recibe agua residual de carácter doméstico, la cual llega a un pozo de bombeo de 21,6 m<sup>3</sup> que consta de dos (2) bombas sumergibles de 15 L/s (Grundfos SE1.50.65.09.2.1.502 Ver Anexo N), las cuales son encendidas aproximadamente cada dos (2) horas. Posteriormente el agua es enviada a un reactor denominado reactor secuencial por tandas o SBR por sus siglas en inglés (*Sequencing Batch Reactor*) donde de manera sucesiva se crean alternativamente condiciones de procesos aerobios y anoxicos. Durante las fases anoxicas no se aporta aire. Este sistema fue adquirido por el proveedor TREICO, encargado de realizar plantas de tratamiento compactas

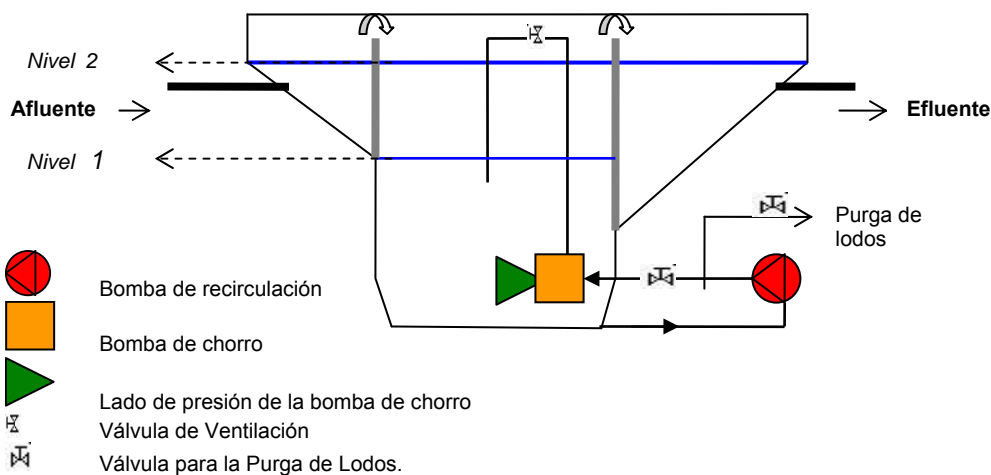
El SBR (TREICO) es un sistema de lodos activados para el tratamiento del agua residual que utiliza ciclos de llenado y descarga. En este sistema el agua residual entra en tandas, recibe tratamiento para remover componentes indeseables y



luego se descarga. La homogenización de caudales, la aireación y la sedimentación se logran en ese reactor único.

La Figura 25 muestra los mecanismos que se encuentran y los niveles de agua residual uno (1) hasta el dos (2). En la zona de las aguas residuales uno (1) se ha dispuesto una bomba de chorro alimentada por una bomba de circulación que aspira el agua residual del reactor

**Figura 25:** SBR TREICO (Sequenced Batch Reactor)



Fuente: Autor, 2006

Este funciona de la siguiente manera:

**Fase aerobia:** La válvula de ventilación se abre para que el aire sea adaptado por la bomba de chorro y las aguas residuales que se encuentran en el nivel uno (1), de modo que el aire se introduce por medio de la válvula de ventilación a través de los conductos y es soplado por el lado de presión de la bomba.

**Fase Anaerobia:** se cierra la válvula de ventilación; como consecuencia, el agua que esta en el nivel uno (1) sube por los conductos por medio de la presión que realiza la bomba de chorro, saliendo el agua con gran velocidad por el lado de presión de la bomba produciendo un movimiento y una mezcla de las aguas residuales del nivel uno (1) hasta el nivel dos (2). Para volver a la fase aerobia se abre de nuevo la válvula de ventilación y se repite el proceso.

Para la extracción de los lodos en el tanque, es necesario: cerrar la válvula de la tubería que se dirige a la bomba de chorro desde la bomba de recirculación y abrir la válvula para la purga de lodos; este trabajo se realiza aproximadamente cada 3 meses, con el fin de evitar colmatación de los lodos en este sistema.





Como paso siguiente el efluente del SBR es conducido a 3 humedales de flujo superficial (FS)

El reactor es colocado a una altura superior a los humedales, facilitando la entrada del agua residual a las cámaras. La Figura 26 se realizo durante la instalación del sistema y se pueden detallar sus características.

Como se podrá observar mas adelante este sistema no opera por el daño del sistema de bombas instaladas.

**Figura 26:** SBR antes de ser instalado en el humedal de Palatino



Fuente: Gran Parque Metropolitano de la Habana., 2003

Los Humedales, son tres (3) cámaras colocadas en paralelo con las características de la Tabla 2:

**Tabla2:** Características de los Humedales artificiales sistema Palatino.

Características	
Ancho	10 m
Largo	20 m
Área espejo de agua	200 m <sup>2</sup>
Relación largo Ancho	0,5
Profundidad	0,75
Pendiente de fondo	0,8 %
Área Trapezoidal	166 m <sup>2</sup>

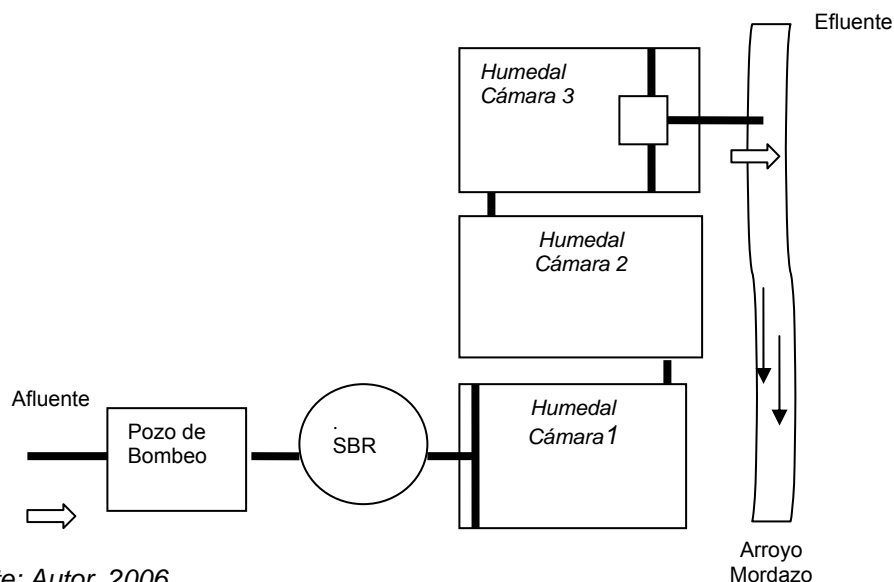
Fuente: Autor, 2007

El tipo de planta utilizada es *Typha*, por sus características en la remoción de contaminantes y su gran eficiencia en climas propios como el de Cuba.

La Figura 27 es un esquema del los pasos y el flujo de agua residual en el sistema Palatino



**Figura 27:** Esquema Sistema Palatino.



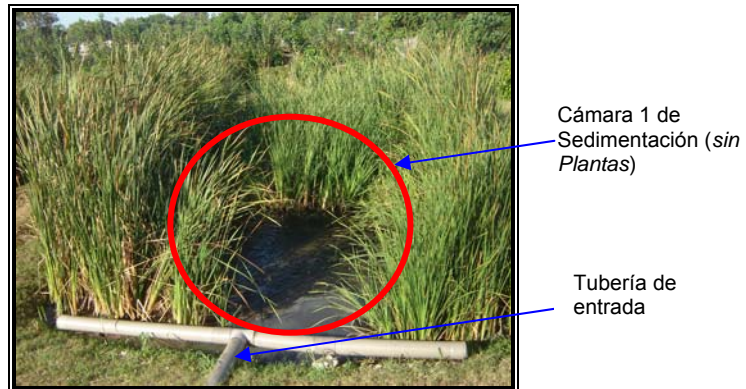
Fuente: Autor, 2006

El agua residual que sale del SBR atraviesa cada cámara colocadas en secuencia; a medida que transcurre el flujo de una a otra, es menor su profundidad. Hay que aclarar que la Cámara 1 comienza con una tolva de sedimentación con profundidad aproximada de dos (2) metros. Sus primeros tres (3) metros se emplean para sedimentar los sólidos que surgen del SBR; en esta parte no crece ningún tipo de vegetación como se muestra en la Figura 28. En la Figura 29 se detallan las profundidades de cada cámara.

El agua es enviada al humedal por medio de una tubería tipo flauta, de 8 pulgadas, pasa por las cámaras con un flujo pistón (continuo) hasta una caja en concreto donde dos (2) tuberías finales reciben el agua tratada para verterlos finalmente al arroyo Mordazo, afluente del río Almendares (ver Anexo Q). El tiempo de retención total del sistema es de un (1) día. (ver Numeral (5))

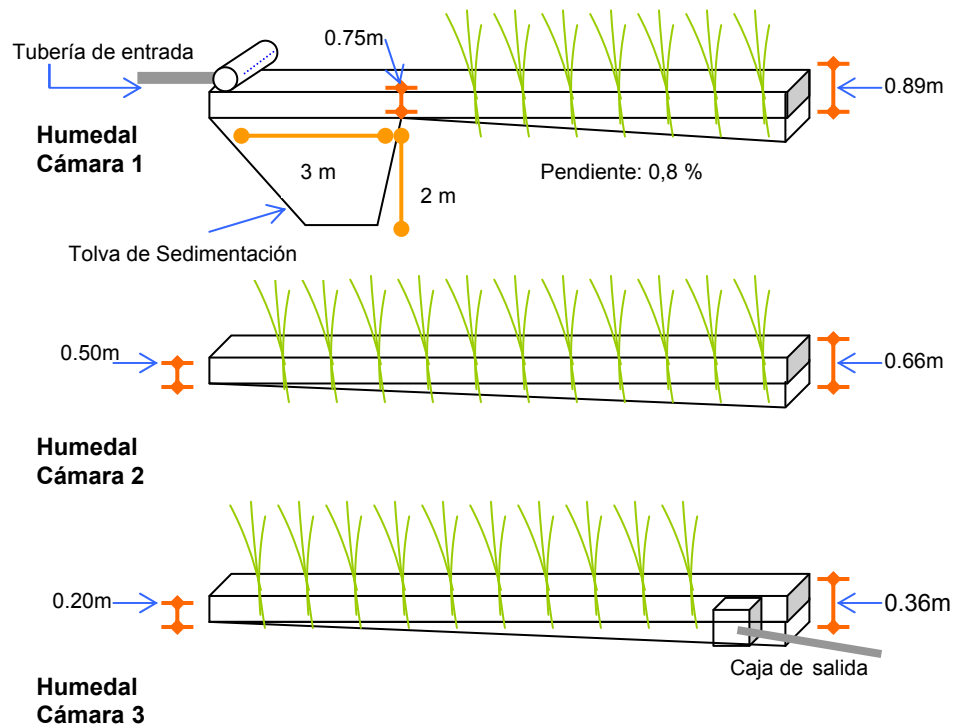


**Figura 28:** Cámara 1 del humedal Palatino



Fuente: Autor, 2006

**Figura 29:** . Humedal Palatino, profundidad del agua en las cámaras..



Fuente: Autor 2007

Las características de este sistema se pueden ver más detalladamente en el Anexo R.



#### 4.1.3 Sistema Cubeco

El sistema tratamiento de aguas residuales *Cubeco*, es un sistema canadiense que tomó su denominación por la unión de sus siglas *Cub* de Cuba y *Eco*, de ecotecnología. Este es la combinación de tecnologías convencionales con ecotecnologías, señalado como un “Híbrido” de lodos activados, que en sus tanques de aireación posee plantas flotantes, actuando como un eficiente sistema depurador de las aguas residuales domésticas. A continuación se dará una mejor descripción de estos aspectos.

##### 4.1.3.1 Descripción de la Localidad.

El sistema *Cubeco*, se encuentra en el barrio Carlos J Finlay, consejo Popular Pogolotti, al noroeste de la Ciudad de La Habana.

Este barrio es residencial de unos 22.715 habitantes. Con casas de uno (1) y dos (2) pisos y varias edificaciones de tres (3) y cuatro (4) pisos y con un promedio de cinco (5) personas por vivienda. En muchas de ellas se pueden encontrar daños estructurales producto del paso del tiempo.

Las características ambientales de la localidad, no son muy favorables ya que carece de un manejo correcto de residuos y de una recolección programada de estos, permitiendo que los residentes utilicen esquinas y lugares no adecuados como vertederos de basura, generando problemas de salud, proliferación de moscas, ratas entre otros vectores.(ver fotografías 1 y 2 Capítulo 5).

Este barrio, por ser netamente residencial, no tiene emisores atmosféricos significativos, posee pocos espacios verdes y de recreación, algunas de sus calles se encuentran con problemas de infraestructura, ya que se tratan de obras civiles que datan de muchos años atrás.

El consejo Popular tiene una red de alcantarillado donde no se separan las aguas pluviales de las residuales. Algunas viviendas vierten sus aguas residuales directamente a las calles, que por escorrentía llegan hasta el arroyo Santoyo. Otros sectores llevan las aguas a pozos de infiltración.

El sistema *Cubeco*, se encuentra en la calle 90 y final, recibe actualmente aguas de alcantarillado de aproximadamente 1200 habitantes de la localidad, generando un caudal promedio de siete (7) l/s a tratar. Es necesario resaltar, que esta población recibe agua para consumo días alternados, es decir: un día sí, un día no.

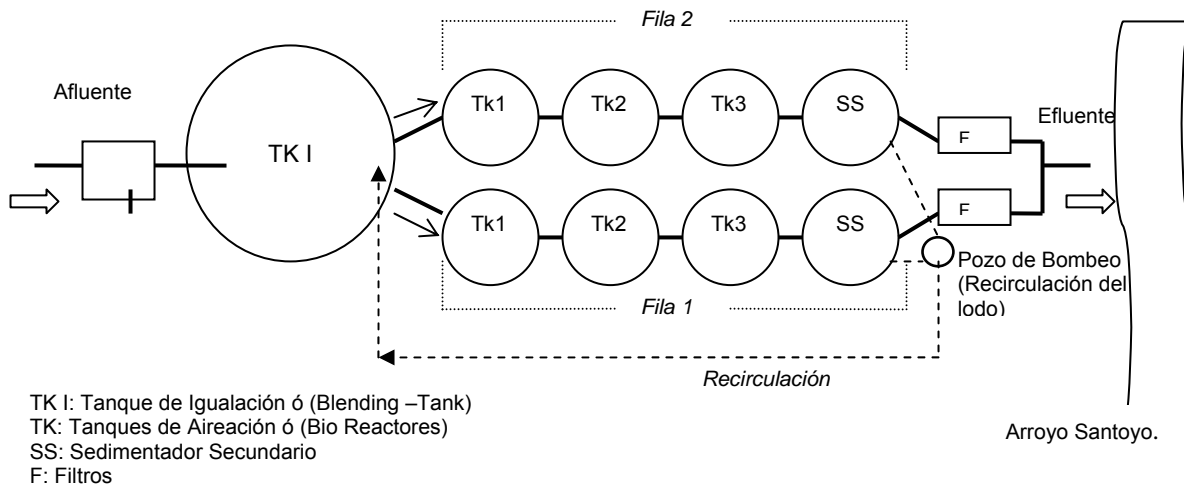
##### 4.1.3.2 Descripción General del sistema Cubeco

El afluente que entra al sistema de tratamiento *Cubeco*, pasa primero a una cámara donde se depositan los residuos de gran tamaño y se controlan los caudales de entrada a la planta, con tuberías de rebose. Luego entra a un tanque



de igualación denominado “*Blending Tank*”,\* el cual tiene 6.66m de diámetro y 3.62m de altura, para un volumen total de  $126.10\text{m}^3$  en donde las aguas son homogenizadas, para un correcto funcionamiento y operación del sistema. Este tanque tiene 2 aireadores (descritos en la Figura 31) para asegurar la igualación y prevenir el asentamiento de lodos, generar oxidación de compuestos orgánicos y controlar los olores. (Ver Figura 30)

**Figura 30:.** Sistema Cubeco.



Fuente: Autor, 2006

Posteriormente el agua es dividida en dos filas (fila 1 y fila 2) cada una provista de tres tanques aireados denominados “Bio-Reactores”\*\* (Tk1, Tk2 y Tk3), colocados en secuencia que funcionan con flujo a pistón, como se muestra en la Figura 24. Estos tienen un diámetro de 3.8 m y una altura de 2.3 m con un volumen total de  $26.08\text{ m}^3$  son construidos en lona resistente (geomembrana) y soportados con una malla metálica. Cada uno tiene un difusor de aire que funciona durante 2 horas con intervalos de descanso de 30 minutos. El sistema está concebido para que en su parte superior se encuentren especies vegetales flotantes del tipo “*jacinto de agua*” o *lechugón* (*Eichhornia Crassipes*), que se adaptan de forma eficiente a la remoción de contaminantes en climas tropicales. (ver Numeral 3.3.1) Hay que aclarar que el sistema funciona totalmente a gravedad. Estas características se pueden ver más detalladamente en el plano Anexo Q

Los aireadores son una adaptación de una bomba sumergida (Grudfos SE1. 65.09.2.1.502 ver Anexo N), la cual toma agua del fondo y aire hasta un tanque

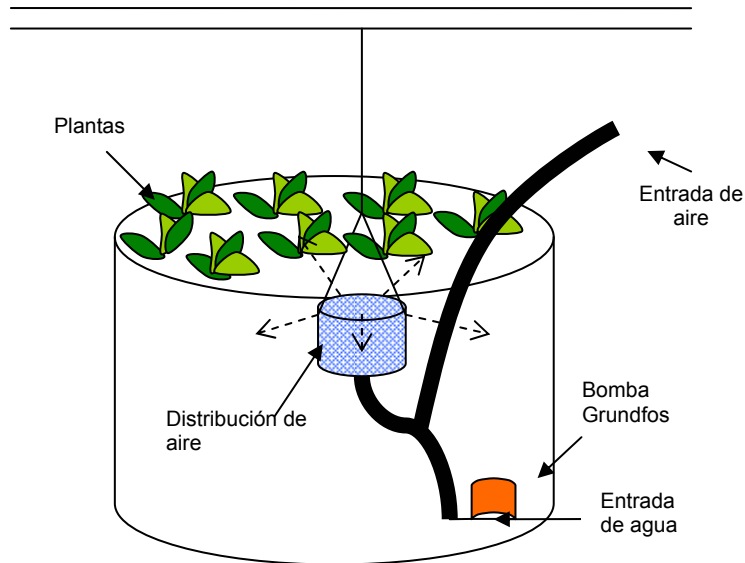
\* Lenguaje Técnico Canadá

\*\* Lenguaje Técnico Canadá



suspendido. El aire es tomado de otra tubería acoplada al equipo generando burbujeo, que es distribuido en todo el Bio-Reactor. Este sistema de aireación también es utilizado en el Tanque de Igualación. El dispositivo se puede ver en la Figura 31

**Figura31:** Dispositivo de aireación.



Fuente: Autor, 2007

Luego de pasar por los Bio-Reactores, el agua continúa a un sedimentador Secundario instalado para cada una de las filas, donde se sedimentan los floculos formados anteriormente, los cuales son recirculados cada dos (2) horas hacia el tanque de igualación. El sedimentador tiene un diámetro de 3.80 m, una tolva de 1,90 m, su volumen total es de 36.74. (Ver plano Anexo Q).

El agua clarificada pasa por gravedad a través de sendos filtros lentos de arena y grava, uno para cada fila, de 0.91 m de alto 2.46m de largo y 1,23 de ancho, con un volumen de 2.75 m<sup>3</sup> construido en cemento reforzado. El objetivo de los filtros era originalmente extraer agua con calidad óptima para su reutilización en cultivos agrícolas. El residual tratado que no es utilizado para tal fin, es vertido a un humedal artificial de 20 m<sup>2</sup> con plantas *Typha* a manera de unidad de pulimiento del agua residual antes de verterla al arroyo Santoyo, afluente del río Almendares. Las baterías de los reactores, de los sedimentadores y de los filtros se encuentran dentro de un invernadero\*, el cual ofrece seguridad a los equipos que en este se encuentran\*.

\* El Invernadero tiene además la utilidad de darle protección y buen desarrollo en a las plantas en épocas de invierno.

\*\* Incluyendo los equipos, también es importante mencionar la caseta de administración, la cual es la adaptación de un *Container* donde está instalado el sanitario y redes hidráulicas



El tiempo promedio de retención del sistema *Cubeco* es de un (1) día. La Figura 32 muestra los tres (3) tanques de aireación y su sedimentador correspondiente.

**Figura 32:** *Cubeco* Fila de tanques de aireación y Sedimentador Secundario



Fuente: Autor, 2006

#### 4.1.3.3 Proceso Biológico Relación Aire-Plantas sistema *Cubeco*.

Teniendo en cuenta que este sistema es un “Híbrido”, es decir una combinación entre lodos activados y Plantas flotantes, es necesario describir el proceso biológico de remoción de contaminantes que en el se produce.

La relación Aire-plantas en el sistema *Cubeco* es la razón primordial en la función de remoción de contaminantes en las aguas residuales. Este es un trabajo de manera conjunta, mediante la formación de bacterias aerobias junto con las raíces de las plantas.

Como se mencionó anteriormente, los humedales artificiales tienen la capacidad de depurar el agua mediante asimilación directa de nutrientes como el Nitrógeno, el Fósforo y metales pesados, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal. Además, la remoción de materia orgánica se hace presente, por la actividad radicular y los microorganismos involucran en este sistema

En el sistema de lodos activados, las bacterias metabolizan los residuos produciendo nuevas bacterias, utilizando oxígeno disuelto y liberando dióxido de carbono. Los protozoos consumen bacterias para obtener energía y reproducirse. Finalmente, con este se consigue la degradación de la materia orgánica.

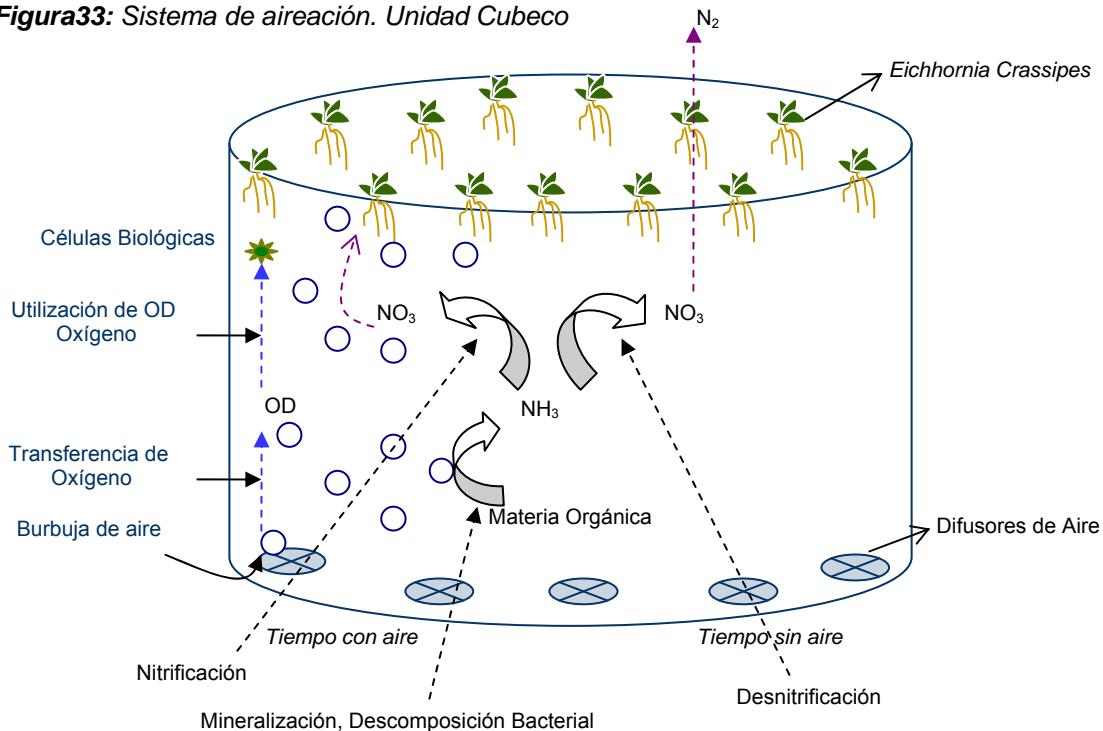
En el proceso *Cubeco*, se establece una especie de simbiosis, donde el aire suministrado al sistema, es aprovechado por las bacterias para su oxigenación y metabolización de los residuos produciendo nuevas bacterias que a su vez, van a





ser asimilados por las plantas para obtener algunos productos resultantes del metabolismo de los mismos, y de esta manera conseguir condiciones adecuadas para crecer a tasas elevadas.

**Figura33:** Sistema de aireación. Unidad Cubeco



Fuente: Autor, 2007

En la Figura 33 se explica el proceso que ocurre en los tanques. Al tener tanques tan profundos, es importante la implementación de aire, haciendo que las plantas tengan mayor capacidad de absorción en sus raíces, además de generar fijación de nitrógeno en las bacterias que después van a ser absorbidos por las raíces y aprovechadas por las plantas.

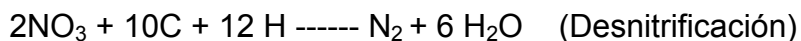
En este tanque se presenta como principal proceso el ciclo del nitrógeno, donde el amoníaco es oxidado a nitrato por las bacterias nitrificantes, en los momentos de aireación es decir aerobios. El nitrato es convertido en nitrógeno gaseoso por las bacterias desnitrificantes en los tiempos en que no hay aire (anóxicos).

La materia orgánica es mineralizada en  $\text{NH}_3$  en el tiempo en que los aireadores están encendidos y en el proceso de nitrificación genera  $\text{NO}_3$ . Estos dos componentes son esenciales para el crecimiento de las plantas, cuando los aireadores están apagados ocurre el proceso de desnitrificación produciendo  $\text{NO}_3$  asimilado por las plantas y  $\text{N}$  gaseoso, cumpliendo con el ciclo del nitrógeno (ver Figura 35).





Bacillos y pseudomonas son las bacterias mas frecuentes en el tratamiento con lodos activados; en el proceso de estabilizar el material orgánico ésta utiliza el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) en lugar de oxígeno en condiciones anaerobias, bacterias desnitrificantes devolviendo el N a la atmósfera.



En el sistema *CUBECO* es utilizado el Jacinto de agua, el cual desarrolla una gran actividad depuradora de la materia orgánica por la adhesión de microorganismos, además del desarrollo en sus raíces de Bio-películas en las que crecen los microorganismos. Las plantas son extraídas periódicamente, para el correcto funcionamiento y evitar generar mayor material orgánico por la descomposición de las mismas.

Los sólidos son eliminados por la formación de Floc biológico generados por la zooglea, bacteria considerada como el organismo principal en la formación del floc. Este es sedimentado como se mencionó anteriormente.

## 4.2 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.

Para poder hacer la investigación de los sistemas Ecotecnológicos, *Palatino* y *Cubeco*, fue necesario realizar pruebas y análisis de laboratorio para definir el funcionamiento, conocer sus principales problemas y realizar la respectiva propuesta de optimización. No obstante, primero que todo se requirió determinar los puntos de muestreo correspondientes

Los análisis de laboratorio fueron realizados por la empresa ENAST (Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos) ubicada en la Habana, Cuba y el CIPRO (Centro de Investigación de Procesos) de la facultad de química de la CUJAE. Las muestras proporcionales, luego de ser preparadas, fueron previamente refrigeradas a  $4^\circ\text{C}$  y trasladadas al laboratorio antes de las seis horas, donde se determinaron los parámetros antes mencionados.

Los análisis se realizaron siguiendo la metodología descrita en el Estándar Method for the Examination of Water and Wastewater. APHA.20 the Edition, 1998.

Cabe anotar que cuando se hizo el muestreo los sistemas funcionaban de la siguiente manera: En el sistema *Palatino* no se encontraba en funcionamiento el SBR, ya que las bombas de aireación estaban dañadas. En *Cubeco* las semanas anteriores a la toma de muestras, hubo problemas de obstrucción en sus tuberías de entrada y por tal razón los tanques de la fila dos (2) se encontraban sin plantas, mientras que en la fila 1 crecieron especies vegetales denominadas pasto Kikuyo (*Pennisétum clandestinum*)\* plantas que desplazaron al Jacinto de agua alterando

---

\* Kikuyo: Monocotiledónea de la familia Gramínea que se caracteriza por tener un comportamiento hidrófito, son plantas terrestres que pueden invadir lugares húmedos manteniendo sus hojas sobre la superficie de lagunas.



las características del sistema. Además el taque de igualación no tenía aireación y mezcla por daño en los aireadores instalados y los filtros se encontraban sin medio filtrante

Debido a problemas de tiempo y las circunstancias antes mencionadas en la toma de la información, solo se pudieron hacer mediciones tres días diferentes: dos para el sistema *Cubeco* y uno para *Palatino*. De esta manera, con la información que se recolectó en campo, las conclusiones de este trabajo aplican a los días típicos similares a los días donde se tomó información; estos fueron los más representativos en los dos sistemas.

#### 4.2.1 Distribución de los puntos de muestreo.

Las muestras fueron tomadas los días 25 de enero para el sistema *Palatino*, 30 de enero y primero de febrero para el sistema *Cubeco*. Estos fueron elegidos ya que en *Cubeco* eran los días en que la población recibía agua (como se menciono anteriormente la localidad recibe agua días alternados) y tenía varias semanas de funcionamiento pues sus tuberías no se encontraban obstruidas.

*Palatino* funcionaba correctamente, pero se realizaron bombeos manuales con lapsos de tiempo de 1 hora para que las muestras tomadas fueran representativas.

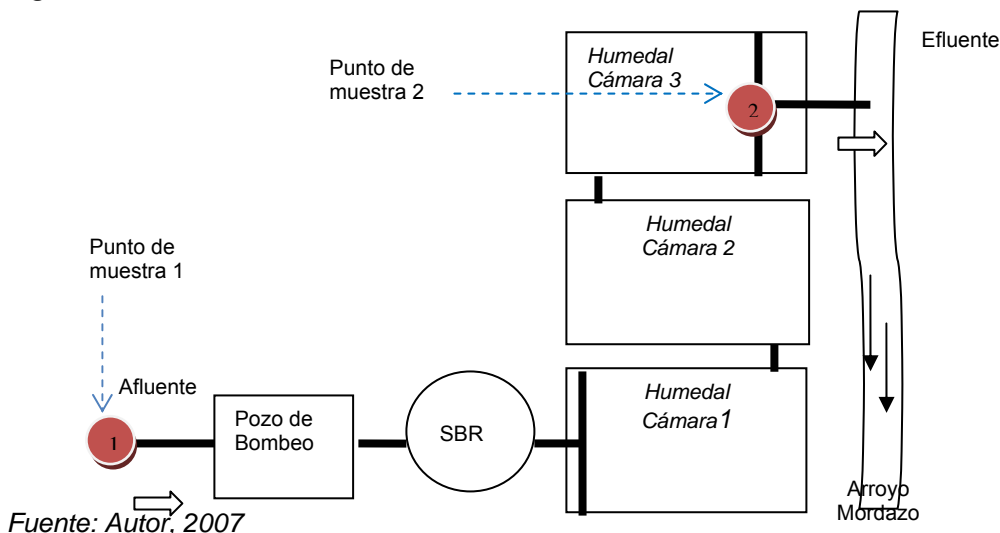
A continuación se dará una mejor descripción de las muestras tomadas en los dos sistemas.

- Muestreo Sistema *Palatino*.

Se realizó un muestreo de 12 horas el día 25 de enero de 2007. Fueron tomadas las muestras en dos (2) puntos, (como se muestra en la Figura 34) entrada y salida del humedal, con el fin de verificar la eficiencia global del sistema.



**Figura 34:** Puntos de toma de muestras Sistema Palatino.



Fuente: Autor, 2007

Las muestras se tomaron cada hora, desde las 10:00 a.m. hasta las 10:00 p.m. del mismo día, distribuidas como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3** Distribución de las muestras tomadas en el sistema ecotecnológico Palatino.

Tipo de Muestra	Entrada	Salida
Puntuales	12	12
Integrales globales	1	1
total	13	13

Fuente: Autor, 2007

Simultáneamente a la preparación de estas muestras se realizaron diferentes análisis *in situ* las cuales se muestran en la Tabla 4 junto a los equipos con que fueron medidos:

**Tabla 4** Parámetros tomados *in situ* con su respectivo equipo. Sistema Palatino

Parámetro <i>in situ</i>	Equipo
Temperatura del Aire	Conductivímetro
Temperatura del Agua	Conductivímetro
Oxígeno disuelto	Oxímetro portátil
Conductividad	Conductivímetro
Profundidad	Vara larga Aforada.

Fuente: Autor, 2007

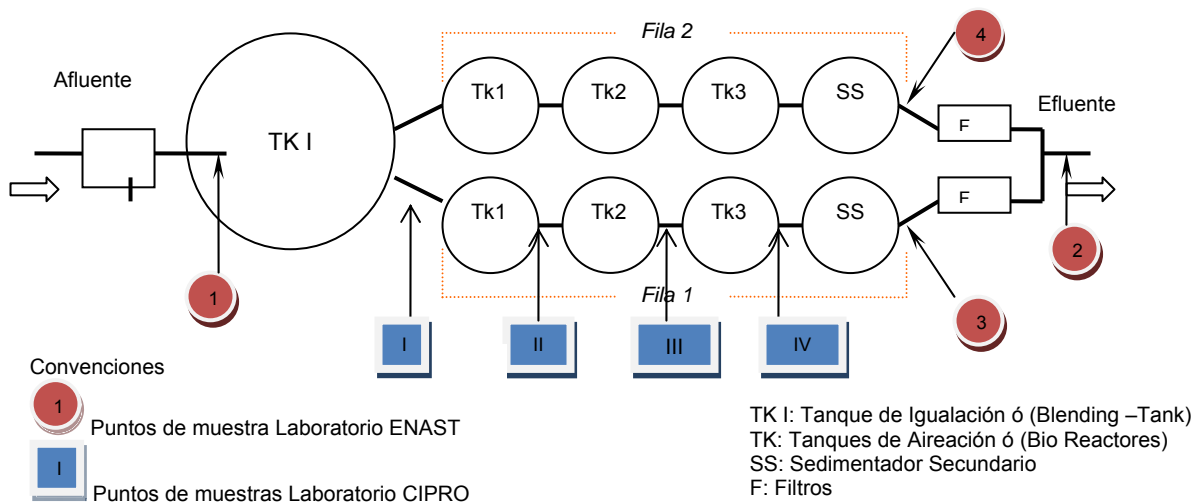
Para que el muestreo fuera representativo, las bombas que originalmente operaban cada dos (2) horas, se logró que se encendieran cada hora por diez (10) minutos, de tal manera que se muestre por espacios de una (1) hora. Esta bomba es sumergible y tiene un caudal de 15L/s.



- Muestreo Sistema Cubeco

Para tener muestras representativas y conocer la eficiencia y el funcionamiento actual del sistema *Cubeco*, se tomaron muestras durante dos (2) días (30 de enero y 1 de febrero) durante las 24 horas. Las muestras fueron distribuidas como se muestra en la Figura 35, donde se detallan las muestras que fueron analizadas por los laboratorios ENAST y CIPRO.

**Figura 35:.** Sistema Cubeco (puntos de muestra)



Fuente: Autor, 2007

En la Tabla 5 se explican los lugares de ubicación de los puntos de muestra integrales\* y puntuales\* así como la cantidad de muestras tomadas durante los dos (2) días con los respectivos laboratorios.

\*Las muestras integrales consisten en la mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La integración se hace de manera proporcional a los caudales medios al tomar la muestra.

\*\*Las muestras Puntuales son las muestras tomadas al azar en un cuerpo receptor y en una hora determinada.



**Tabla 5:** Ubicación, Laboratorios Muestras Integrales y Puntuales en el Sistema Cubeco.

	Ubicación en el sistema	Laboratorio	Parámetros	No. De Muestras Integrales			No. De Muestras Puntuales		
				30 ene	01 feb	Total	30 ene	01 feb	Total
1	Entrada al sistema o Tanque de Igualación.	ENAST	DQO	1	1	2	9	9	18
			Sólidos	1	1	2	9	9	18
			DBO	1	1	2	3	3	6
			Bacteriología	---	---	---	5	5	10
2	Salida de todo el Sistema	ENAST	DQO	1	1	2	9	9	18
			Sólidos	1	1	2	9	9	18
			DBO	1	1	2	3	3	6
			Bacteriología				5	5	10
3	Salida de la Fila 1	ENAST	DQO	1	1	2	9	9	18
			Sólidos	1	1	2	9	9	18
			DBO	1	1	2	---	---	---
			Bacteriología	---	---	---	3	3	6
4	Salida de la Fila 1	ENAST	DQO	1	1	2	9	9	18
			Sólidos	1	1	2	9	9	18
			DBO	1	1	2	2	2	4
			Bacteriología	---	---	---	3	3	6
I	Salida del Tanque de Igualación y entrada a los tanques e Aireación	ENAST	DQO	1	1	2	9	9	18
			Sólidos	1	1	2	9	9	18
			DBO	1	1	2	---	---	---
			Bacteriología	---	---	---	1	1	2
II	Salida del Tanque 1	CIPRO	SS Volátiles	1	1	2	---	---	---
III	Salida del Tanque 2	CIPRO	SS Volátiles	1	1	2	---	---	---
IV	Salida del Tanque 3	CIPRO	SS Volátiles	1	1	2	---	---	---
Total de Muestras						38			230

Fuente: Autor 2007

El Anexo F especifica las horas y la distribución de las muestras puntuales e integrales durante los dos días de tomas de muestras en el sistema *Cubeco*.

Estos puntos fueron elegidos para verificar la eficiencia total y las características de cada una de las filas de tanques. El punto I fue escogido para verificar las características reales con que el agua entra a los tanques de aireación.

Simultáneamente a la preparación de estas muestras se realizaron diferentes análisis *in situ*, los cuales se muestran en la Tabla 6 junto a los equipos con que fueron medidos:



**Tabla 6** *Parámetros tomados in situ con su respectivo equipo. Sistema Palatino*

Parámetro in situ	Equipo
Temperatura del Aire	Conductivímetro
Temperatura del Agua	Conductivímetro
Oxígeno disuelto	Oxímetro portátil
Conductividad	Conductivímetro

Fuente: Autor, 2007

#### 4.2.2 Pruebas de Operación y Control.

Para realizar un análisis del funcionamiento de los sistemas, fué necesario desarrollar los siguientes ensayos que ayudan a determinar las condiciones actuales de eficiencia de la planta, y diseñar los diferentes dispositivos que ayudarían en este caso a mejorar sus características.

En el sistema Palatino se midió con una vara larga aforada en la entrada y salida de cada cámara de los humedales con el fin de verificar las profundidades y el nivel del agua como se muestra en la Figura 36. Además de realizar un control visual de las características de sus plantas, aguas y especies endémicas.

**Figura 36:** *Palatino. Determinación de las profundidades actuales*



Fuente: Autor.2006

En el sistema *Cubeco* se comprobó el oxígeno disuelto y el funcionamiento de los dispositivos de aireación; también se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la velocidad de respiración microbiana y una prueba de sedimentación del sedimentador secundario. Asimismo se efectuó un control visual de sus plantas características y recorridos del agua residual. Estas pruebas se realizaron para determinar si el Sistema *Cubeco* posee fallas en su funcionamiento, las cuales se explican con más detalle a continuación.



Es necesario aclarar que en *Cubeco* se realizó un aforo de caudal en cada una de las filas, mientras que en *Palatino* se estimó teóricamente el caudal de entrada con la dotación per cápita de la localidad; para poder aforar el caudal en este sistema era necesario utilizar un aforador de caudal, elemento que no se contrato con ninguno de los laboratorios.

- Aforo de Caudal del Sistema Cubeco.

Al estudiar el comportamiento del sistema, se percibió una diferencia de caudales en la salida de las tuberías de cada tanque; por tal razón, se realizó el aforo en cada una de ellas, hora a hora, durante los días de toma de muestras\*. (Ver Figura 37).

**Figura 37:** CUBECO Aforo de caudal en cada una de las filas.



Fuente: Autor, 2006

- Oxígeno Disuelto en Tanques de Aireación del Sistema *Cubeco*. Se tomaron muestras de las concentraciones de Oxígeno disuelto en diferentes puntos de cada tanque de aireación, como se muestra en la Figura 38. Estas muestras fueron tomadas en la parte superior, en el medio, abajo de cada tanque y en distintos tiempos de aireación; cuando los aireadores se encontraban encendidos y apagados. Este trabajo se hizo con el fin de determinar en qué lugares del tanque se encontraban menores y mayores concentraciones de oxígeno, verificando si había un correcto funcionamiento uniforme de los aireadores.

Los tiempos en que se tomaron las medidas de Oxígeno disuelto se especifican en la Tabla 7:

**Tabla 7** Tiempos de toma de muestras de OD en los tanques de Aireación

Tiempo de toma de muestras de OD	Medida de OD
Aireador Apagado T. 0	Cuando los aireadores se recién se apagan
Aireador Apagados T.x.:	Cuando los aireadores tienen un tiempo apagados.
Aireador Prendido T0:	Cuando los aireadores recién se encienden
Aireador Prendido T.x	Cuando los aireadores tiene tiempo encendidos

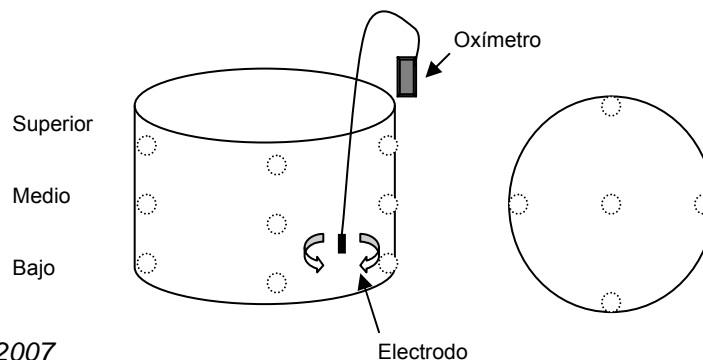
Fuente: Autor 2007

\* Se tomó únicamente para dos (2) días debido a los continuos problemas de obstrucción de las tuberías de entrada de la planta.





**Figura 38** Puntos de verificación de OD en los tanques de aireación.



Fuente: Autor, 2007

En las Figuras 39 y 40 se observa cómo el electrodo fue introducido en los tanques con ayuda de una vara larga para garantizar que llegara hasta el fondo y todos los lugares requeridos.

**Figura 39 y 40:** Medida de Oxígeno Disuelto en diferentes niveles del tanque



Fuente: Autor, 2006

Adicional al análisis realizado para el Oxígeno Disuelto (OD), se recolectó información de este parámetro durante dos horas consecutivas cada 30 segundos en la planta de *Cubeco*, con el fin de detallar un poco mejor el comportamiento de esta variable. La información se tomó para en el tanque uno (1) de la Fila uno (1).

- Respiración Microbiana en el Sistema Cubeco

En los ensayos de laboratorio se realizó el análisis de respiración Microbiana para determinar la velocidad de respiración o actividad microbiana como se muestra en el Anexo G

Los resultados obtenidos son graficados determinando la pendiente y deduciendo de la siguiente manera:





***" $r_x$  (velocidad de respiración): Pendiente/ Resultados de SSV.  $[Kg. * Kg.^{-1} * d^{-1}]$ ."***<sup>58</sup>

Este análisis solo fue realizado una vez, como tentativa para verificar la actividad microbiana, únicamente en el tanque 3 de la fila 1. Este tenía mayor cantidad de sólidos que los demás tanques. La Figura 41 especifica las características del respirómetro

**Figura 41:** Determinación de la velocidad de respiración por medio del respirómetro.



Fuente: Autor, 2006

- Prueba de sedimentación en el Sedimentador Secundario de Cubeco. Para verificar el correcto funcionamiento del sedimentador, se tomaron muestras de 1 litro en la entrada, medio y salida, colocándolas respectivamente en un cono *Imhoff*, como se muestra en la Figura 42 Se observaron los sólidos sedimentados durante 30 minutos y se tomaron los datos correspondientes.

**Figura 42** Muestras en la entrada y salida del Sedimentador en Conos *Imhoff*.



Fuente: Autor 2007

<sup>58</sup>MENÉNDEZ, Carlos. Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. La Habana Cuba: CUJAE Centro de Investigación de Procesos Instituto Superior Politécnico José Antonio Echavarría, 2003. p. 211



### 4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados de los muestreos efectuados a cada uno de los sistemas los días de muestra (ver Anexo H) y descritos en el numeral anterior se realizaron análisis estadísticos y balances de materia, los cuales ayudan a la interpretación de los datos obtenidos. Es de aclarar que el número de muestras que se llevaron a cabo obedecen a los requerimientos por el GPMH y a sus limitaciones en cuanto a la realización de un mayor número de análisis de laboratorio.

En Virtud de lo anterior, para el presente proyecto se tomaron muestras hora a hora en los días señalados de los parámetros contemplados en la Tabla 8, según los requerimientos del GPMH, (ver numeral 4.2) y la normatividad Cubana NC 27 para el “vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado mostrados” en la Tabla 8: (ver Anexo D).

**Tabla 8.** Límites Máximos Permisibles Promedio para las Descargas de Aguas Residuales según la Clasificación del Cuerpo Receptor.

Parámetros	UM	Ríos y Embalses		
		(A)	(B)	(C)
pH	Unidades	6,5-8,5	6-9	6-9
Conductividad eléctrica	μ S/cm	1 400	2 000	3 500
Temperatura	°C	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-
Sólidos Sedimentables Totales	ml/L	1	2	5
DBO <sub>5</sub>	mg/L	30	40	60
DQO (Dicromato)	mg/L	70	90	120
Nitrógeno total	mg/L	5	10	20
Fósforo total	mg/L	2	4	10

Las descargas de aguas residuales no podrán producir una disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos receptores superficiales de categorías A, B y C, a valores menores de 4, 3 y 2 mg/L, respectivamente. Fuente: NC 27, 1999

La clasificación de vertimientos a cuerpos de agua corresponde a la Clase (C) perteneciente a ríos y embalses: “Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros”<sup>59</sup>

Hay que aclarar que en este análisis no se tomó en cuenta las caracterizaciones de Bacteriología, ya que los sistemas no tienen ningún proceso de desinfección para que el cambio de este parámetro sea realmente relevante

<sup>59</sup> NORMA CUBANA. Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Cuba: Oficina Nacional de Normalización, 1999. p. 6 , 7



La metodología para el análisis de los resultados del muestreo antes y después de implementar una ecotecnología correspondiente, se dividió en cuatro partes distintas, pero que a su vez se complementaron:

1. Análisis descriptivo de los datos
2. Comportamiento de los datos a través del tiempo
3. Comparación de medias con norma Cubana
4. Estimación de intervalos de confianza para el valor promedio de cada factor de análisis

Los factores de análisis en este estudio fueron: pH, Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}.$ ), Temperatura del Agua ( $^{\circ}\text{C}$ ), Sólidos sedimentables SSED ( $\text{ml}/\text{L}$ ), Sólidos Totales ST ( $\text{mg}/\text{L}$ ), Oxígeno Disuelto OD ( $\text{mg}/\text{L}$ ), DQO ( $\text{mg}/\text{L}$ ) y DBO( $\text{mg}/\text{L}$ ). De los dos últimos se estima la eficiencia medida en porcentaje y que evalúa las diferencias de estas dos variables entre la entrada y la salida del sistema. La eficiencia fué calculada de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{EF}(\%) &= \left( \frac{\text{DQO}_{\text{ENTRADA}} - \text{DQO}_{\text{SALIDA}}}{\text{DQO}_{\text{ENTRADA}}} \right) * 100\% \\ \text{EF}(\%) &= \left( \frac{\text{DBO}_{\text{ENTRADA}} - \text{DBO}_{\text{SALIDA}}}{\text{DBO}_{\text{ENTRADA}}} \right) * 100\% \end{aligned}$$

El análisis descriptivo que se realizó para este trabajo tiene como objetivo determinar y describir el comportamiento de los factores de estudio en dos partes fundamentales que explican la fluctuación de estos a través del tiempo: [1] *tendencia* y [2] *variabilidad*. La tendencia se evaluó con base en las estadísticas de tendencia central que tradicionalmente se utilizan: media, mediana, moda; y en el segundo caso, la variabilidad se estimó a través de la varianza, la desviación estándar, el rango de fluctuación, y por supuesto estos se resumen en un indicador de variabilidad como lo es el *coeficiente de Variación*.

Una parte muy importante dentro del análisis descriptivo, fue evaluar el comportamiento de las variables desde un enfoque gráfico, para lo cual se hizo uso de la representación de las series de tiempo con el fin de describir paso a paso como se movían las variables según las mediciones tomadas para cada uno de los sistemas.

Con el fin de comparar estadísticamente los dos sistemas respecto a la DQO, DBO y la eficiencia, se hizo uso de la *prueba de hipótesis para comparación de medias entre dos poblaciones independientes*. Antes de aplicar esta prueba se aplicó la *prueba de diferencia de varianzas entre las dos poblaciones* como requisito indispensable para la comparación de medias y para determinar si las variables de análisis eran igualmente variables entre las dos poblaciones.



El objetivo de este estudio no fue solamente comparar la eficiencia entre los dos sistemas, fue a su vez comparar la eficiencia al interior de cada planta de tratamiento, para lo cual se utilizó la prueba de *comparación de medias para muestras pareadas*, donde las muestras pareadas en cada planta se definen como los datos tomados a la entrada y salida del proceso de tratamiento de agua.

#### 4.3.1 Sistema Palatino.

##### 4.3.1.1 Análisis Descriptivo.

Para el análisis se compararon los datos registrados a la entrada y salida del sistema como se muestra en la Tabla 9:

**Tabla 9.. Datos de entrada al sistema Palatino**

PALATINO (DATOS ENTRADA)					
ESTADISTICA	CE $\mu$ S/cm	DBO mg/L	DQO mg/L	T Agua °C	OD mg/L
TOTAL DATOS	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
PROMEDIO	1039,00	88,47	181,39	25,83	2,05
MEDIANA	1034,00	74,00	149,00	25,90	1,94
VARIANZA	1336,50	1125,01	6165,26	0,58	0,23
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	36,56	33,54	78,52	0,76	0,48
MINIMO	976,00	49,55	94,00	24,70	1,26
MAXIMO	1098,00	162,00	361,00	26,80	2,98
RANGO	122,00	112,45	267,00	2,10	1,72
COEFICIENTE DE SESGO	0,13	1,90	2,16	-0,39	0,52
COEFICIENTE DE CURTOSIS	-0,42	0,82	1,21	-1,13	-0,24
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	3,52%	37,91%	43,29%	2,96%	23,48%
PALATINO (DATOS ENTRADA)					
ESTADISTICA	pH un	Ssed mg/L	ST mg/L		
TOTAL DATOS	13,00	13,00	13,00		
PROMEDIO	7,49	1,26	553,69		
MEDIANA	7,49	0,90	548,00		
VARIANZA	0,06	0,89	4601,90		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,24	0,94	67,84		
MINIMO	7,05	0,30	406,00		
MAXIMO	7,96	3,90	722,00		
RANGO	0,91	3,60	316,00		
COEFICIENTE DE SESGO	-0,11	3,05	0,71		
COEFICIENTE DE CURTOSIS	0,32	3,60	3,25		
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	3,21%	74,75%	12,25%		

Ce : Conductividad eléctrica, T: temperatura, OD: oxígeno Disuelto, Ssed: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos Totales.

Fuente: Autor, 2007

De acuerdo a los datos anteriores y específicamente, a las estadísticas que evalúan la variabilidad de cada factor, principalmente el coeficiente de variación se evidenció que hubo cuatro factores que no variaron significativamente en el estado de los vertimientos antes de la entrada al sistema (los valores dentro del paréntesis hacen referencia al valor promedio y de tendencia de estas variables):



pH (7,49), Temperatura del agua (25,83 °C), CE (1039  $\mu\text{S/cm.}$ ) y ST (553.69 mg/L). Los demás factores tuvieron una alta variabilidad (como se muestra en el coeficiente de variación), que dependiendo del momento en el día, tienen un cambio importante en la tendencia general.

Los valores de DQO y DBO fueron bastante variables dependiendo de la hora del día. Los resultados de la estadística descriptiva a la salida del sistema se encuentran en la Tabla 10:

**Tabla 10** Datos a la salida del sistema Palatino

PALATINO (DATOS SALIDA)					
ESTADISTICA	Ce $\mu\text{S/cm.}$	DBO mg/L	DQO mg/L	T Agua °C	OD mg/L
TOTAL DATOS	13	13	13	13	13
PROMEDIO	1081	27,1174	55,6154	24,3385	1,49923
MEDIANA	1081	6,062	14	24,1	0,98
VARIANZA	606,33	877,185	3866,76	1,0109	3,87661
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	24,624	29,6173	62,1832	1,00543	1,96891
MINIMO	1009	1,29	3	23,2	0,31
MAXIMO	1111	71	157	26	7,79
RANGO	102	69,71	154	2,8	7,48
COEFICIENTE DE SESGO	-3,0864	0,947885	1,13389	0,733758	4,60053
COEFICIENTE DE CURTOSIS	4,9648	-1,10564	-0,932821	-0,914013	7,73282
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	2,28%	109,22%	111,81%	4,13%	131,33%
PALATINO (DATOS SALIDA)					
ESTADISTICA	pH un	Ssed mg/L	ST mg/L	EFICIENCIA DBO %	EFICIENCIA DQO%
TOTAL DATOS	13	13	13	13,00	13,00
PROMEDIO	7,49	0,1	414,769	0,71	0,70
MEDIANA	7,56	0,1	502	0,88	0,85
VARIANZA	0,0473167	0	31169	0,09	0,10
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,217524	0	176,548	0,30	0,32
MINIMO	7,13	0,1	6	0,13	0,09
MAXIMO	7,89	0,1	538	0,99	0,99
RANGO	0,76	0	532	0,86	0,90
COEFICIENTE DE SESGO	0,0329579	0	-2,22643	-1,01	-1,34
COEFICIENTE DE CURTOSIS	-0,453306	0	0,792377	-0,74	-0,42
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	2,90%	0%	42,57%	42,22%	45,35%

Ce: Conductividad eléctrica, T: temperatura, OD: oxígeno Disuelto, Ssed: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos Totales.

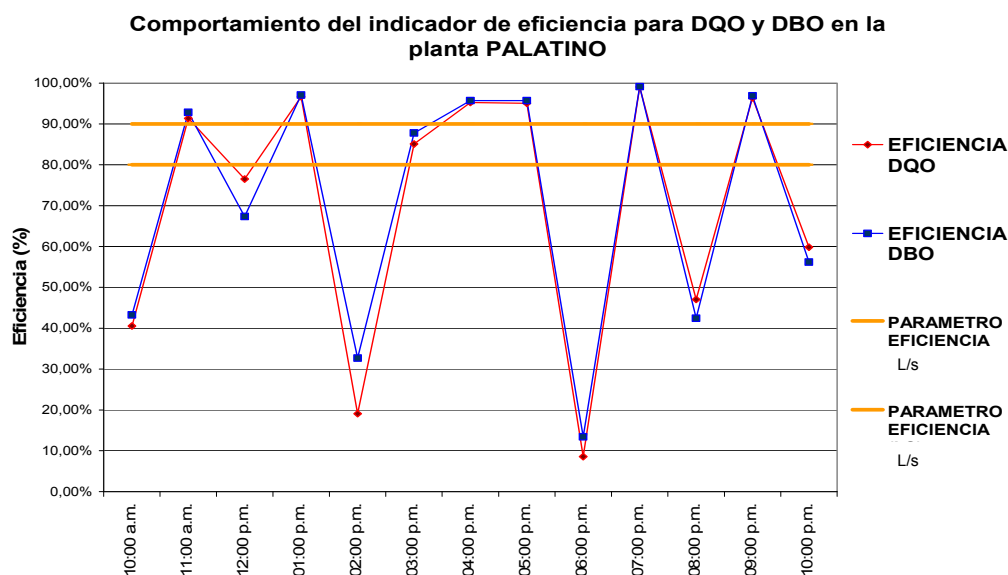
Fuente: Autor, 2007

Al comparar las tablas de estadísticas para describir los datos de entrada y salida, se evidenció que aunque hubo factores que se modificaron sustancialmente en su valor promedio y que permanecieron constantes, como la temperatura, Conductividad eléctrica y pH; existen otros factores que son mucho más variables en la salida del proceso (menos estables) y que generalmente tuvieron un valor promedio inferior en la salida que en la entrada tales como el DBO, DQO y OD, los cuales tuvieron un valor promedio en la salida del sistema de 27.11 mg/L, 55.61 mg/L y 1.49 mg/L, respectivamente. Por otro lado, los sólidos sedimentables en la salida del sistema fue constante, no varió, y se estableció en un valor de 0.1 ml/L.



#### 4.3.1.2 Análisis del comportamiento a través del tiempo

**Figura 43:** Comportamiento Palatino



Fuente: Autor 2007

Como se muestra en la Figura 43 y los parámetros de diseño para Humedales (ver Anexo A), la eficiencia de remoción de DBO y DQO para estos sistemas está entre los 80 y 90 % mostrando también un patrón similar en el comportamiento de los dos parámetros. Hay una variación inconstante en el día, ya que va desde el 10% a las 6:00 de la tarde y el 98 % a las 7:00 de la noche. Se debe tener en cuenta que estas muestras fueron tomadas hora a hora y las concentraciones cambian sus características dependiendo de la hora en que sean tomadas. La contrariedad es que hay cambios muy bruscos de DBO y DQO durante la toma de muestras. En promedio en el día, la mayoría de las muestras supera el 80% de remoción.

#### 4.3.1.3 Comparación de medias con respecto a la Norma Cubana NC 27/1999

Las diferencias descriptivas antes mostradas, se evaluaron con metodologías más formales que permitieron identificar si tales diferencias eran significativas o no.

Se compararon las condiciones de los vertimientos a la salida de cada sistema de tratamiento contra la norma Cubana NC 27 (ver Anexo D). El análisis estadístico fue realizado por medio de los Programas *Stat Graphics* version 5.1 y *SPSS* versión 11 como se puede ver en el Anexo I. También se tuvo en cuenta los porcentajes mínimos de remoción de DBO y DQO del 80 % según los parámetros de diseño para humedales de Flujo Superficial.

La Tabla 11 es una tabla que resume los resultados obtenidos para los diferentes parámetros.



(Tabla 11) Prueba de Hipótesis Palatino

	CE	pH	T	Ssed	OD
<b>Hipótesis de estudio</b>	3500 $\mu$ S/cm.	9 un	50 °C	5 mL/L	>2 mg/L
<b>Media</b>	1081	7,49	24,3385	0,1	1,49923
<b>Desviación Estándar</b>	24,6238	0,217524	1,00543	1,00E-08	1,96891
<b>Tamaño de la muestra</b>	13	13	13	13	13
<b>95,0% intervalo de confianza para la media:</b>	1081,0 +/- 14,88 [1066,12&1095,88]	7,49 +/- 0,13144 [7,35&7,62]	24,3385 +/- 0,607577 [23,73&24,94]	0,1 +/- 6,04295E-9 [0,1&0,1]	1,49923 +/- 1,1898 [0,309&2,68]
<b>La Hipótesis nula: la media</b>	3500	9	50	5	2
<b>La alternativa:</b>	>	>	>	>	<
<b>La estadística de t computada</b>	-354,203	-25,0289	-92,0242	-1,77E+09	-0,917031
<b>El P-valor</b>	1	1	1	1	0,188594
<b>Se rechaza la hipótesis nula para el alfa= 0.05</b>	No	No	No	No	No

	DBO	DQO	Efi DBO	Efi DQO
<b>Hipótesis de estudio</b>	60 mg/l	120 mg/l	>80%	>80%
<b>Media</b>	27,1174	55,6154	0,71	0,7
<b>Desviación Estándar</b>	29,6173	62,1832	0,3	0,32
<b>Tamaño de la muestra</b>	13	13	13	13
<b>95,0% intervalo de confianza para la media:</b>	27,1174 +/- 17,8976 [9,21&45,01]	55,6154 +/- 37,577 [18,03&93,19]	0,71 +/- 0,181289 [0,52&0,89]	0,7 +/- 0,193374 [0,50&0,89]
<b>La Hipótesis nula: la media</b>	60,0	120,0	0,8	0,8
<b>La alternativa:</b>	>	>	<	<
<b>La estadística de t computada</b>	-4,00306	-3,73319	-1,08167	-1,12673
<b>El P-valor</b>	0,999124	0,998571	0,15033	0,140941
<b>Se rechaza la hipótesis nula para el alfa= 0.05</b>	No	No	No	No

CE: Conductividad eléctrica, T: temperatura, OD: oxígeno Disuelto, Ssed: Sólidos sedimentables,  
Fuente: Autor, 2007





La mayoría de los parámetros cumplieron con los requerimientos exigidos por la norma. La Conductividad Eléctrica (no excedió 3500  $\mu$  S/cm.), pH (no excedió las 9 unidades), Temperatura (no fue superior a 50 °C), Sólidos Sedimentales Totales (no fueron superiores a 5 mL/L), el Oxígeno Disuelto (no fue menor que 2 mg/L).

Para este sistema, la eficiencia promedio de DQO y DBO fue superior al 80%, de acuerdo a las pruebas de hipótesis, el valor promedio de DBO fue inferior o alrededor de 60 mg/L, es decir que cumplió con los parámetros exigidos por la normatividad.

#### 4.3.2 Sistema Cubeco

##### 4.3.2.1 Análisis descriptivo.

Para analizar los resultados obtenidos en Cubeco, se realizó el mismo trabajo ya mostrado con el sistema Palatino, comparando los datos de entrada y salida del sistema como es mostrado en la Tabla 12

**Tabla12** Datos de entrada del sistema Cubeco

CUBECO (DATOS ENTRADA)					
ESTADISTICA	CE $\mu$ S/cm.	DBO mg/L	DQO mg/L	T Agua °C	OD mg/L
TOTAL DATOS	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
PROMEDIO	914,67	170,56	341,39	24,11	3,04
MEDIANA	860,00	160,50	301,00	24,20	3,21
VARIANZA	33417,40	13767,40	51554,10	0,61	0,95
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	182,80	117,34	227,06	0,78	0,97
MINIMO	750,00	47,00	101,00	22,50	1,03
MAXIMO	1575,00	510,00	971,00	25,60	4,28
RANGO	825,00	463,00	870,00	3,10	3,25
COEFICIENTE DE SESGO	5,23	2,54	2,39	-0,36	-0,81
COEFICIENTE DE CURTOSIS	9,37	2,54	1,93	-0,10	-0,76
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	19,99%	68,80%	66,51%	3,24%	32,11%
CUBECO (DATOS ENTRADA)					
ESTADISTICA	pH	Ssed mg/L	ST mg/L		
TOTAL DATOS	18,00	18,00	18,00		
PROMEDIO	7,36	2,98	586,89		
MEDIANA	7,41	3,25	585,00		
VARIANZA	0,04	3,74	51775,60		
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,21	1,93	227,54		
MINIMO	6,83	0,20	398,00		
MAXIMO	7,60	6,30	1400,00		
RANGO	0,77	6,10	1002,00		
COEFICIENTE DE SESGO	-2,38	-0,20	5,00		
COEFICIENTE DE CURTOSIS	1,68	-0,74	8,89		
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	2,84%	64,86%	38,77%		

CE: Conductividad eléctrica, T: temperatura, OD: oxígeno Disuelto, Ssed: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos Totales. Fuente: Autor, 2007





Conforme a los datos anteriores y a las estadísticas que evaluaron la variabilidad de cada factor principalmente en el coeficiente de variación, se evidenció que hay tres factores que no variaron significativamente en el afluente (los valores dentro del paréntesis hacen referencia al valor promedio y de tendencia de estas variables): pH (7,36), Temperatura del agua (24.11 °C) y CE (914.67  $\mu$ S/cm.). Los demás factores presentaron una variabilidad moderada que, dependiendo del momento en el día, manifestaron un cambio importante en la tendencia general.

De nuevo, en este sistema, los valores de DQO y DBO fueron bastante variables con base en las mediciones tomadas sobre los vertimientos antes de entrar al sistema, lo que indica que las características de los vertimientos no fueron las mismas durante el día

Los resultados de la estadística descriptiva a la salida del sistema *Cubeco* se señala en la Tabla 13:

**Tabla 13** Datos de salida del sistema *Cubeco*

ESTADISTICA	CE $\mu$ S/cm.	DBO mg/L	DQO mg/L	EFICIENCIA DBO %	EFICIENCIA DQO %
TOTAL DATOS	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
PROMEDIO	1016,94	42,00	90,78	0,65	0,63
MEDIANA	1019,50	34,50	76,00	0,65	0,63
VARIANZA	1926,88	373,41	1466,54	0,05	0,04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	43,90	19,32	38,30	0,22	0,20
MINIMO	868,00	21,00	50,00	0,13	0,19
MAXIMO	1081,00	92,00	189,00	0,93	0,93
RANGO	213,00	71,00	139,00	0,81	0,74
COEFICIENTE DE SESGO	-3,80	2,24	2,22	-1,42	-0,54
COEFICIENTE DE CURTOSIS	7,09	1,10	0,95	0,66	-0,20
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	4,32%	46,01%	42,19%	33,26%	32,15%
<b>CUBECO (DATOS SALIDA)</b>					
ESTADISTICA	OD mg/L	pH un	Ssed mg/L	ST mg/L	T Agua °C
TOTAL DATOS	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
PROMEDIO	2,97	7,46	0,98	369,56	23,64
MEDIANA	3,09	7,50	1,10	402,00	23,80
VARIANZA	1,50	0,02	0,67	14229,40	0,74
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	1,23	0,14	0,82	119,29	0,86
MINIMO	0,27	7,05	0,10	186,00	22,00
MAXIMO	4,40	7,68	2,20	566,00	24,60
RANGO	4,13	0,63	2,10	380,00	2,60
COEFICIENTE DE SESGO	-1,57	-2,45	0,30	-0,52	-0,94
COEFICIENTE DE CURTOSIS	0,25	2,83	-1,48	-0,80	-0,86
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	41,34%	1,89%	83,42%	32,28%	3,63%

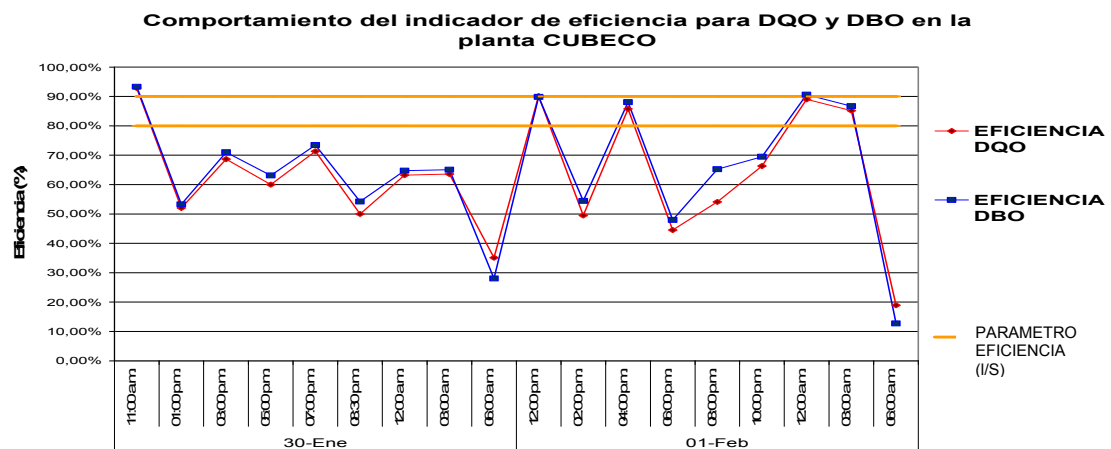
CE: Conductividad eléctrica, T: temperatura, OD: oxígeno Disuelto, Ssed: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos Totales.  
Fuente: Autor, 2007



Comparando las tablas estadísticas, a la entrada y la salida del sistema, se evidenciaron algunos factores que modificaron sustancialmente en su valor promedio y otros que permanecieron constantes como la temperatura, la conductividad eléctrica y el pH. Otros factores como la DBO, DQO, OD y los Sólidos fueron mucho más variables en la salida del proceso (menos estables) y que generalmente tuvieron un valor promedio inferior en la salida que en la entrada del proceso, los cuales tuvieron un valor promedio en la salida del sistema de 42 mg/L, 90.78 mg/L, 2.97 mg/L y 0.98 ml/L, respectivamente.

#### 4.3.2.2 Análisis del comportamiento a través del tiempo

**Figura 44** Comportamiento Cubeco



Fuente: Autor, 2007

En la Figura 44 se puede verificar el comportamiento de la DBO y DQO respecto a los días y las horas en que fueron tomadas las muestras, observando que los parámetros no superaron en muchos momentos el 80 % de remoción, esencial en los procesos de lodos activados que generalmente tiene una eficiencia del 90 %. Se puede observar también que el comportamiento en remoción tanto de DBO como de DQO es muy similar, si no idéntico.

#### 4.3.2.3 Comparación de medias con respecto a la Norma Cubana NC 27/1999.

Las diferencias descriptivas, se avalúan a continuación con metodologías más formales que permitieron identificar si las diferencias son significativas o no.

Se compararon las condiciones de los vertimientos de salida del sistema *Cubeco* contra la norma Cubana. El análisis estadístico fue realizado por medio de los Programas *Stat Graphics* versión 5.1 y *SPSS versión* 11. También se tuvieron en cuenta los porcentajes mínimos de remoción de DBO y DQO del 80 % según los parámetros de diseño.

La Tabla 14 resume los resultados obtenidos para los diferentes parámetros.



<b>(Tabla 14) Prueba de Hipótesis Cubeco</b>					
	<b>CE</b>	<b>pH</b>	<b>T</b>	<b>Ssed</b>	<b>OD</b>
<b>Hipótesis de estudio</b>	3500 m S/cm.	9 un	50 °C	5 mL/L	>2 mg/L
<b>Media</b>	1016,94	7,46	23,64	0,98	2,97
<b>Desviación Estándar</b>	43,9	0,14	0,86	0,82	1,23
<b>Tamaño de la muestra</b>	18	18	18	18	18
<b>95,0% intervalo de confianza para la media:</b>	1016,94 +/- 21,831 [995,10&1038,77]	7,46 +/- 0,0696205 [7,39&7,52]	23,64 +/- 0,427669 [23,21&24,06]	0,98 +/- 0,407777 [0,57&1,38]	2,97 +/- 0,611666 [2,35&3,58]
<b>La Hipótesis nula: la media</b>	3500	9	50	5	2
<b>La alternativa:</b>	>	>	>	>	<
<b>La estadística de t computada</b>	-239,971	-46,669	-130,042	-20,7993	3,34582
<b>El P-valor</b>	1	1	1	1	0,998084
<b>Se rechaza la hipótesis nula para el alfa= 0.05</b>	No	No	No	No	No

	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>Efi DBO</b>	<b>Efi DQO</b>
<b>Hipótesis de estudio</b>	60 mg/l	120 mg/l	>80%	>80%
<b>Media</b>	42,0	90,78	0,63	0,65
<b>Desviación Estándar</b>	19,32	38,3	0,2	0,22
<b>Tamaño de la muestra</b>	18	18	18	18
<b>95,0% intervalo de confianza para la media:</b>	42,0 +/- 9,60763 [32,39&51,60]	90,78 +/- 19,0462 [71,73&109,82]	0,63 +/- 0,0994579 [0,53&0,72]	0,65 +/- 0,109404 5[0,54&0,75]
<b>La Hipótesis nula: la media</b>	60	120,0	0,8	0,8
<b>La alternativa:</b>	>	>	<	<
<b>La estadística de t computada</b>	-3,95277	-3,23681	-3,60624	-2,89271
<b>El P-valor</b>	0,999486	0,997576	0,00108976	0,00505894
<b>Se rechaza la hipótesis nula para el alfa = 0.05</b>	No	No	Si	Si

CE: Conductividad eléctrica, T: temperatura, OD: oxígeno Disuelto, Ssed: Sólidos sedimentables., Fuente: Autor, 2007



Según e la norma Cubana NC 27, la mayoría de los parámetros analizados cumplieron con los requerimientos exigidos. La conductividad eléctrica (no excedió 3500  $\mu$  S/cm.), pH (no excedió las 9 unidades), la Temperatura (no fue superior a 50 °C), Sólidos Sedimentables Totales (no fueron superiores a 5 mL/L), el Oxígeno Disuelto (no fue menor que 2 mg/L).

La eficiencia del sistema no superó el 80% de DBO como se mostró en el intervalo de confianza (intervalo de confianza entre  $[0,530542 \text{ \& } 0,729458] * 100$ ), rechazando la hipótesis nula y confirmando el análisis del comportamiento a través del tiempo (mostrado anteriormente en la figura 46), la eficiencia del sistema no cumplió con los parámetros de diseño para lodos activados.

Las pruebas de hipótesis confirmaron que los vertimientos del sistema *Cubeco* cumplen con los parámetros exigidos de DBO y DQO al ser inferiores de 60 mg/L y 120 mg/L respectivamente.

#### 4.3.3 Comparación de DBO y DQO entre los dos (2) sistemas.

Los anteriores resultados corresponden a la evaluación de los factores al interior de cada planta de tratamiento; sin embargo, es muy importante para este estudio realizar una comparación entre los dos sistemas para los niveles de DQO y DBO, así como para la eficiencia de cada uno de ellos. Los demás factores no son objeto de comparación dado que presentan resultados dentro de la norma y no tienen una diferencia significativa entre los dos sistemas.

Para realizar la prueba de diferencia de medias es necesario realizar una prueba de hipótesis preliminar que consiste en comparar las varianzas entre las dos poblaciones respecto a la variable objetivo, como se muestra en Tabla 15



**Tabla 15** Comparación de DBO y DQO entre los sistemas Palatino y Cúbeo

<b>Prueba de Hipótesis (Prueba de diferencia de varianzas) Preliminar</b>				
	DBO	DQO	Eficiencia de DBO	Eficiencia de DQO
<b>Desviación estándar</b>	29,6173 y 19,32	62,1832 y 38,3	0,3 y 0,22	0,32 y 0,2
<b>Los tamaños de la muestra</b>	13 y 18	13 y 18	13 y 18	13 y 18
<b>95,0% intervalo de confianza para la proporción de varianzas</b>	[0,83&7,35]	[0,93&8,24]	[0,65&5,81]	[0,90&8,00]
<b>La Hipótesis nula: la Tasa de varianzas</b>	1	1	1	1
<b>La alternativa</b>	≠	≠	≠	≠
<b>La estadística de F computada</b>	2,35005	2,63602	1,8595	2,56
<b>El P-valor</b>	0,105038	0,066819	0,235782	0,0752409
<b>Se rechaza la hipótesis nula para el alfa</b>	No	No	No	No
<i>De acuerdo al resultado anterior, se asume que las varianzas son iguales con un nivel de error del 5%.</i>				
<b>Prueba de Diferencia de Medias</b>				
<b>Media</b>	27,1174 y 42,0	181,39 y 90,78	0,71 y 0,65	0,63 y 0,7
<b>Desviación estándar</b>	29,6173 y 19,32	78,52 y 38,3	0,3 y 0,22	0,2 y 0,32
<b>Los tamaños de la muestra</b>	13 y 18	13 y 18	13 y 18	13 y 18
<b>95,0% intervalo de confianza para la Media</b>	-14,88 +/-17,95 [-32,83&3,072]	90,61 +/- 43,47 [47,13&134,08]	0,06 +/- 0,19[- 0,13&0,250]	-0,07 +/- 0,20[- 0,27&0,13]
<b>La Hipótesis nula: diferencia entre medas</b>	0	0	0	0
<b>La alternativa</b>	≠	≠	≠	≠
<b>La estadística de t computada</b>	-1,69	4,26	0,64	-0,69
<b>El P-valor</b>	0,100	0,00019	0,524	0,492
<b>Se rechaza la hipótesis nula para el alfa = 0,05</b>	No	Si	No	No

(Se asumieron variaciones iguales)

Fuente: Autor, 2007



A partir de los resultados de la tabla dieciocho (18) se puede observar que no hubo diferencia entre los dos sistemas para los valores de eficiencia entre la DBO y DQO ni para la DBO, ya que no rechazan la hipótesis nula; sin embargo, para el valor medio de DQO se evidencia una diferencia importante entre los sistemas, el valor promedio de DQO fue menor para Palatino que para *Cubeco*, con una diferencia estimada de 7% y un nivel de error en la prueba de hipótesis del 5%.

○ De manera general se puede verificar que al realizar la comparación entre las dos plantas a partir del resultado de la *estadística descriptiva* se obtuvo:

La concentración de los parámetros de vertimientos en la entrada al sistema de tratamiento fue casi el doble en el sistema *Cubeco* que en Palatino, al evaluar los valores promedios de DBO y DQO: *Palatino* 88.47 mg/L y 181.39 mg/L, *Cubeco* 170.56 mg/L y 341.39 mg/L. Por otro lado, las condiciones de los vertimientos al evaluar estos factores fueron más variables en *Cubeco* que en Palatino, por ejemplo, mientras en Palatino los valores mínimo y máximo registrados para DQO fueron de 94 mg/L y 361 mg/L, para *Cubeco* fueron 101 mg/L y 971 mg/L.

El porcentaje medio de eficiencia respecto a DBO y DQO fué mayor en Palatino que en *Cubeco* con una diferencia de 6% y 7% de remoción, seguramente este resultado estuvo afectado por las condiciones de los vertimientos en la entrada de los dos sistemas. No obstante, los valores de DQO y DBO en la salida del sistema de tratamiento, fueron más variables en Palatino que en *Cubeco*, por ejemplo, mientras en Palatino los valores mínimo y máximo registrados para DQO fueron de 3 mg/L y 157 mg/L, para *Cubeco* fueron 50 mg/L y 189 mg/L.

Como se evidencia en los gráficos de comportamiento, la mayoría de las mediciones obtenidas durante diferentes horas en un día para las dos plantas, tuvieron un porcentaje de eficiencia inferior a 80%, valor que corresponde al límite inferior del intervalo de eficiencia estandarizado para este tipo de Humedales. Es claro, adicionalmente, que el sistema Palatino aunque no toda su eficiencia porcentual fuera significativa, en general fue superior a la estimada por el sistema *Cubeco*.

○ De acuerdo a las pruebas de hipótesis anteriores se pudo deducir lo siguiente:

Los parámetros como Conductividad Eléctrica, pH, Temperatura, Sólidos Sedimentables y Oxígeno Disuelto, cumplieron con la normatividad cubana para el vertimiento de aguas residuales en los dos sistemas.

Para el sistema Palatino, la eficiencia promedio de DQO y DBO fue superior al 80%, de acuerdo a las pruebas de hipótesis, pero bajo este mismo criterio la eficiencia promedio para el sistema *Cubeco* fue inferior al 80%.



Tanto para la el sistema Palatino como para *Cubeco*, el valor promedio del efluente de DBO es inferior o alrededor de 60 mg/L, de acuerdo a las pruebas de hipótesis, cumpliendo con la normatividad cubana vigente.

#### 4.4 COMPORTAMIENTO ACTUAL DE LAS UNIDADES ECOTECNOLÓGICAS

A continuación se describe el comportamiento actual de los sistemas de tratamiento *Cubeco* y Palatino, teniendo en cuenta las caracterizaciones realizadas, análisis estadísticos, y su funcionamiento

##### 4.4.1 Sistema Palatino.

Es uno de los sistemas con mejor funcionamiento instalados en el GPMH, en la medida que ha tenido pocos problemas de obstrucción en sus tuberías de entrada, además de poseer un follaje frondoso que embellece los espacios con sus matices verdes (ver Figura 45).

**Figura 45** Follaje sistema Palatino



*Fuente: Autor, 2007*

El sistema no necesita muchos requerimientos técnicos para su correcto funcionamiento pero necesita que las bombas sean encendidas manualmente cada dos (2) horas aproximadamente pues el sistema eléctrico se encuentra dañado. El consumo de energía es mínimo ya que solo es utilizada una de las dos bombas instaladas.

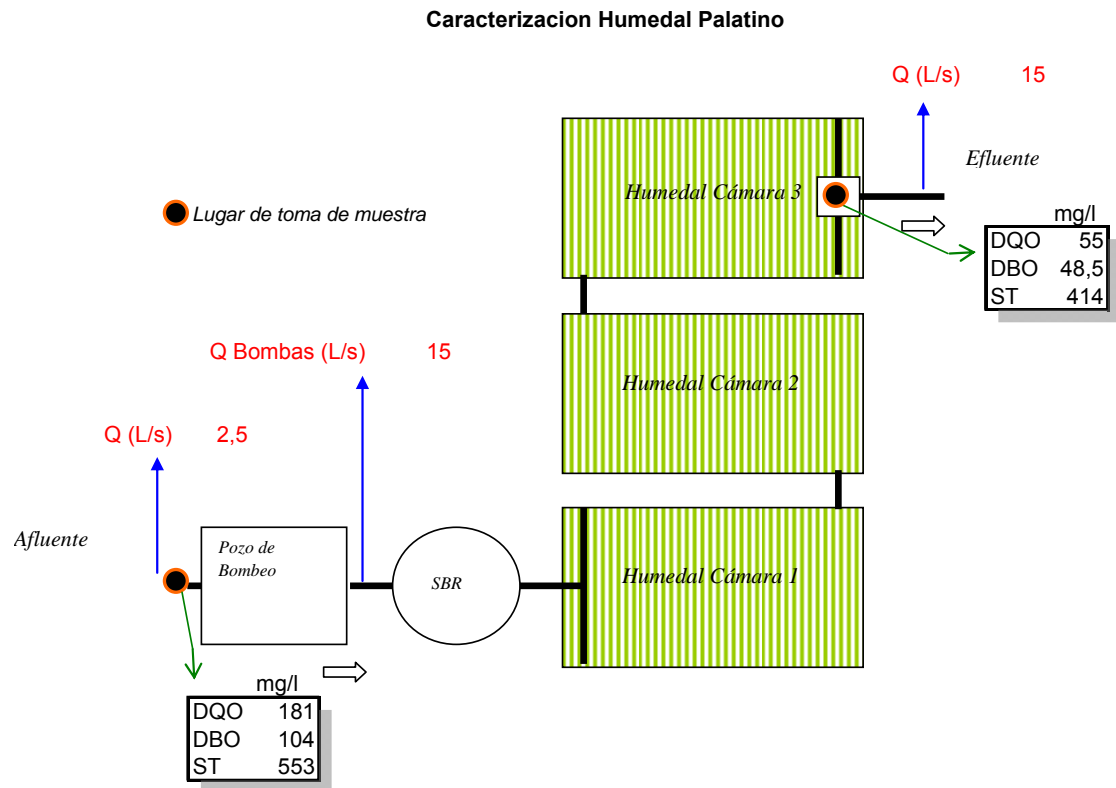
El Reactor de Cargas Secuenciales (SBR) no funciona como debiese, ya que la bomba de recirculación, se encuentra dañada desde la instalación del sistema; es decir que actualmente está funcionando como un trampa grasas, además de generar una cantidad considerable de sólidos al sistema.



Al observar las caracterizaciones integrales cuyos sitios y valores se indican en la Figura 46, se puede deducir que a la salida del sistema hay una elevada concentración de sólidos; la razón puede ser el daño de esta unidad (SBR).

Otro de los inconvenientes es que al sistema llegan vertimientos procedentes de alcantarillados con conexiones erradas que aumentan los caudales en épocas de lluvia y disminuyen los tiempos normales de retención del sistema, alterando sus características.

**Figura 46:** Caracterización a la entrada y salida del sistema Palatino



Fuente: Autor 2007

#### 4.4.2 Sistema Cubeco.

Para poder analizar las características actuales del sistema *Cubeco* es necesario estudiar los diferentes ensayos experimentales realizados y descritos anteriormente, así como de las caracterizaciones efectuadas en los diferentes puntos del sistema. Estas permiten detallar todos los componentes y dispositivos, para poder determinar conclusiones reales de su funcionamiento actual.

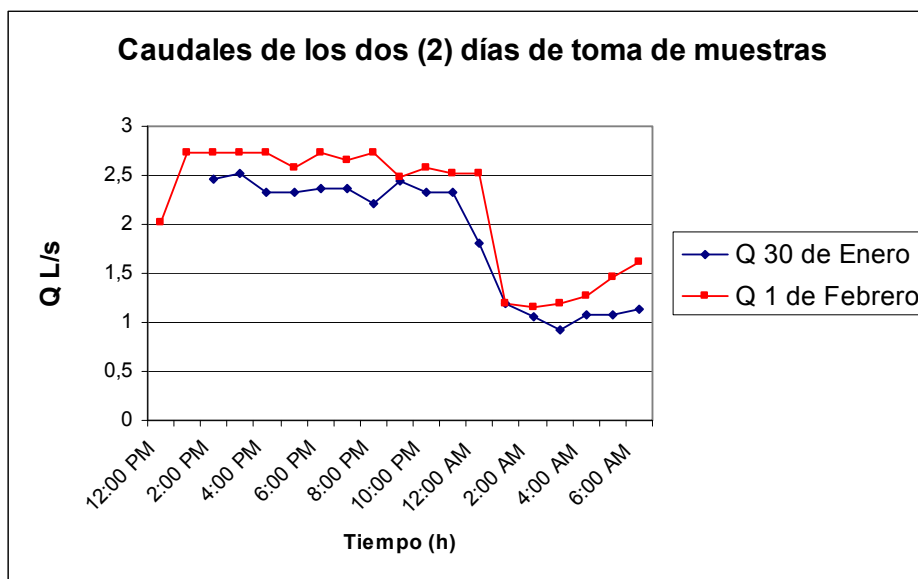




#### 4.4.2.1 Aforo de caudal.

Al realizar el aforo de caudal durante los días de muestra se obtuvieron los resultados ilustrados en la Figura 47.

**Figura 47:** Caudales del sistema Cubeco



Fuente: Autor, 2007

El caudal promedio actual que entra a la planta es de 2,6 L/s con picos máximos de 2,7 L/s a las 2:00 de la tarde y 8:00 de la noche, con caudales mínimos entre las 2:00 y 4:00 de la madrugada. Hay que aclarar que en el registro de entrada se vierte casi un 50% de lo que llega a la planta; es decir, que aproximadamente la planta llegan 7 L/s pero solo entra la mitad al sistema. Esto altera los tiempos de retención así como las características de remoción de contaminantes.

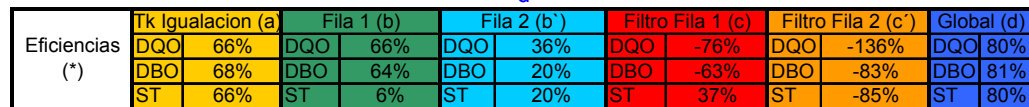
Otro punto interesante a recalcar es la variación de los caudales a diferentes horas del día. Se observa en la Figura 49 que su comportamiento a través del tiempo es muy similar para días diferentes

#### 4.4.2.2 Caracterizaciones y Balances de Materia

Para poder detallar el funcionamiento actual del sistema *Cubeco*, se observaron las caracterizaciones integrales realizadas durante los dos (2) días de toma de muestras y se realizó un balance de materia para definir la eficiencia global y puntual correspondiente a cada proceso en el sistema.

A continuación se muestran las caracterizaciones en mg/L, los balances de materia en kg/d y los caudales en L/s de los dos (2) días de muestra en cada uno de los puntos seleccionados del sistema *Cubeco*.

A right triangle with a vertical leg labeled  $b'$  and a horizontal leg labeled  $c'$ . The right angle is at the bottom-left vertex.



Convenciones: 7: Caudales en L/s



Gran Parque Metropolitano de  
La Habana



Es necesario aclarar que actualmente sólo hay especies vegetales de tipo *Kikuyo* (*Pennisétum clandestinum*) en los tanques de aireación dos (2) y tres (3) de la fila uno (1) como se aprecia en la Figura 48 y 49.

La caracterización realizada en la entrada del sistema *Cubeco* expone características típicas de aguas residuales domesticas

Los balances de materia señalados anteriormente, indican una eficiencia global del 80 % para DBO, DQO y Sólidos totales como se aprecia en el corchete [d], cumpliendo con los parámetros de diseño descritos en la bibliografía para el día 30 de enero, pero es necesario tener en cuenta los resultados estadísticos anteriormente mostrados para confirmar el correcto funcionamiento del sistema.

El tanque de igualación está removiendo una gran cantidad de carga contaminante (aproximadamente 68 % de DBO y DQO) como se ilustra en el corchete (a), además de tener un tiempo de retención de 12 horas se podría afirmar que este está actuando como un pozo séptico

La Fila uno (1) tiene una eficiencia de DQO y DBO de 65 % como se muestra en el corchete [b]; la Fila dos (2) tiene una eficiencia del 30 % como se muestra en el corchete [b'], deduciendo que este fenómeno se produzca por la presencia de especies vegetales en la fila 1, además de una mayor acumulación de microorganismos en las raíces de las plantas.

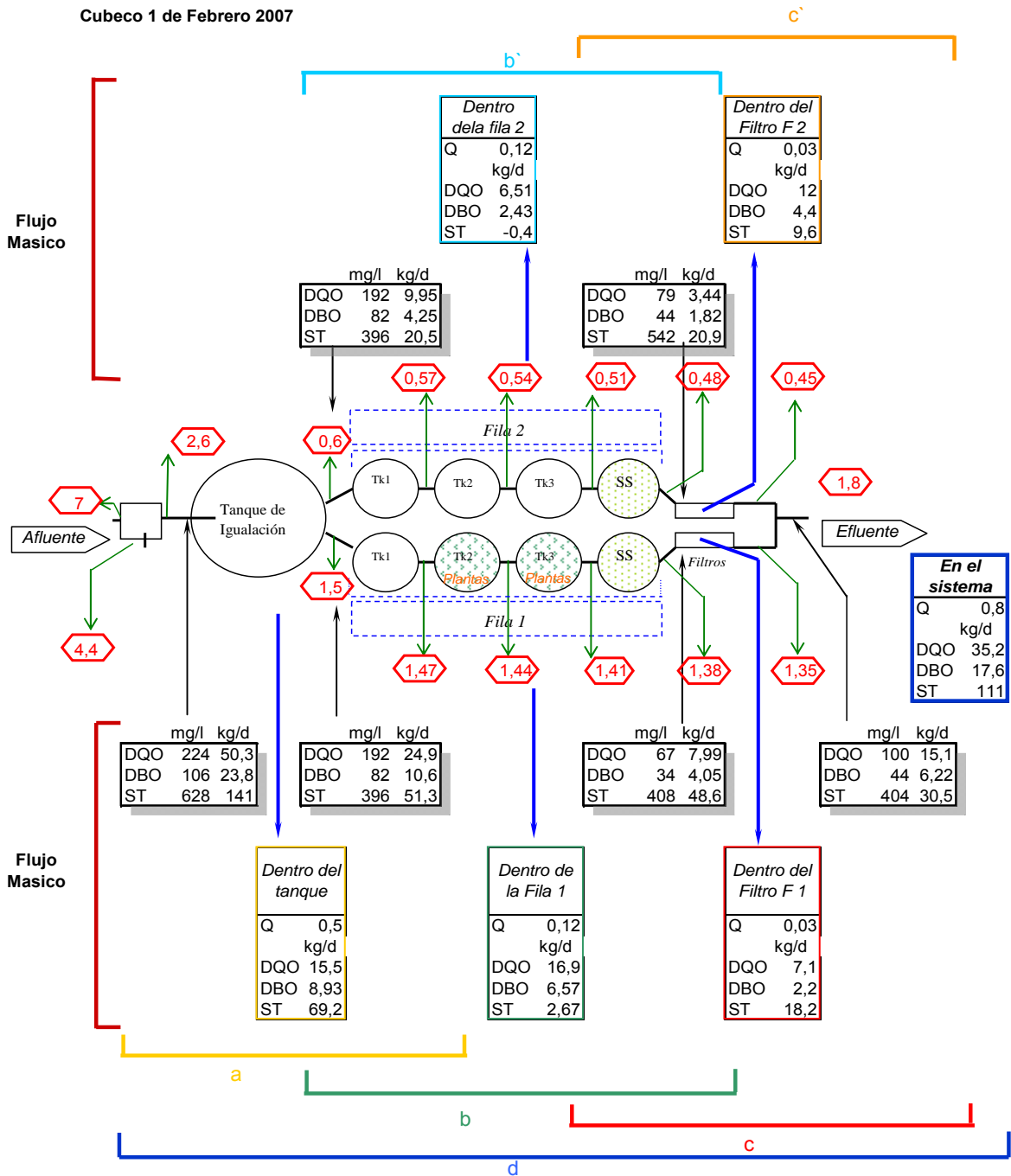
Los Filtros están aportando mayor carga contaminante al agua residual, con eficiencias contrarias a lo que se espera, actualmente los filtros no funcionan lo que deteriora la calidad del agua residual. De aquí que se genere cierto grado de contaminación dentro del filtro como se aprecio en los corchetes [c] y [c'].

A continuación en la Figura 49 se ilustran las caracterizaciones y balances de materia realizadas en el segundo día de toma de muestras en el sistema *Cubeco*.



**Figura 49: Balance de Materia del comportamiento sistema Cubeco, 1 de febrero de 2007**

Cubeco 1 de Febrero 2007



Eficiencias	Tk Igualacion (a)	Fila 1 (b)	Fila 2 (b')	Filtro Fila 1 (c)	Filtro Fila 2 (C')	Global (d)
DQO	51%	DQO 68%	DQO 65%	DQO -89%	DQO -338%	DQO 70%
DBO	55%	DBO 62%	DBO 57%	DBO -53%	DBO -241%	DBO 74%
ST	64%	ST 5%	ST -2%	ST 37%	ST -46%	ST 78%

(\*) Los colores de los corchetes con la letra indicados en el diagrama, corresponden a aquellos de la tabla de eficiencias.

Convenciones:

7: Caudales en L/s

Fuente: Autor, 2007



Las características del afluente para el día primero de febrero son también comunes a las aguas residuales domésticas, pero mas bajas comparadas con la caracterización anterior.

La eficiencia global del sistema no cumple con los parámetros de diseño ya que no supera el 80%, como se muestra en el corchete [d]; es necesario apoyarse en los análisis estadísticos para determinar un comportamiento adecuado del sistema.

El tanque de igualación asume la misma eficiencia con una remoción de DBO y DQO del 55% como se muestra en el corchete [a] y una gran parte de las cargas contaminantes permanece dentro del tanque (15.5 kg/d DQO), confirmando los datos de la caracterización anterior; este tanque puede estar funcionando como un pozo séptico, removiendo gran cantidad de cargas contaminantes en todo el sistema.

También se observa en la Fila uno (1) una eficiencia del 62 % de DBO como se indica en el corchete [b] y en la Fila dos (2) una eficiencia de 57% de DBO como se muestra en el corchete [b`], este resultado indica una mayor eficiencia en la Fila 1 deduciendo un efecto del trabajo de las plantas para la remoción de contaminantes en el sistema.

Los Filtros generan, como en la caracterización anterior, una mayor carga contaminante al efluente, confirmando el mal funcionamiento de este dispositivo como se observa en el corchete [c] y [c`] (eficiencia DQO -338%)

Los análisis realizados durante los dos (2) días muestran las características actuales del sistema *Cubeco*, pero para tener una mayor validez, se analizarán a continuación las pruebas de operación y control realizados en el sistema.

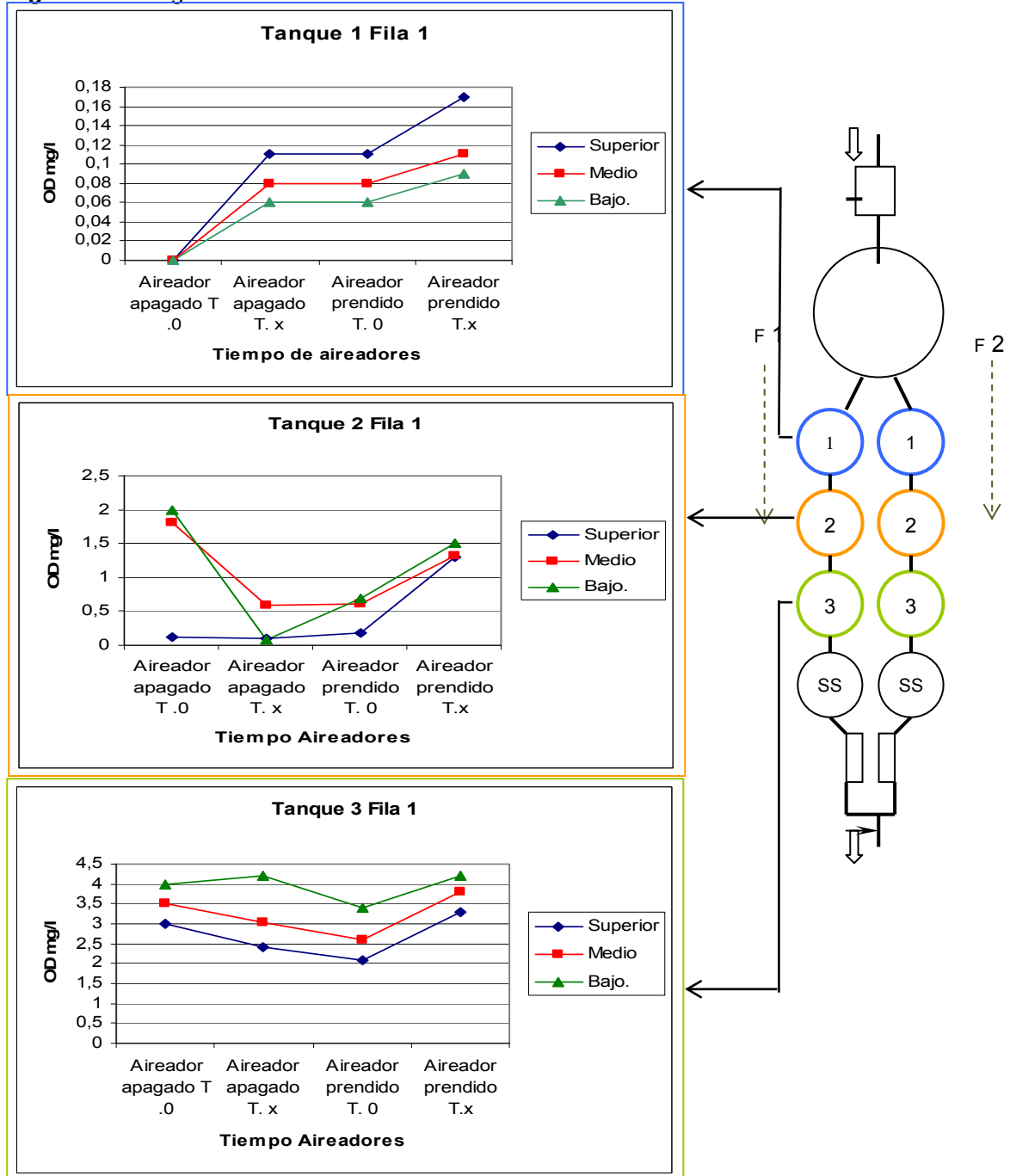
#### 4.4.2.3 Resultados de las pruebas de operación y control

Como se especificó anteriormente, se realizaron diferentes pruebas y ensayos experimentales los cuales ayudan a corroborar los datos estadísticos y de balance obtenidos en el sistema *Cubeco*. Estos también dan una base para el desarrollo de la propuesta de optimización.

- Oxígeno Disuelto: Los resultados obtenidos al tomar las concentraciones de oxígeno disuelto en diferentes puntos de los tanques de aireación, se explican a continuación en las Figuras 50 y 51:



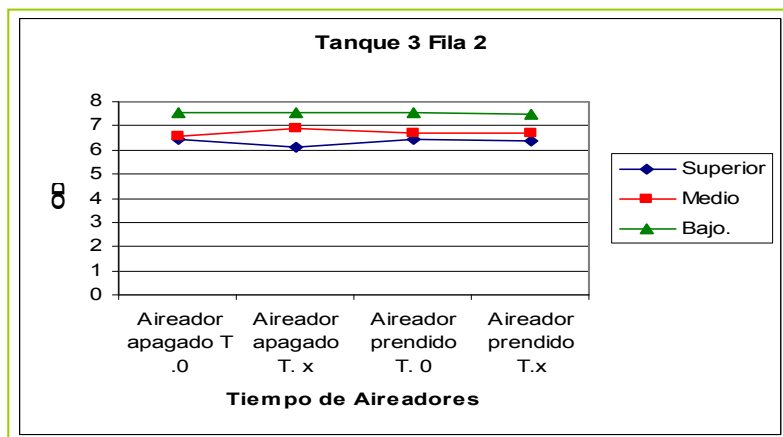
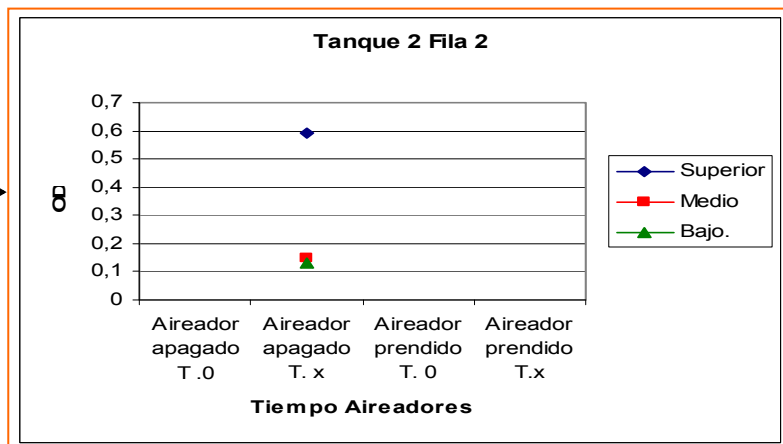
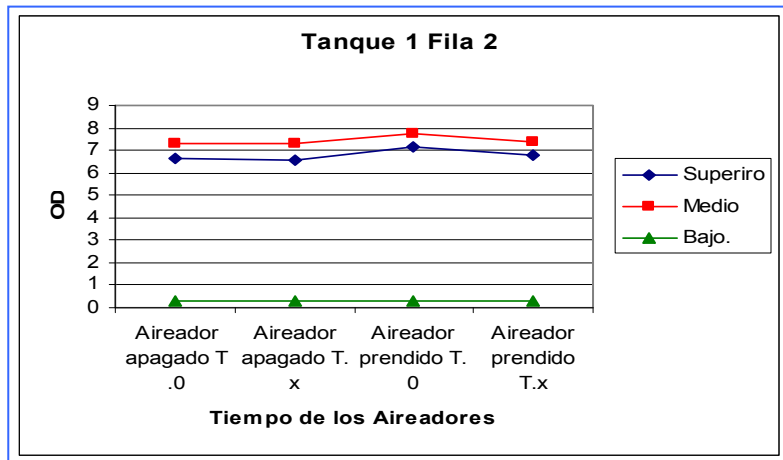
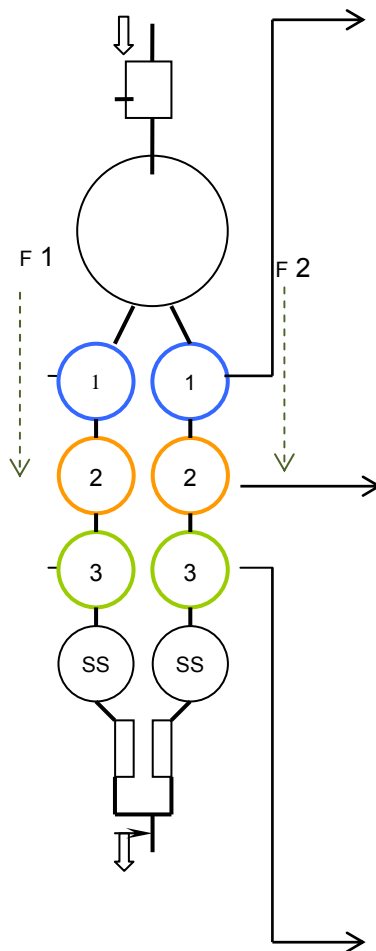
**Figuras 50: Oxígeno disuelto. Fila 1 con Plantas**



Fuente: Autor, 2007



**Figura 51:** Oxígeno Disuelto. Fila 2 sin Plantas.



Fuente: Autor, 2007

Las Figuras 50 y 51 exponen una distribución desorganizada del sistema en las dos filas de tanques. En la fila 1 el Oxígeno Disuelto no excede los 4 mg/L mostrado en el tanque tres (3), en la fila dos (2) se encuentran concentraciones entre 7,5 mg /L, y 6 mg/L. Una de las razones es, (como se especifico



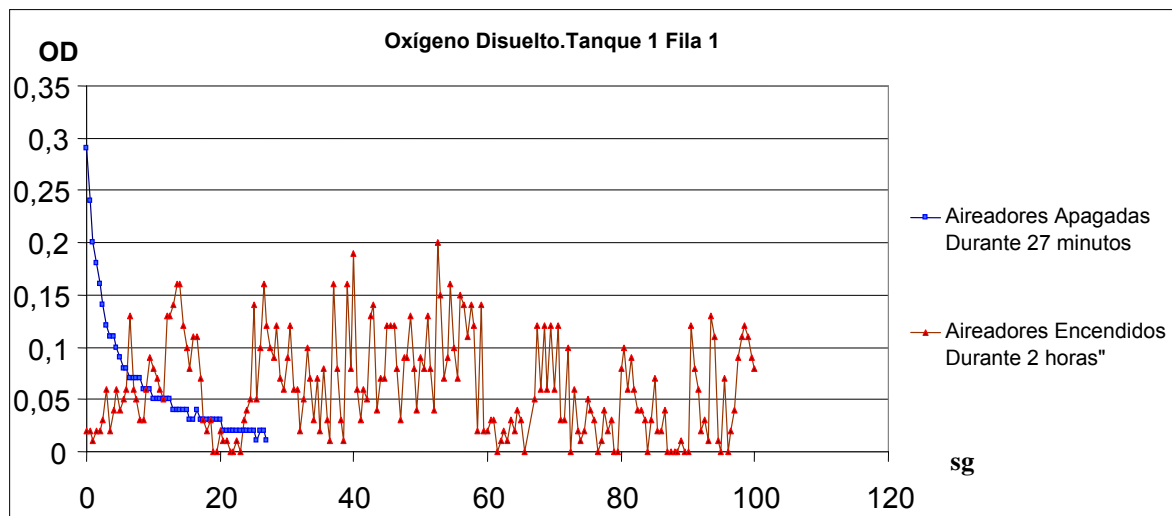
anteriormente), la fila dos (2) se encuentra sin especies vegetales, esto influye en las características de Oxígeno disuelto tomados en cada tanque.

En el tanque uno (1) de la fila uno (1) se observan bajas concentraciones de OD (0.16 mg/L), mientras que en el tanque tres (3), hay una aireación en su parte inferior de 4,20 mg/l, esto verifica que la descarga de aire de los sistemas de aireación no es uniforme en los tanques.

El sistema de aireación del tanque dos (2) de la fila dos (2) se encontraba dañado, por problemas de obstrucción en sus tuberías, por esta razón se observan graficados puntos en los niveles de altura.

Al medir el oxígeno disuelto en el tanque uno (1) de la fila uno (1), con los aireadores encendidos y apagados, durante dos (2) horas, se obtuvo el siguiente resultado.

**Figura 52** Oxígeno disuelto en el Tanque 1 fila 1



Fuente: Autor, 2007

La Figura 52 evidencia que en los dos estados: [1] Aireadores apagados y [2] Aireadores encendidos, el Oxígeno Disuelto (OD) no es superior a 2 mg/L, el cual corresponde al parámetro de diseño establecido; de hecho, el Oxígeno Disuelto fluctúa entre 0 mg/L y 0,3 mg/L, confirmando que el aireador o bien no funciona correctamente, o bien fue mal calculado o seleccionado.

- **Respiración Microbiana:** Los análisis, realizados por el laboratorio CIPRO se realizaron en el Tanque tres (3) de la fila uno (1), como tentativa para verificar la actividad microbiana de salida de los tres (3) reactores. Se escogió este tanque ya que tiene una mayor cantidad de sólidos que los dos (2) tanques anteriores, es decir mayor cantidad de biomasa.





Los resultados obtenidos se pueden ver en el Anexo G

Pendiente: 0,0017 mg/l\*s

Sólidos suspendidos Volátiles: 2953 mg/l

$$rx = \frac{Pendiente}{SSV}$$

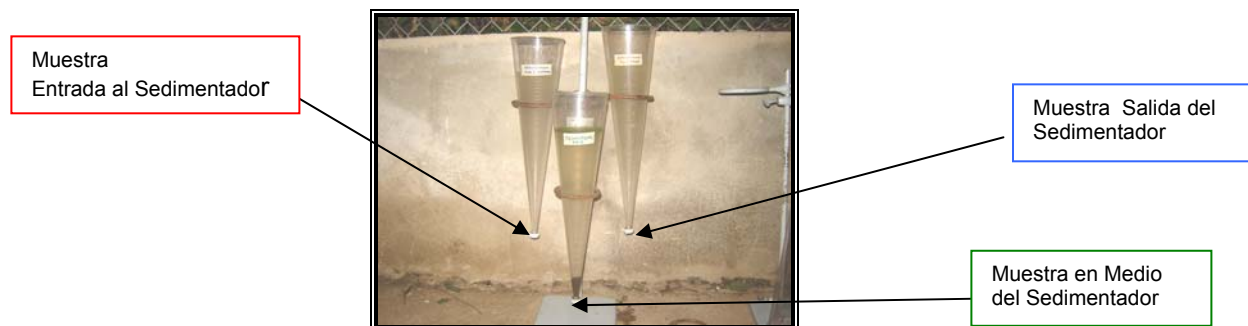
rx = respiración Microbiana.

$$rx = \frac{0.0017 \frac{mg}{L * s}}{2953 \frac{mg}{L}} * 86400$$
$$rx = 0.0467 \frac{kg}{kgd}$$

Comparando con los resultados del libro (Menéndez Gutiérrez, C. y J. Pérez Olmo), los resultados normales de la respirometría para un licor mezclado, son aproximadamente de 0,4 Kg./Kg.\*d, deduciendo un resultado de respiración microbiana muy bajo para este sistema. Este deficiente funcionamiento del puede ser debido a problemas en sus aireadores.

- Eficiencia del sedimentador: En la Figura 53 se puede observar el resultado al tomar una muestra de 1 litro en cada uno de los tanques de sedimentación.

**Figura 53** muestras del Sedimentador.



Fuente: Autor 2007

Al observar los resultados obtenidos en cada cono *Imhoff*, es posible señalar que el tanque de aireación carecía de floc biológico a sedimentar. Por lo tanto, la lectura del cono a la salida del sedimentador podría ser errónea. En cuanto a la muestra de agua tomada en medio del sedimentador se podría pensar que existe lodo acumulado dentro del sedimentador que pudiere estar resuspendiéndose.





#### 4.4.2.4 Comportamiento sistema Cubeco.

El sistema *Cubeco*, ha tenido diferentes problemas de funcionamiento desde su instalación y puesta en marcha, evitando un funcionamiento estable

A partir de los estudios realizados anteriormente y las observaciones hechas en el sistema, se puede definir cual es el estado y comportamiento actual, interpretando lo mostrado en la Tabla 16:

**Tabla 16:** *Comportamiento actual del sistema Cubeco*

Entrada al sistema	
<p>El arrastre de sólidos que provienen de las aguas lluvias y aguas residuales vertidas a las calles por algunos residentes, llegan al sistema creando continuos taponamientos en las tuberías de entrada.</p> <p>Además este es un punto elegido por los habitantes como botadero de residuos domésticos sin una correcta disposición situación que lleva a evacuar los sedimentos continuamente por medio de vehículos que prestan este servicio.</p>	
<p>Actualmente a la planta solo le entran 2,6 L/s de los 7 L/s que llegan al registro de entrada. Los 4,4 L/s son vertidos por una tubería lateral a un riachuelo sin ningún tipo de tratamiento.</p>	



<b>Tanque de Igualación. (Blending Tank)</b>	
<p>El agua residual que entra al sistema llega al Tanque de igualación sin ningún tipo de control o dispositivo de tratamiento previo, la cual genera acumulación de una gran cantidad de sólidos.</p>	
<p>Los aireadores que fueron diseñados para la mezcla en el tanque de igualación, no se encuentran en uso, además el tanque tiene un tiempo de retención de 12 horas, se podría afirmar que este está actuando como un pozo séptico.</p>	
<p>Según el diseño inicial del tanque, se tenía previsto un sistema de tuberías para la extracción de lodos, este sistema no se instaló y actualmente genera problemas ya que se concentran de manera excesiva con la correspondiente generación de gases y olores.</p>	
<b>Tanques de Aireación (Bio Reactores)</b>	
<p>El agua residual que proviene del tanque de igualación pasa a las dos filas de tanques con problemas de ubicación de sus tuberías. Se verificaron los caudales y se observó que en la Fila 1 entra un caudal medio de 1,5 l/s; mientras que en la fila 2 entra un caudal de 0,6 l/s.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p><b>Fila 1</b></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><b>Fila 2</b></p> </div> </div>
<p>Los aireadores instalados no tienen un diseño tal, de modo que el caudal de aireación sea suficiente como para distribuir el oxígeno de forma homogénea, actuando en cada uno de los tanques con condiciones diferentes.</p>	



<p>La eficiencia de la fila uno (1) es mayor que la eficiencia de la fila dos (2), se deduce que este fenómeno se produzca por la mayor presencia de especies vegetales en la fila uno 1 que colaboran con el proceso que suele suceder con los humedales artificiales; también hay acumulación de microorganismos en los reactores alrededor de las raíces de las plantas, además de los microorganismos propios del agua residual.</p>	
<p><b>Sedimentadores secundarios</b></p> <p>Los sedimentadores secundarios tienen inconvenientes de diseño creando corto circuito por la ubicación de sus tuberías de entrada y salida (las tuberías se encuentran a un mismo nivel (ver plano Anexo Q), además tiene plantas en su parte superior que genera mayor material orgánico en el efluente, evitando el correcto funcionamiento.</p>	
<p>Los lodos que se purgan del sedimentador son enviados de nuevo al tanque de igualación, lo cual colabora con el aumento de sólidos en dicho tanque.</p>	



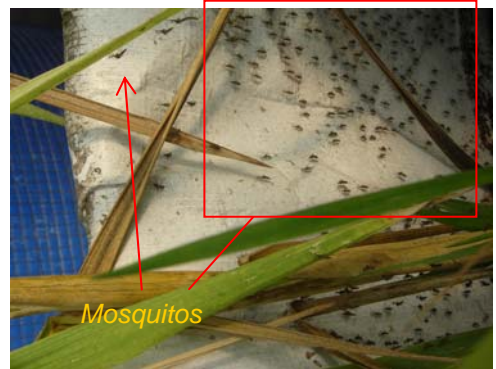


## Filtros

A pesar que se tiene una buena área de filtración ( $110 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$  Carga Superficial de Filtración), la altura del filtro para realizar el retro lavado no es lo suficiente, lo cual ocasionó la pérdida drástica de medio filtrante.



Existe una presencia de mosquitos en el sistema debido a los elevados tiempos de retención (36 horas en cada fila)



Fuente: Autor 2007



## 5 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS SISTEMAS ECOTECNOLOGICOS.

Considerando los análisis realizados a las ecotecnologías y al observar los resultados estadísticos, de eficiencia y los ensayos realizados descritos en el capítulo anterior, se contemplan a continuación los parámetros mínimos de diseño para determinar si los sistemas cumplen con los valores señalados por algunos autores; de esta manera, es viable analizar el funcionamiento teórico y plantear las posibles soluciones.

Vele la pena señalar que los parámetros de diseño que aparecen en la literatura corresponden a estudios realizados en países con clima templado y frío; por esta razón puede que algunos parámetros no cumplan con los requisitos señalados.

Los rediseños y los valores calculados para cada uno los sistemas ecotecnológicos, se pueden ver en el Anexo J.

En las Tablas 17 y 18 se indica el grado de cumplimiento de los sistemas *Palatino* y *Cubeco*, con los parámetros de diseño establecidos en la literatura y conforme a otras experiencias.



**Tabla 17: Sistema Palatino Comparación de parámetros de diseño**

Operación Unitaria	Parámetro	Valores	Valor medio del sistema	Cumple	Observaciones
Unidad Bombeo	Tiempo de Retención <sup>60</sup>	5 – 10 min	144 min	No	El bombeo se realiza cada 2 horas hacia el SBR
SBR (Reactor Discontinuo Secuencial)	Tiempo de retención <sup>61</sup>	2 a 3 h	2 horas	Si	Conserva su funcionamiento por cochadas
	Carga volumétrica <sup>62</sup>	0.3 - 1 Kg DBO/m <sup>3</sup> d	1.87 Kg DBO/m <sup>3</sup> d	No	El volumen del tanque es menor según las proporciones de los parámetros de diseño
Humedales	Tiempo de Retención para Remoción de DBO <sup>63</sup>	2 – 15 d	1 d	No	El tiempo de retención es corto ya que además de trabaja en zonas de temperaturas altas, con el SBR se supone, debe haber una remoción importante en carga de DBO.
	Relación Longitud : Ancho <sup>64</sup>	2:1 a 4: 1	2:1	Si	Se confirma el funcionamiento e su flujo a pistón
	Profundidad (con <i>Thipha</i> ) <sup>65</sup>	0.30 m	0.75	No	Por las características climáticas estas plantas se adaptan muy bien a la profundidad señalada
	DBO esperada en el afluente <sup>66</sup>	<20 mg/L	48 mg/L	No	La remoción que efectúan las plantas y microorganismo no alcanzan el 80% de eficiencia, por que el SBR no opera con el objetivo con el cual fue diseñado.

Fuente: Autor, 2007

En el sistema Palatino, es necesario hacer un seguimiento continuo al sistema para verificar la adaptabilidad de las especies vegetales en el mismo y de ser necesario reducir el caudal de diseño para bajar la carga volumétrica y optimizar su operación.

El tiempo de retención del pozo de bombeo es muy elevado para los valores generalmente recomendados por lo cual puede presentar condiciones sépticas; sin embargo el bombeo cada dos (2) horas al SBR hace cumplir con el tiempo de retención para esta etapa conservando su funcionamiento por cochadas.

<sup>60</sup> ROMERO Rojas Jairo, Tratamiento de aguas residuales, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. p. 316

<sup>61</sup> Ibid . p. 451

<sup>62</sup> METCALF & EDDY. Ingeniería Sanitaria. Labor, S.A, 1985 .p. 457

<sup>63</sup> LARA Borrero, Andre. Depuración de Aguas residuales Municipales con Humedales Artificiales. España: Master en Ingeniería y gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1998. p. 51

<sup>64</sup> Ibid.,p. 6

<sup>65</sup> MONJE Cardazo, Luís Eduardo. Humedales artificiales como alternativa de tratamiento para aguas residuales domesticas. Colombia: CAR (Corporación autónoma regional), 2004. p. 19

<sup>66</sup> METCALF & EDDYO Op. Cit.,p. 457





**Tabla 18** Sistema Cubeco. Comparación de parámetros de diseño

Operación Unitaria	Parámetros	Valor	Valor medio del sistema	Cumple	Observaciones
Tanque de Igualación	Tiempo de Retención <sup>67</sup>	6-8 h	4 h	No	El tiempo de retención de 4 horas es viable para aguas residuales domesticas.
	Suministro de aire <sup>68</sup>	9 a 15 L/m <sup>3</sup> .Min	No existe Aireación	No	No tiene actualmente un suministro de aire para mezclar las cargas contaminantes
	Borde libre <sup>69</sup>	0.9m	1m	Si	Se conserva el Borde Libre requerido
Tanques de Aireación convencional	F/M <sup>70</sup>	0.2 – 0.5 KgDBO/kg SSLM d	0.6 KgDBO/kg SSLM d	No	Se acerca a las características de un proceso de lodos convencional.
	Carga Volumétrica <sup>71</sup>	0.3 - 1 Kg DBO/m <sup>3</sup> d	0.31 Kg DBO/m <sup>3</sup> d	Si	Características de un proceso de lodos activados Convencional
	Periodo de aireación continua <sup>72</sup>	4 – 8 horas	2 horas	No	Son 2 horas continuas, con descansos de 30 minutos.
	DBO esperada en el efluente <sup>73</sup>	<20 mg/L	34 mg/L	No	Déficit de Oxígeno Disuelto en los tanques por consiguiente no cumple con los parámetros deseados.
Sedimentador Secundario <sup>74</sup>	Profundidad	3.7 – 4.6 m	4.36 m	Si	Parámetros de diseño de sedimentadores secundarios para pequeñas poblaciones
	Tiempo de Retención	2 – 3 h	3 h	Si	
	Paredes Inclınadas	60 - 45°	45°	Si	
	Remoción de SST	65%	10%	No	El Sedimentador tiene corto Circuito ubicación de sus Tuberías.
Filtros <sup>75</sup>	Profundidad del lecho filtrante (Arena y Grava)	Grava:(30 - 45) Arena: (60 – 75)	Grava : 30 Arena : 60	Si	Estos parámetros cumplen con las alturas requeridas
	Taza de Filtración	87,50 -117,50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	110 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	Si	Se conserva el funcionamiento de filtración
	Altura del lecho expandido	2,04m	No tiene	No	No se tuvo en cuenta la altura del lecho expandido en el diseño

Fuente: Autor, 2007

<sup>67</sup> Ibid.p. 251

<sup>68</sup> ROMERO Rojas Jairo, Op. Cit. p. 316

<sup>69</sup> Ibid. , p. 316

<sup>70</sup> METCALF & EDDY Op. Cit. , p 515

<sup>71</sup> Ibid. ,p.515

<sup>72</sup> ROMERO Op. Cit. ,p. 415

<sup>73</sup> Ibid. ,p.415

<sup>74</sup> Ibid. ,p.647

<sup>75</sup> GONZÁLEZ Díaz, Orestes. Diseño Hidráulico de Plantas Potabilizadote. Cuba: Instituto superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2004. p. 56



Aunque el tanque de igualación no cumple con todos parámetros nombrados en la Tabla 19, se tiene en cuenta que el caudal de diseño del afluente es pequeño, además de especificar que actualmente no cuenta con un dispositivo de mezcla para homogenizar las concentraciones de contaminantes en el agua.

Las características de los tanques de aireación se asemejan a los parámetros de diseño de un proceso de lodos activados tipo Convencional como se muestra en la Tabla 19

**Tabla 19 :** *Parámetros de diseño en los diferentes procesos de Lodos Activados*

Proceso	F/M	Carga Volumetrica	SSLM
	KgDBO/KgSSLMd	KgDBO/m <sup>3</sup> d	Kg/m <sup>3</sup>
Aireación Extendida	0.05 – 0.25	<0.4	3 – 6
<b>Convencional</b>	<b>0.2 – 0.5</b>	<b>0.3 – 1.0</b>	<b>1.5 – 3</b>
Completamente Mezclado	0.2 – 0.6	0.8 – 1.0	2.5 – 6
Estabilización por Contacto	0.2 – 0.6	0.5 – 1.2	1 - 3

Fuente: Metcalf and Eddy, 1995

Si bien el tiempo de aireación es de 2 horas continuas con descansos de 30 minutos, se podría aceptar en tener momentos anóxicos en el sistema para remoción de nutrientes.

Los tanques 1 y 2 de cada una de las filas reciben mayor carga contaminante por lo que requieren mayor cantidad de oxígeno, lo cual se comprueba con el déficit en oxígeno disuelto en los tanques. Por lo tanto, el valor calculado de oxígeno requerido no corresponde al que debería tener. Esto hace que las eficiencias no sean altas y no se consigan los parámetros deseados.

El área superficial de los filtros se encuentra con condiciones correctas de diseño, pero no tienen la altura suficiente para el lecho expandido durante la operación de retrolavado, por consiguiente presenta problemas de pérdidas del lecho de arena y un mal funcionamiento, ya que se absorbe rápidamente.



## 5.1 PROPUESTA DE OPTIMIZACION.

Al Considerar los resultados obtenidos en los capítulos anteriores, tanto en el sistema *Palatino* como *Cubeco* se plantean a continuación posibles soluciones, las cuales dependen del GPMH para ser implementadas e instaladas, y de esta manera aumentar las eficiencias de cada uno de los sistemas, evitando generar complicaciones de operación, control y funcionamiento.

A continuación se describen las propuestas de optimización de las ecotecnologías.

### 5.1.1 Sistema Palatino

Aunque el sistema posee un buen funcionamiento por sus características de remoción de contaminantes y el gran follaje de sus plantas, no opera como debiese. Este tipo de humedales según autores como Crites & Tchobanoglous especifican los estudios de la eficiencia de remoción de DBO y DQO, en un rango de 70 a 80 %, pero estos estudios se han realizado para climas templados y fríos. Los resultados obtenidos en el sistema palatino cumplen con este parámetro, pero en avances realizados en Cuba y estudios de humedales para climas tropicales, “la eficiencia para humedales artificiales instalados en Cuba debe superar el 80% de eficiencia en la remoción de DBO y DQO”<sup>76</sup>.

Además de observar el resultado de la remoción de DBO y DQO, en las caracterizaciones realizadas, se nota una baja eficiencia de los sólidos totales en el sistema, deduciendo inconvenientes que pueden ser producidos por el daño de las bombas del SBR y su mal funcionamiento

Para realizar una optimización del sistema palatino, es necesario determinar los caudales que entran en épocas de lluvia y tiempos secos, ya que afectan parámetros de diseño como los tiempos de retención y cargas volumétricas.

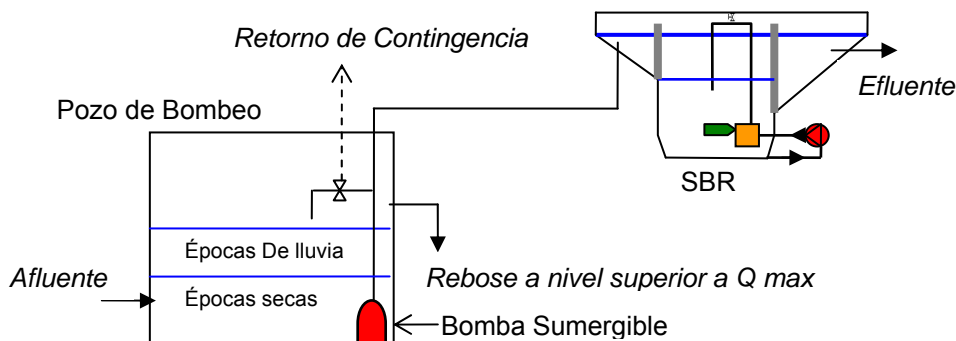
En este caso es importante como primera medida arreglar el sistema automático de bombeo que consiste en la ubicación de los sensores de nivel alto y bajo para evitar que las unidades succionen en vacío y enciendan cuando haya suficiente nivel de agua. Posteriormente plantear un rebose en el pozo de bombeo con el nivel superior del caudal máximo que se produce en épocas de lluvia, para asegurar que entren los caudales medios necesarios al SBR y por consiguiente su correcto funcionamiento. También como medida de contingencia, se instala una válvula de retorno en la tubería de la bomba sumergible para tener caudales continuos. Estas características se pueden ver con más detalle en la Figura 54

---

<sup>76</sup> GONZÁLEZ Díaz, Orestes. Estudio del Comportamiento De Humedales Con Flujo Subsuperficial Horizontal en el Tratamiento De Aguas Residuales, Cuba: Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, 2000. p. 25



**Figura 54:** Funcionamiento del Pozo de bombeo con recirculación.



Fuente: Autor, 2007

Es importante disponer de la bomba de aire que se encuentra en el SBR (ver funcionamiento numeral 4.1.2.2), ya que éste puede estar desempeñándose actualmente como un trampa grasas o un sedimentador; por esta razón, es necesario realizar como primera medida, la extracción de los sólidos y limpieza del dispositivo, de esta manera mejorar las características de sólidos y de las cargas contaminantes que entran al humedal.

El sistema como se aclaró anteriormente, tiene buenas características (ver numeral 2.2.3 y 4.1.2) y puede fácilmente aumentar sus eficiencias siempre y cuando sean considerados todos los aspectos de control del reactor: F/M, SSLM, pH, T, (ver Anexo B), ya que se trata de una unidad biológica bajo la modalidad de lodos activados.

### 5.1.2 Sistema Cubeco

El Sistema *Cubeco*, tiene problemas de operación, control, mantenimiento y funcionamiento; aunque el sistema actualmente remueve más del 60 % de DQO y DBO, como se observó en los análisis estadísticos y en los balances de materia, puede llegar a un estado de inoperancia, cierre y pérdida de la inversión si no se implementan rápidamente los controles y dispositivos descritos a continuación. (En los Anexos K, L y M se encuentran los diseños y planos de los diferentes dispositivos)

- Es necesario el arreglo en la entrada al sistema para evitar que ingresen sólidos grandes a este registro ya que causan la obstrucción de las tuberías y el principal problema de inoperancia del sistema *Cubeco*. También de esta manera se asegura aumentar el caudal de entrada.
- Se necesita la construcción de una cámara de rejillas para evitar la entrada de sólidos gruesos al tanque de igualación.(ver Anexo K)
- Posteriormente a la cámara de rejillas es importante la construcción de un vertedero para tener un control de los caudales que entran a la planta. (ver Anexo L)

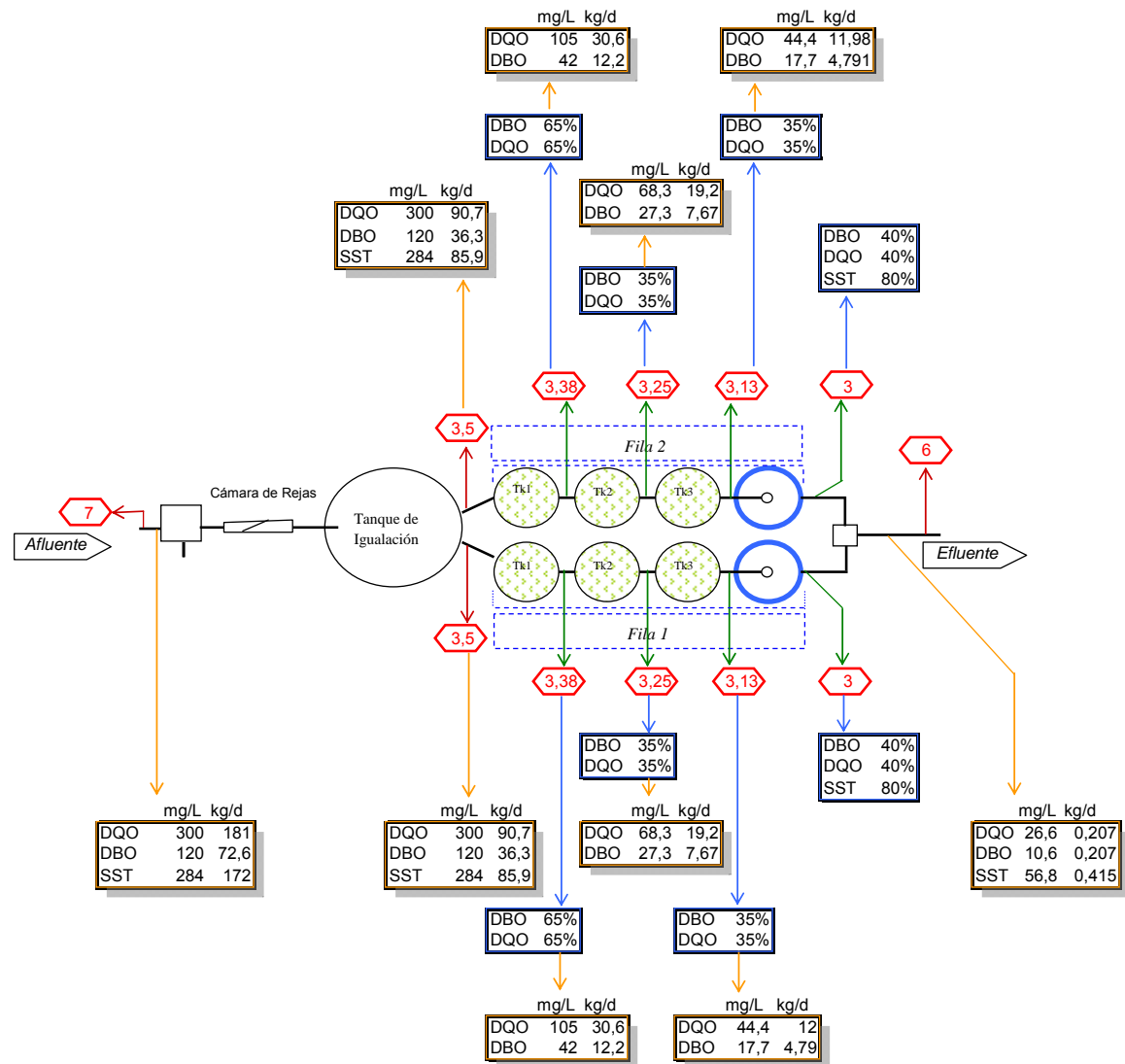


- Es importante un cambio de las bombas sumergibles adaptadas actualmente como sopladores, por difusores de burbuja fina que distribuyan el aire de forma uniforme en los tanques, para mantener un mínimo de Oxígeno Disuelto de 3 mg/l. (Ver Anexo P Difusores)
- Es necesario hacer una modificación del sedimentador, eliminando las especies vegetales que se encuentran en su parte superior y construyendo baffles y vertederos para mejorar la eficiencia del agua clarificada. ( ver Anexo M)
- El filtro aunque mejora las características del agua residual, no reduce por completo las características de los patógenos necesarios para el re uso del agua residual. Si se quiere que el agua sea utilizada para riego es necesaria la instalación de un dispositivo de luz ultravioleta. Por esta razón se sugiere excluir el filtro ya que si el sistema tiene un funcionamiento correcto, no existe la necesidad de implementar este paso, además de especificar que su mantenimiento es complejo e inestable.
- Es necesario extraer los lodos que se encuentran actualmente en el tanque de igualación, y llevarlos a un proceso de tanques de digestión y lechos de secado. Posteriormente implementar un mezclador en el tanque de igualación para homogenizar las cargas y evitar una sedimentación del sólidos ( ver Anexo O).
- Cuando el sistema se encuentre estable, elaborar un manual de operación y mantenimiento de la planta bajo las condiciones reales de operación.

A partir de los controles y dispositivos señalados anteriormente, se puede deducir un correcto funcionamiento del sistema. En la Figura 55 se realiza un balance de las características de eficiencia del sistema *Cubeco* si funcionara con las propuestas de optimización antes descritas.



**Figura 55:** Balance de cargas para el sistema Cubeco



Convenciones:

7: Caudales en L/s

Fuente: Autor, 2007

En el Balance de cargas indica las diferentes eficiencias de remoción de cada dispositivo en el sistema Cubeco. No se calcula para el tanque de igualación eficiencia alguna ya que no es una unidad dedicada para remover contaminantes si no para homogenizarlos. La remoción de cargas contaminantes se realiza en los tanques de aireación y sedimentación secundaria, con eficiencias hasta del 90 %, con esto se cumple con la normatividad Cubana correspondiente.



## 5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS ECOTECNOLOGÍAS

El análisis económico, permite identificar las características de inversión operación y mantenimiento que requiere cada una de las ecotecnologías, de esta manera comparar y definir cual de ellas tiene mayores facilidades económicas para ser implementada en áreas del GPMH.

De la Tabla 20 a la 25 se describen las cantidades en obras civiles equipos necesarios y gastos de operación y mantenimiento en el sistema *Palatino* y *Cubeco*, con los costos en divisa (CUC)\* o peso cubano convertible, según como se maneja actualmente en el sistema económico Cubano.

La tablas detallan la cantidad de cada uno de los elementos necesarios, (valor unitario en moneda Convertible Cubana y en pesos de moneda Colombiana), estos dos son multiplicados obteniendo como resultado el valor total.

En el caso de operación y control, las Unidades se dan en  $\$/m^3$  \*de agua tratada, ya que en esta tabla se tiene en cuenta el valor de la dotación dividido la cantidad de agua tratada durante 6 meses en  $m^3$  y el valor de la Mano de Obra dividido en la cantidad de agua tratada durante 1 día en  $m^3$ .

---

\* El Peso Cubano Convertible (CUC), moneda Cubana con valor de divisa en el mercado interno, abandona la paridad con el dólar norteamericano (USD) evaluada en un 8%. Significa esto que las tasas locales de canje y recanje frente a divisas libremente convertibles, tendrán como base a una moneda cuyo valor de compra y venta es superior en un 8% al USD.



**Tabla 20: Presupuesto Sistema Palatino**  
**CANTIDADES DE OBRAS CIVILES**  
**SISTEMA PALATINO Q = 2,5 L/s**

ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANTIDAD	VALOR* UNITARIO	VALOR UNITARIO CUC	VALOR* TOTAL	VALOR TOTAL CUC
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>						
1,01	Campamento de obra	m <sup>2</sup>	36,00	150.000	63	5.400.000	2.250
<b>SUBTOTAL PRELIMINARES</b>						<b>5.400.000</b>	<b>2.250</b>
<b>2</b>	<b>POZO DE BOBEO</b>					e muros	
						0,15	
2,01	Replanteo	m <sup>2</sup>	8,00	2.500	1	20.000	8
2,02	Descapote	m <sup>2</sup>	8,00	3.500	1	28.000	12
2,03	Excavaciones	m <sup>3</sup>	22,00	15.000	6	330.000	138
2,04	Relleno con material seleccionado	m <sup>3</sup>	22,00	22.000	9	484.000	202
2,05	Solado de limpieza e= 0.05m	m <sup>3</sup>	0,05	250.000	104	12.500	5
2,06	Concreto	m <sup>3</sup>	4,82	420.000	175	2.023.560	843
2,07	Acero de refuerzo de 60.000 PSI	Kg	433,62	1.300	1	563.706	235
2,08	Instalación Pasamuros	un	3,00	150.000	63	450.000	188
<b>SUBTOTAL POZO DE BOMBEO</b>						<b>3.911.766</b>	<b>1.630</b>
<b>3</b>	<b>SBR</b>						
3,01	Descapote	m <sup>2</sup>	6,00	3.500	1	21.000	9
3,02	Excavaciones	m <sup>3</sup>	12,00	15.000	6	180.000	75
<b>SUBTOTAL SBR</b>						<b>201.000</b>	<b>84</b>
<b>4</b>	<b>HUMEDALES</b>						
4,01	Replanteo	m <sup>2</sup>	600,00	2.500	1	1.500.000	625
4,02	Descapote	m <sup>2</sup>	600,00	3.500	1	2.100.000	875
4,03	Excavaciones	m <sup>3</sup>	500,00	15.000	6	7.500.000	3.125
4,04	Geotextil	m <sup>2</sup>	600,00	60.000	25	36.000.000	15.000
4,05	Relleno con material seleccionado	m <sup>3</sup>	500,00	22.000	9	11.000.000	4.583
4,06	Concreto	m <sup>3</sup>	6,00	420.000	175	2.520.000	1.050
<b>SUBTOTAL HUMEDALES</b>						<b>60.620.000</b>	<b>25.258</b>
<b>5</b>	<b>CASETA CONTROL</b>	L	A	H			
		3	3,00	3			
5,01	Excavaciones	m <sup>3</sup>	1,80	12.500	5	22.500	9
5,02	Concreto viga de amarre y corona	m <sup>3</sup>	2,00	480.000	200	960.000	400
5,03	Concreto de Columnas	m <sup>3</sup>	1,60	480.000	200	768.000	320
5,04	Acero de refuerzo	Kg.	324,00	1.300	1	421.200	176
5,05	Mampostería	m <sup>2</sup>	30,00	45.000	19	1.350.000	563
5,06	Cubierta en teja plicen	m <sup>2</sup>	9,00	48.000	20	432.000	180
5,07	Poyo para tablero de control	un	1,00	200.000	83	200.000	83
<b>SUBTOTAL CASETA DE CONTROL</b>						<b>4.153.700</b>	<b>1.731</b>
<b>RESUMEN COSTOS DIRECTOS OBRAS CIVILES</b>							US
1	PRELIMINARES			5.400.000			2.250
2	POZO DE BOBEO			3.911.766			1.630
3	SBR			201.000			84
4	HUMEDALES			60.620.000			25.258
5	CASETA CONTROL			4.153.700			1.731
<b>TOTAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES</b>				<b>74.286.466</b>			<b>30.953</b>

Fuente: Autor, 2007

CUC: Moneda Convertible Cubana.

\* Valor en Pesos Moneda Colombiana.





**Tabla 21:** Listado de Equipos Sistema Palatino Q = 2,5 L/s

**LISTADO DE EQUIPOS  
SISTEMA PALATINO Q = 2,5 L/s**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CAN	VALOR UN SUMINIS*	VALOR TOTAL*	VALOR TOTAL CUC
<b>1,00</b>	<b>POZO DE BOMBEO</b>					
1,02	Tubo PVC DIAM 8"	MT	10	22.000	270.000	113
1,03	Bomba sumergible para aguas negras 15L/s 3 mca	un	2	1.600.000	3.600.000	1.500
1,04	Codos PVC de 8"	un	6	30.000	216.000	90
<b>2,00</b>	<b>SBR TREICO</b>					
2,01	Sistema SBR (proveedor)	un	1	80.000.000	80.300.000	33.458
<b>3,00</b>	<b>HUMEDALES</b>					
3,01	Tubo PVC DIAM 8"	MT	50	22.000	1.350.000	563
<b>4,00</b>	<b>ELECTRICOS</b>					
4,01	Tablero eléctrico	un	1	14.000.000	18.000.000	7.500
4,02	Cableado eléctrico y montajes	un	1	3.600.000	11.600.000	4.833
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>					<b>115.336.000</b>	<b>US 48.057</b>

**RESUMEN DE PRECIOS  
SISTEMA PALATINO Q = 2,5 L/s**

ITEM	DESCRIPCION	VALOR*	VALOR CUC
1	SUMINISTRO DE EQUIPOS	115.336.000	48.057
2	OBRAS CIVILES	74.286.466	30.953
<b>VALOR COSTOS DIRECTOS</b>		<b>189.622.466</b>	<b>79.009</b>

Fuente: Autor 2007

\* Valor en Pesos Moneda Colombiana.



**Tabla 22: Operacion y Mantenimiento**

**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO  
SISTEMA PALATINO:**

SISTEMA PLANTAS												
		Q 2,5 L/S			9 m3/h							
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD			V U Cuba	V U Colombia	Valor Cuba	Valor Colombia	Valor CUC	Valor Cuba	Valor Colombia	Valor CUC
		kw	un	kw	C kw/h	\$ kw/h	C kw/h	\$ kw/h	\$ kw/h	\$/m3 de agua tratada		
1.00	Costo Energia				0,3	30						
1.01	Bombas Sumergibles	1,3	2	2,6			0,78	78	0,0325			
1.02	(SBR) TREICO	4,3	1	4,3			1,29	129	0,05375			
Subtotal		6,9					2,07	207	0,08625	0,01	0,96	0,0004
2.00	Insumos*	un			\$	\$	\$	\$	\$	\$/m3 de agua tratada		
2.01	Machete	2			60	6000	120	12000	5,00	0,003	0,309	0,0001
2.02	Botas de Caucho	2			100	10000	200	20000	8,33	0,005	0,514	0,0002
2.03	Guantes	2			30	3000	60	6000	2,50	0,002	0,154	0,0001
Subtotal							380,00	38000	15,83	0,010	0,977	0,0004
3.00	Mano de Obra	Dia			\$	\$	\$	\$	\$	\$/m3 de agua tratada		
3.01	Residente	1			30	3000	900	90000	37,50	0,139	13,889	0,0058
3.02	Ayudante	1			25	2500	750	75000	31,25	0,116	11,574	0,0048
Subtotal							1650	165000	68,75	0,255	25,463	0,0106
4.00	Agua	No										
4.01	Baños											
Total Costos							2.032,07	203.207,00	84,67	\$/m3 de agua tratada		
										0,27	27,40	0,01

Fuente: Autor 2007

VU: Valor Unitario

C: Centavo

\* Cambio de insumos cada 6 meses

El costo de energía por kw/h es aproximadamente es de 0,3 centavos de peso Cubano, lo equivalente a 30 pesos colombianos. La mayoría de los costos de servicios públicos son subsidiados a la población por el estado Cubano.



**Tabla 23: Presupuestos sistema Cubeco**

CANTIDADES DE OBRAS CIVILES SISTEMA NATURAL CUBECO Q 7L/S							
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANTIDAD	VALOR* UNITARIO \$	VALOR UNITARIO CUC	VALOR* TOTAL	VALOR TOTAL CUC
1	PRELIMINARES						
1,01	Campamento de obra	m <sup>2</sup>	36,00	172.500	71,9	6.210.000	2.588
	<b>SUBTOTAL PRELIMINARES</b>					<b>6.210.000</b>	<b>2.588</b>
2	CANAL DE ENTRADA (CAMARA DE REJAS)					e muros 0,15	
2,01	Replanteo	m <sup>2</sup>	1,79	2.000	0,8	3.580	1
2,02	Descapote	m <sup>2</sup>	1,79	3.000	1,3	5.370	2
2,03	Excavaciones	m <sup>3</sup>	0,5	15.000	6,3	7.950	3
2,05	Relleno con material seleccionado	m <sup>3</sup>	0,3	22.000	9,2	7.040	3
2,08	Concreto	m <sup>3</sup>	0,4	420.000	175,0	159.600	67
2,09	Acero de refuerzo de 60.000 PSI	Kg	34,20	1.300	0,5	44.460	19
2,10	Instalación Pasamuros	un	2	150.000	62,5	300.000	125
	<b>SUBTOTAL (CAMARA DE REJAS)</b>					<b>524.420</b>	<b>219</b>
3	TANQUE DE IGUALACION					e muros 0,2	
3,01	Replanteo	m <sup>2</sup>	34,83	2.500	1,0	87.075	36
3,02	Descapote	m <sup>2</sup>	34,83	3.500	1,5	121.905	51
3,03	Excavaciones	m <sup>3</sup>	126,00	15.000	6,3	1.890.000	788
3,04	Relleno con material seleccionado	m <sup>3</sup>	126,00	22.000	9,2	2.772.000	1.155
3,05	Solado de limpieza e= 0.05m	m <sup>3</sup>	0,05	250.000	104,2	12.500	5
3,06	Concreto	m <sup>3</sup>	14,69	420.000	175,0	6.169.800	2.571
3,07	Acero de refuerzo de 60.000 PSI	Kg	1322,10	1.300	0,5	1.718.730	716
3,08	Instalación Pasamuros	un	3	150.000	62,5	450.000	188
	<b>SUBTOTAL</b>					<b>13.222.010</b>	<b>5.509</b>
4	INVERNADERO					e muros 0,3	
4,01	Replanteo	m <sup>2</sup>	360	2.500	1,0	900.000	375
4,02	Descapote	m <sup>2</sup>	360	3.500	1,5	1.260.000	525
4,03	Excavaciones	m <sup>3</sup>	360	15.000	6,3	5.400.000	2.250
4,04	Relleno con material seleccionado	m <sup>3</sup>	360	22.000	9,2	7.920.000	3.300
4,05	Solado de limpieza e= 0.05m	m <sup>3</sup>	36	250.000	104,2	9.000.000	3.750
4,06	Concreto	m <sup>3</sup>	389	420.000	175,0	163.548.000	68.145
4,07	Varillaje	ml	600	50.000	20,8	30.000.000	12.500
6,03	Iluminación interna	gl	8	150.000	62,5	1.200.000	500
	<b>BIO REACTORES</b>						
4,06	Geo textil	m <sup>2</sup>	264	60.000	25,0	15.858.000	6.608
4,07	Malla de soporte	m <sup>2</sup>	264	70.000	29,2	18.501.000	7.709
	<b>SUBTOTAL</b>					<b>253.587.000</b>	<b>105.661</b>
6	CASETA ADMINISTRACION Y CONTROL	L	A	H			
		8,5	3	2			
6,01	Container (Adaptado para oficina de Adminstracion)	un	1	13.000.000	5.416,7	13.000.000	5.417
6,02	Piso en Granito pulido para zona administración	m <sup>2</sup>	16	15.000	6,3	240.000	100
6,03	Mesón en granito pulido	un	1	200.000	83,3	200.000	83
6,04	Sanitario con sus unidades	un	1	400.000	166,7	400.000	167
6,05	Redes hidráulicas y sanitarias	gl	1	500.000	208,3	500.000	208
6,03	Iluminación interna	gl	1	150.000	62,5	150.000	63
	<b>SUBTOTAL CASETA DE ADMINISTRACION Y CONTROL</b>					<b>14.490.000</b>	<b>6.038</b>
<b>RESUMEN COSTOS DIRECTOS OBRAS CIVILES</b>				<b>VALOR TOTAL</b>	<b>VALOR TOTAL CUC</b>		
1	PRELIMINARES			6.210.000	2.587,5		
2	CANAL DE ENTRADA (CAMARA DE REJAS)			524.420	218,5		
3	TANQUE DE IGUALACIÓN			13.222.010	5.509,2		
4	INVERNADERO			253.587.000	105.661,3		
5	CASETA ADMINISTRACION Y CONTROL			14.490.000	6.037,5		
<b>TOTAL COSTO DIRECTO OBRAS CIVILES</b>				<b>288.033.430</b>	<b>120.013,9</b>		

Fuente: Autor, 2007

\* Valor en Pesos Moneda Colombiana.



**Tabla 24:** Listado de equipos

**LISTADO DE EQUIPOS  
SISTEMA NATURAL CUBECO Q = 7 L/s**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CAN	VALOR UN SUMINIS*	VALOR MONTAJE*	VALOR TOTAL*	VALOR TOTAL CUC
<b>1,00</b>	<b>CANAL DE ENTRADA (CAMARA DE REJAS)</b>						
1,01	Rejilla de retención de sólidos	un	2	250.000	80.000	580.000	242
1,02	Compuertas canal	un	2	250.000	80.000	580.000	242
1,03	Vertederos suto	gl	2	100.000	60.000	260.000	108
1,04	Bridas PVC de 4"	un	4	36.000	56.000	200.000	83
1,05	Tubería Conducción a Tanque de igualación 4" PVC	mt	20	30.000	120.000	720.000	300
<b>2,00</b>	<b>TANQUE DE IGUALACIÓN</b>						
2,01	Valvula cheque de 2"	un	2	250.000	60.000	560.000	233
2,02	Valvula Mariposa de 4"	un	1	110.000	30.000	140.000	58
2,03	Codos PVC de 2"	un	3	25.000	18.000	93.000	39
2,04	Codos PVC de 4"	un	6	25.000	36.000	186.000	78
2,05	Tubo PVC diam 4"	mt	12	23.224	360.000	638.688	266
2,06	Mezclador	un	1	2.000.000	200.000	2.200.000	917
<b>3,00</b>	<b>BIOREACTORES</b>						
3,01	Soplador 7,5 hp + Silenciadores + Filtro + Valv. Alivio	UN	1	12.100.000	350.000	12.450.000	5.188
3,02	Difusores de Disco	UN	18	90.000	180.000	1.800.000	750
3,03	Collares de Derivación 3 x 1/2"	UN	10	11.100	25.000	136.000	57
3,04	Valvula Mariposa Diam 2"	UN	4	150.000	120.000	720.000	300
3,05	Bombas Sumergibles de Q= 15L/s H= 3 mca	UN	3	1.600.000	450.000	5.250.000	2.188
<b>4,00</b>	<b>TUBERIAS DE AIRE</b>						
4,01	Tubo PVC DIAM 3"	MT	50	17.000	250.000	1.100.000	458
4,02	Valvula Mariposa Diam 3" con Actuador Neumatico + racores	UN	2	1.250.000	100.000	2.600.000	1.083
4,03	Brida PVC diam 3"	UN	10	45.000	50.000	500.000	208
4,04	Codo PVC diam 3"	UN	5	18.500	25.000	117.500	49
4,05	Valvula Mariposa Diam 3"	UN	2	110.000	60.000	280.000	117
4,06	Codo PVC Diam 2"	UN	2	5.500	8.000	19.000	8
4,07	Tubo PVC Diam 2"	MT	3	8.000	12.000	36.000	15
<b>5,00</b>	<b>SEDIMENTACION SECUNDARIA</b>						
5,01	Valvula Mariposa Diam 2"	UN	2	1.250.000	100.000	2.600.000	1.083
5,02	Tubería Conducción 4" PVC	mt	8	30.000	48.000	288.000	120
5,03	Valvula cheque de 2"	un	2	250.000	60.000	560.000	233
<b>6,00</b>	<b>ELECTRICOS</b>						
6,01	Tablero eléctrico	un	1	14.000.000	4.000.000	18.000.000	7.500
6,02	Cableado eléctrico y montajes	un	1	3.600.000	8.000.000	11.600.000	4.833
							CUC
	<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				14.938.000	<b>64.214.188</b>	<b>26.756</b>

Fuente: Autor, 2007

Valor en Pesos Moneda Colombiana.

**RESUMEN DE PRECIOS  
SISTEMA CUBECO**

ITEM	DESCRIPCION	VALOR*	VALOR CUC
1	SUMINISTRO DE EQUIPOS	64.214.188	26.756
2	OBRAS CIVILES	288.033.430	120.014
<b>VALOR COSTOS DIRECTOS</b>		<b>352.247.618</b>	<b>146.770</b>

Fuente: Autor, 2007

\* Valor en Pesos Moneda Colombiana.



**Tabla 25: Operación y mantenimiento**

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO											
SISTEMA CUBECO:											
Q 7 L/S 25,2 m3/h											
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD			V U Cuba		V U Colombia		Valor Cuba	Valor Colombia	Valor CUC
		kw	un	kw	C kw/h	\$ kw/h	C kw/h	\$ kw/h	\$ kw/h		
1.00	Costo Energia				0,3	30					
1.01	Mezclador	3,71	1	3,7					1,113	78	0,046375
1.02	Soplador	5,59	1	5,6					1,677	129	0,069875
1.03	Iluminacion	0,024	15	0,4							
<b>Subtotal</b>		17	9,7						<b>2,79</b>	<b>207</b>	<b>0,11625</b>
2.00	Insumos*										
2.01	Machete	5			60	6000	300	12000	12,50	0,008	0,309
2.02	Botas de Caucho	5			100	10000	500	20000	20,83	0,013	0,514
2.03	Guantes	5			30	3000	150	6000	6,25	0,004	0,154
2.04	Escalera	1			500	50000	500	50000	20,83	0,013	1,286
2.05	Pala	1			200	20000	200	20000	8,33	0,005	0,514
2.06	Traje Impermeable	1			2000	200000	2000	200000	83,33	0,051	5,144
<b>Subtotal</b>							<b>3.650,00</b>	<b>308.000,00</b>	<b>152,08</b>	<b>0,094</b>	<b>7,922</b>
3.00	Mano de Obra		Dia								
3.01	Tecnico	1			30	3000	900	90000	37,50	0,139	13,889
3.02	Ayudantes	4			25	2500	750	75000	31,25	0,116	11,574
3.03	Vigilantes	3			20	2000	600	60000	25,00	0,093	9,259
<b>Subtotal</b>							<b>2250</b>	<b>225000</b>	<b>93,75</b>	<b>0,347</b>	<b>34,722</b>
4.00	Agua		No								
4.01	Baños										
<b>Total Costos</b>									<b>5.902,79</b>	<b>533.207,00</b>	<b>245,95</b>
										\$/m3 de agua tratada	
										<b>0,45</b>	<b>43,12</b>
										<b>0,02</b>	

Fuente: Autor, 2007

Se nota una gran diferencia en los costos de instalación, obras civiles y equipos entre los sistemas *Cubeco* y *Palatino* ya que el primero necesita de más elementos para su funcionamiento. En la Tabla 26 se puede observar un resumen de costos de cada sistema.

**Tabla 26: Tabla resumen de costos sistemas Palatino y Cubeco.**

	ITEM	DESCRIPCION	UNIDADES	VALOR COLOMBIA	VALOR CUC
<b>Sistema Palatino</b>	1	SUMINISTRO DE EQUIPOS	\$	115,336,000	48,057
	2	OBRAS CIVILES	\$	74,286,466	30,953
	3	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$/m3 de agua tratada	27,399	0,011
<b>Sistema Cubeco</b>	1	SUMINISTRO DE EQUIPOS	\$	64,214,188	26,756
	2	OBRAS CIVILES	\$	288,033,430	120,014
	3	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	\$/m3 de agua tratada	43,12	0,02

Fuente: Autor 2007

Las observaciones y comparaciones de las características técnico - económicas y ambientales de los dos sistemas, se analizan con la ayuda de la Matriz de priorización, la cual se describe a continuación.



### 5.3 COMPARACION DE LAS ECOTECNOLOGIAS EXISTENTES

Por medio de una Matriz de Priorización, se realiza la comparación económica, técnica y ambiental entre los sistemas que se describieron anteriormente, se califican los diferentes elementos necesarios entre los Humedales Artificiales, Lodos Activados y *Cubeco*; resaltando que éste último tiene las características de los dos primeros. Esta calificación se realiza de 1 a 4 denominando 1 como no favorable, 2 como escasamente favorable, 3 como favorable y 4 como muy favorable.

La Matriz de Priorización es una adaptación de la matriz de *Leopold* utilizada para la evaluación de impactos ambientales; la matriz facilita la identificación de los principales componentes y características económicas, ambientales, paisajísticas o sociales con mayor facilidad. Estas ayudan a determinar cuál de las diferentes opciones, se adaptan mejor a las condiciones Cubanas. A cada componente se le proporciona un nivel de importancia o valor ponderado, en términos de porcentaje, calificándose de 1 a 10 y una magnitud o valoración a cada componente.

En la Tabla 27 se describen los elementos y la justificación de su selección y el porcentaje de nivel de importancia que recibe cada uno, dependiendo de las características, propiedades y necesidades de Cuba y del GPMH.

**Tabla 27:** Descripción de los elementos de la Matriz de Priorización

Elemento	Justificación de la Selección	Justificación del nivel de Importancia
Costos de Instalación	Un punto importante para quién financia el proyecto, y para que éste perdure en el tiempo son los costos de inversión, operación y mantenimiento.	(9%) Obtienen el más alto porcentaje, ya que para las condiciones económicas cubanas se tiene en cuenta el presupuesto que se invertiría en la implementación y puesta en marcha de los sistemas de tratamiento.
Costos de Operación		
Costos de Mantenimiento		
Costos de Terreno	Es importante saber las zonas, espacios y costos donde son instaladas las ecotecnologías.*	(9%) Obtienen un porcentaje alto, ya que para el sistema de tratamiento se ha de considerar un área determinada que podría tener su valor de importancia según otras actividades a implementar. Si el terreno es importante o no, dependen la inversión que en éste se realice.
Costos de Energía Publica	Los costos de energía, definen la cantidad de inversión y sostenimiento del sistema.	(4%) Los costos de energía pública no son elevados para la población, ya que como el agua, tienen una tarifa fija de pago y algunos son subsidiados por el gobierno cubano..

\* Beneficio /Costo de terreno. Beneficio: si al invertir se regeneran zonas áridas o en mal estado creando espacios verdes en el terreno. Costo: si el terreno en la zona sirve como lugar productivo o importante, sus costos aumentan, pero si el terreno se encuentra en mal estado los costos no son muy elevados. De esta manera generaría beneficios.



Uso y disponibilidad de Equipos Mecánicos	Es referencia al gasto de energía, costos y si es posible adquirir los equipos mecánicos para el sistema.	(6%) Es un porcentaje no muy elevado pero es importante ya que depende del costo y el mantenimiento del sistema, además de la disponibilidad del equipo para el país ( ver Numeral 3)
Remoción de Cargas Contaminantes	Es importante saber cuánto remueve cada sistema, ya que define que tan eficiente es.	(4%) Aunque la norma exige una cantidad permisible para verter, al ser instalados los sistemas, se entiende que estos tienen un porcentaje de remoción de contaminantes, patógenos y nutrientes que ayuda al saneamiento del río.
Remoción de Patógenos	La cantidad de Coliformes fecales indica la remoción de patógenos importantes al momento de verter el efluente a ríos y arroyos	
Remoción de Nutrientes	La Norma Cubana NC 27 de vertimientos de aguas residuales, exige la remoción de P y N	
Generación de Olores	Si el sistema no tiene un correcto mantenimiento o control, puede generar problemas de olores, y vectores, perdiendo su apreciación como un sistema de saneamiento Ambiental, para convertirse en un problema sanitario	(3%) Aunque es un problema sanitario, es necesario realizar un plan de manejo ambiental de residuos sólidos, para disminuir los problemas de olores y vectores en cada barrio.( ver Capitulo 3)
Generación de Vectores		
Generación de Ruido	Es importante para saber el impacto que causaría un sistema en una población cercana.	(3%) Los aireadores que se instalan generan ciertos decibels de ruido, pero no los suficientes como para afectar a la población aledaña.
Calidad del Suelo	Define si hay un impacto negativo o positivo en la zona donde es instalado un sistema.	(3%) No es de mucha importancia, ya que, el GPMH tiene espacios para instalar los sistemas.
Impacto visual	Determinar la calidad del paisaje que se genera al ser instalada una planta de tratamiento.	(5%) Es importante, ya que la idea del parque es generar espacios verdes en medio de la ciudad, para generar impactos positivos.
Biodiversidad	Mejora o empeora las características de Biodiversidad de la zona.	(4%) Es importante ya que al instalar los sistemas se crea atracción de especies endémicas en la zona.
Área do zona verde	Definir si los sistemas crean un impacto positivo o negativo al se instalados en áreas del GPMH.	(5%) Es importante verificar que al instalar los sistemas, estos crean espacios verdes de recreación
Generación de empleo	Definir cuál de los sistemas genera más empleo a la población cercana	(7%) Es importante, ya que es necesaria la generación de empleo a toda la población.
Salud	Definir si las ecotecnologías mejoran las condiciones sanitarias de la región.	(7%) La salud preventiva es el principal trabajo para evitar enfermedades.
Educación	Analizar si el tipo de sistema instalado genera educación a la población cercana.	(4%) La educación ambiental es una de los objetivos de las ecotecnologías, además de hacer un tratamiento de aguas residuales.

*Fuente: Autor*



A partir de la Tabla 27 se identifica cada uno de los elementos presentes en la Matriz de Priorización (ver Tabla 28). La calificación de estos elementos indica que tan importante o tan favorable es cada factor para definir cuál es posible de implementar.

**Tabla 28:** Matriz de Priorización.

MATRIZ DE PRIORIZACION									
	Nivel de Importancia (%)		Elemento	Calificación		Calificación		Calificación	
				Humedales Artificiales	R	Lodos Activados	R	Hibrido (CUBECO)	R
COMPONENTES	Económico	9%	Costos de Instalación	4	0,36	2	0,18	3	0,27
		9%	Costos de Operación	4	0,36	2	0,18	2	0,18
		9%	Costos de Mantenimiento	4	0,36	2	0,18	1	0,09
		7%	Costos de Terreno	1	0,07	2	0,14	4	0,28
		4%	Costos de energía publica	4	0,16	1	0,04	1	0,04
		6%	Uso y disponibilidad de Equipos Mecánicos	4	0,24	1	0,06	2	0,12
	Ambiental	4%	Remoción de Cargas contaminantes	3	0,12	3	0,12	4	0,16
		4%	Remoción de Patógenos	3	0,12	3	0,12	4	0,16
		4%	Remoción de Nutrientes	3	0,12	3	0,12	3	0,12
		3%	Generación de Olores	3	0,09	3	0,09	3	0,09
		3%	Generación de Ruido	4	0,12	2	0,06	2	0,06
		3%	Generación de Vectores	3	0,09	3	0,09	3	0,09
		3%	Calidad del Suelo	4	0,12	2	0,06	2	0,06
	Paisaje	5%	Impacto visual	4	0,2	1	0,05	3	0,15
		4%	Biodiversidad	4	0,16	1	0,04	3	0,12
		5%	Área de zona Verde	4	0,2	1	0,05	3	0,15
	Social	7%	Generación de Empleo	2	0,14	4	0,28	4	0,28
		7%	Salud	3	0,21	3	0,21	3	0,21
		4%	Educación	4	0,16	2	0,08	4	0,16
	100%	Total		3,4		2,15		2,79	

Fuente: Autor 2007

**R** = Resultado: Nivel de Importancia (%) \* Valoración

**1** = No es Favorable:

**2** = Escasamente Favorable:

**3** = Favorable

**4** = Muy Favorable





A partir de los resultados obtenidos en la matriz de priorización, es posible deducir lo siguiente:

- Los Humedales Artificiales como los del sistema Palatino obtuvieron el mayor puntaje con 3,4. Son los sistemas más favorables para las condiciones económicas resaltando los costos de instalación, operación y mantenimiento, además de los bajos costos de energía pública y el poco uso de equipos mecánicos, (importante por las condiciones económicas y de difícil acceso para Cuba)

El área que ocupa este tipo de tratamiento puede convertirse en un problema de inversión, pero hay que tener en cuenta que genera espacios verdes dentro de la ciudad, reformando lugares que antes eran vertederos o zonas sin follaje; obteniendo un impacto visual positivo con mayor biodiversidad; es decir, que aunque las condiciones económicas no favorezcan a la utilización de estos sistemas por el espacio que necesitan para su correcto funcionamiento, es importante considerar el aspecto beneficio - costo que ofrecen.

- El sistema de Lodos Activados es valorado en la matriz como consideración para determinar las características de las tecnologías convencionales con los sistemas ecotecnológicos. Se compararon componentes con el sistema *Cubeco* ya que este es un híbrido entre lodos activados y Humedales Artificiales.

La Planta de Lodos activados, obtuvo la menor calificación con un puntaje de 2,15; sus costos de instalación, operación y mantenimiento son muy similares al del sistema *Cubeco* y aunque la Planta de Lodos Activados es un poco mas costosa, es posible de implementar en áreas del GPMH, ya que es apropiada para pequeñas comunidades. En el componente paisajístico su aporte no es muy favorable, ya que se basa en una serie de tanques, reduciendo zonas verdes y aportando poco a la biodiversidad.

- El sistema *Cubeco* obtuvo una calificación media. Teóricamente tiene excelente remoción de cargas contaminantes, así como remoción de patógenos y nutrientes, debido al uso de plantas en sus tanques de aireación. Sus costos de instalación, operación y mantenimiento son semejantes al sistema de lodos activados, pero sus costos de terreno son muy favorables ya que las características del agua residual son mejores en espacios mas reducidos que los dos anteriores.

El Uso y disposición de equipos mecánicos tanto para Lodos activados como para *Cubeco*, es de difícil acceso para las condiciones económicas Cubanas, y es necesario tener en cuenta este requerimiento para seguir instalando los sistemas en mas zonas del parque



## 6 ANALISIS PARA IMPLEMENTAR ALTERNATIVAS ECOTECNOLOGICAS EN AREAS DEL GPMH

En el presente capítulo se analizan las características de las ecotecnologías presentes y la manera como se pueden implementar en áreas del GPMH. Con la Interpretación de los resultados obtenidos en el estudio realizado a *Cubeco*, *Palatino* y la calidad ambiental de la Ciudad de la Habana, se crean estrategias que facilitan el desarrollo de las ecotecnologías.

### 6.1 ANÁLISIS FODA PARA IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS

Al investigar las potencialidades y obstáculos de las ecotecnologías para ser instaladas ya sea en áreas del GPMH o en Cuba, como alternativa económica de depuración de aguas residuales urbanas, es indispensable realizar un análisis FODA.

El análisis FODA consiste en realizar una relación de diagnóstico general para la construcción de estrategias que permitan establecer opciones de implementación de las ecotecnologías en áreas del GPMH.

A continuación se describen las principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para la implementación de una ecotecnología en áreas del GPMH.

#### 6.1.1 Fortalezas.

- Las Ecotecnologías permiten en la actualidad el aprovechamiento del recurso agua en áreas del GPMH, ya que al ser tratada se puede utilizar para el riego de cultivos de agricultura urbana, presentes en diferentes puntos del GPMH.\*
- Son tecnologías económicas y ecológicas que permite mejorar la situación de saneamiento ambiental de una región. (Ver numeral 1)
- Las Ecotecnologías favorecen a la conservación del recurso agua, ya que ayudan a reducir las concentraciones de contaminantes vertidos a ríos y arroyos. (Ver numeral 1)
- Evita grandes consumos de energía como los utilizados en plantas de tratamiento convencionales.(ver numeral 3.2.3.1)
- Hay una preocupación por parte del estado por mejorar el medio ambiente y la preservación y mejoramiento de espacios verdes dentro de la ciudad. (ver numeral 3.2)
- La aplicación de las Ecotecnologías es un medio adecuado para la creación y proceso de conciencia ambiental en la comunidad, al mostrar sus beneficios económicos, técnicos sociales y ambientales. (ver numeral 4)

---

\* En ciertas ocasiones la población se ha visto afectada por el uso de aguas residuales para regar los cultivos urbanos (ver numeral 3.1.4), constituyendo una problemática social por estar afectando la salud de los ciudadanos.



- Genera espacios verdes en los lugares donde son instaladas, atrayendo especies endémicas de animales. (ver numeral 1)
- Las ecotecnologías ayudan al problema de vertimientos de aguas residuales domésticas, que junto con otros aspectos aportan a localización ambiental de la región. (ver numeral 3.2.3)
- Tienen muy buena aplicación para las condiciones climáticas y atmosféricas propias del Caribe, ya que en Cuba, los sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales, mejoran su eficiencia en comparación de lugares con climas fríos o templados. ( ver numeral 1.1.6)
- En el GPMH es posible adecuar espacios para la instalación de las ecotecnologías, ya que cuenta con espacios como zonas áridas o en mal estado que pueden ser intervenidas.
- Ayudan al restablecimiento ecológico de su entorno así como de la salud de la población. ( ver numeral 1)
- Evita el tratamiento de grandes volúmenes de agua mediante la localización de diversas unidades que manejan menores caudales disminuyendo costos de operación, mantenimiento y mano de obra. (ve numeral 3.2.3.1)
- Las ecotecnologías Cumplen con los requisitos de límites máximos permisibles de la normatividad Cubana Vigente NC 27/99

#### 6.1.2 Debilidades

- Se puede convertir en un foco de mosquitos y agua residual estancada empeorando las condiciones sanitarias del lugar. (ver numeral 4.4.2.4)
- Algunos sistemas actuales se han construido sin tener alguna interventoría técnica de ingenieros especializados en el tema o profesores, generando problemas a futuro de obstrucciones o pérdidas de los mismos. (ver numeral 5.1.2)
- Existen creencias y prácticas del usuario en cuanto al uso del efluente de las ecotecnologías en el riego de cultivos, pues la población no cree en su efectividad como tecnología que disminuye las características del agua contaminante
- No existen reglas o protocolos que verifiquen los vertimientos que se realizan a arroyos y ríos del GPMH.
- No hay manuales de operación y mantenimiento para ninguno de los sistemas actualmente instalados en el Parque.

#### 6.1.3 Oportunidades

- Fuerte apoyo de instituciones como el GPMH para el eje fundamental de proyectos para la recuperación del pulmón de la ciudad. (ver numeral 3.2.3.1)
- Investigación en las ecotecnologías ya instaladas y en la construcción de próximas en diferentes puntos del parque.



- Inversiones en el sector medio ambiental y en la implementación de más ecotecnologías por parte del estado e instituciones internacionales.
- La Ecotecnologías son un sistema pionero para los residuales líquidos de las pequeñas comunidades en Cuba.
- Gran interés por la población, en tener espacios verdes y cambios en su medio ambiente.
- Interés de organizaciones e instituciones internacionales para el soporte técnico y financiero, con el fin de mejorar la infraestructura en Cuba y su impacto ambiental.
- Hay restricciones del uso del agua potable en la agricultura urbana, se necesitan nuevas alternativas para asegurar el abastecimiento del agua para irrigación.
- Se necesitan la implementación de ecotecnologías en la ciudad ya que hay deficiencias en el servicio de recolección y tratamiento. Solo es tratado el 40 % de las aguas residuales domésticas con solo 2 plantas de tratamiento convencionales para la ciudad de la Habana, el resto es vertido al río Almendares de forma descontrolada. (ver numeral 5.1.4)

#### 6.1.4 Amenazas

- El agua potable tiene tarifas fijas establecidas, que no representan el valor real del agua consumida por falta de un sistema de contadores, esto ayuda a que no haya una conciencia social del ahorro del recurso.
- Es necesaria la reparación de la red de alcantarillado, ya que tiene obstrucciones en las estradas de las ecotecnologías, generando problemas y hasta posibles pérdidas de los sistemas naturales.
- Bajo ritmo en la reparación y mantenimiento de tuberías.
- No hay un marco o estructura reguladora para el re uso de aguas residuales, ni se contemplan estadísticas de la situación real del uso de esta agua.

En La matriz FODA (Tabla 29) mostrada a continuación, señala las estrategias que pueden ser efectuadas en la construcción de futuras ecotecnologías en áreas del GPMH así como en el proyecto de multiplicación en más lugares de la Isla Cubana. La ejecución de estas estrategias depende de la propagación de las ecotecnologías por parte del GPMH y del estado Cubano para mejorar las características del río Almendares y sus afluentes. Es indispensable señalar la participación de toda la comunidad, incluyendo ingenieros, arquitectos, estudiantes de universidades y colegios y personas del común, para que este proyecto sea una alternativa novedosa en nuestros países en desarrollo.



**Tabla 29: Matriz FODA**

<div> <div>EFFECTOS EXTERNOS</div> <div>EFFECTOS INTERNOS</div> </div>	Fortalezas	Debilidades
	<p>Permite el aprovechamiento del recurso agua.</p> <p>Efluente utilizado para riego de cultivos urbanos.</p> <p>Mejora la situación de saneamiento ambiental de una región.</p> <p>Ayudan a la conservación del agua.</p> <p>Reduce la concentración de contaminantes vertidos.</p> <p>Evita grandes consumos de energía.</p> <p>Participación comunitaria.</p> <p>Generador de conciencia ambiental.</p> <p>Crea espacios verdes. Atrae especies endémicas.</p> <p>Grandes eficiencias de remoción de contaminantes.</p> <p>Aportan a la calidad ambiental de la región.</p> <p>Restablecimiento ecológico.</p> <p>Salud de la población.</p> <p>Evita el tratamiento de grandes volúmenes de agua mediante la localización de diversas unidades que manejan menores caudales disminuyendo costos de operación, mantenimiento y mano de obra.</p> <p>Las ecotecnologías Cumplen con los requisitos de límites máximos permisibles de la normatividad Cubana Vigente NC 27/99</p>	<p>Puede convertirse en foco de mosquitos y agua residual estancada, si no se hace continuo mantenimiento y cuidado.</p> <p>Problemas en su funcionamiento si no se implementan todos los dispositivos necesarios.</p> <p>Existen creencias y prácticas del usuario en cuanto al uso del efluente de las ecotecnologías en el riego de cultivos, pues la población no cree en su efectividad como tecnología que disminuye las características del agua contaminante.</p> <p>No existen reglas o protocolos que verifiquen los vertimientos que se realizan a arroyos y ríos del GPMH.</p> <p>No hay manuales de operación y mantenimiento para ninguno de los sistemas actualmente instalados en el Parque.</p>
Oportunidades	Estrategia F - O	Estrategia D - O
<p>Fuerte apoyo de instituciones como el GPMH para el eje fundamental de proyectos para la recuperación del pulmón de la ciudad.</p> <p>Investigación en las ecotecnologías ya instaladas y en la construcción de próximas en diferentes puntos del parque.</p> <p>Inversiones en el sector medio ambiental y en la implementación de más ecotecnologías por parte del estado e instituciones internacionales.</p>	<p>Iniciar estudios de campo para la correcta implementación de nuevas tecnologías en diferentes puntos del GPMH, y de esta manera disminuir las concentraciones de las aguas residuales vertidas al río Almendares y sus arroyos.</p> <p>Desarrollar propuestas de universidades para la investigación de las ecotecnologías próximas a instalar y en las ya instaladas, para el desarrollo intelectual, científico y técnico en el tema.</p>	<p>Buscar mecanismos de sensibilización de la población cercana al sitio de ubicación de las ecotecnologías.</p> <p>Invertir en el diseño y la implementación de dispositivos para mejorar las eficiencias y evitar continuos daños y obstrucciones.</p>



Son un sistema pionero para los residuales líquidos de las pequeñas comunidades en Cuba.	Adaptar propuestas de ecotecnologías realizadas en diferentes países, a las condiciones atmosféricas cubanas.	Desarrollar manuales de operación y mantenimiento así como normas de higiene y salud en cada uno de los sistemas con el fin de crear un ambiente propicio y un funcionamiento estable.
Gran interés por la población, en tener espacios verdes y cambios en su medio ambiente.		
Interés de organizaciones e instituciones internacionales para el soporte técnico y financiero.	Involucrar a toda la comunidad aledaña en la divulgación de una conciencia ambiental por medio de las ecotecnologías.	Promover la investigación en los efluentes de las ecotecnologías para que sean utilizadas en el riego de cultivos urbanos.
Se necesitan nuevas alternativas para asegurar el abastecimiento del agua para irrigación.		
Se necesitan la implementación de ecotecnologías en la ciudad ya que hay deficiencias en el servicio de recolección y tratamiento	Desarrollar programas con colegios y jardines de la localidad con el fin de hacer educación y conciencia ambiental.	Exigir a las autoridades ambientales de la región, mayor control de las empresas que vierten sus aguas residuales a los cuerpos de agua.
Amenazas	Estrategia F - A	Estrategia D - A
El agua potable tiene tarifas fijas establecidas que no representan el valor real del agua consumida.	Crear mecanismos de sensibilización a la población en cuanto al ahorro y uso del agua.	Estrategia general de educación para el uso del efluente de las ecotecnologías en la implementación de cultivos urbanos.
No haya una conciencia social del ahorro del recurso.	Conformar un equipo interdisciplinario en la investigación de ecotecnologías en el GPMH conformado por estudiantes, profesores, profesionales, de diferentes instituciones.	Auditoria continua a los requisitos en la instalación, obra y puesta en marcha de los nuevos sistemas, para evitar futuras complicaciones.
Continuas obstrucciones en las entradas de las ecotecnologías, generando problemas y hasta posibles pérdidas de los sistemas naturales.		
Bajo ritmo en la reparación y mantenimiento de tuberías.	Realizar trabajos de extracción y destape de las tuberías, en periodos de tiempo determinados con la Empresa Aguas de la Habana encargada de este trabajo	Crear un banco de investigaciones en el tema de ecotecnologías, para que estas puedan ser instaladas con mayor facilidad en otros lugares de Cuba.
No hay un marco o estructura reguladora para el re uso de aguas residuales, ni se contemplan estadísticas de la situación real del uso de esta agua		

Fuente: Autor 2007



## 7 CONCLUSIONES

El Trabajo realizado es el primero en los sistemas Palatino ubicado en el Barrio Santa Catalina y Cubeco localizado en el Barrio Carlos J Finlay. Es la base para la investigación y puesta en marcha de innovadoras tecnologías por parte del GPMH y las Universidades en pro del desarrollo y la calidad de vida de la comunidad

Las Ecotecnologías presentes en el GPMH, corresponden a la solución problemática de los vertimientos de aguas residuales domésticas, ayudando a la depuración del río Almendares y a la preservación del parque metropolitano.

Al valorar el funcionamiento de las unidades ecotecnológicas instaladas en el GPMH es imprescindible, como primera medida, realizar mayores y continuos ajustes de operación y mantenimiento de las Ecotecnologías para evitar problemas de funcionamiento y pérdidas de inversión como ocurre actualmente con el sistema *Pogolotty*

Las aguas que se depuran en los sistemas presentan características de aguas residuales domésticas resaltando que las concentraciones en el afluente del sistema *Cubeco* son casi el doble de las concentraciones de las aguas residuales que entran al sistema *Palatino*, Para la Primera es de 300 mg/L y para la segunda es de 181 mg/L

Según la prueba de hipótesis de los análisis estadísticos en *Palatino* la eficiencia promedio de DQO y DBO fue superior al 80% cumpliendo con los parámetros de diseño para humedales artificiales establecidos en la literatura. En cambio el sistema *Cubeco* no superó el 80 % de eficiencia sin cumplir con los parámetros de diseño establecidos para Lodos activados. Este resultado puede estar afectado por las condiciones del afluente en los sistemas.

Las pruebas de hipótesis confirman para los dos sistemas, que sus vertimientos cumplen con los requisitos de límites máximos permisibles de la Normatividad Cubana vigente (NC 27 de 1999) dentro de las características de un cuerpo receptor de categoría C ( 60 mg/L de DBO<sub>5</sub> y 120 mg/L de DQO).

En el sistema Palatino se observa un buen funcionamiento por las características de las plantas que presentan los humedales, además de una remoción considerable de material orgánico representado en DBO y DQO con un consumo mínimo de energía; sus costos de operación no son muy elevados y presenta pocos problemas de funcionamiento.





El sistema *Cubeco* es un sistema relativamente económico comparado con sistemas de tratamiento convencionales y cumple con su función de ayudar a depurar las aguas residuales que son vertidas por la comunidad de consejo popular Pogolotti Finlay, además de crear un espacio ecológico y de educación, pero puede llegar a un estado de inoperancia y cierre si no se implementan los controles señalados.

El estado de las tuberías y registros de entrada del sistema *Cubeco*, evita que el caudal para que fue diseñado ingrese de forma continua, impidiendo una estabilización del sistema además de producir cambios en los tiempos de retención y alterar las características de diseño de cada proceso. Un ejemplo claro es el estado actual del tanque de igualación que funciona como un pozo séptico donde se están removiendo mas del 50% de las cargas contaminantes de todo el sistema y se crea la presencia de vectores y olores nocivos. Este inconveniente también evita la elaboración de un análisis representativo.

Al observar los datos de remoción de materia orgánica expresada en DBO y DQO de cada una de las filas del sistema *Cubeco*, así como las características de Oxígeno Disuelto, se puede concluir que la potencia de los aireadores instalados en cada tanque no es la requerida, además los tanques tienen una baja respiración microbiana (0.0467 kg/kgd), indicando poca concentración del proceso biológico. Pero hay que resaltar el papel que cumplen las especies vegetales en la eficiencia del sistema.

Se nota una diferencia económica considerable entre los sistemas, Palatino (valor directo \$ Colombia:189.622.466, CUC:79.009) y *Cubeco* (valor directo \$ Colombia: 352.247.618, CUC:140.546), pero hay que tener en cuenta que las características de inversión y los caudales tratados de cada uno son diferentes. Para el sistema *Cubeco* se necesita de una mayor inversión de instalación operación y mantenimiento, ya que depende de más dispositivos y obras civiles que el sistema Palatino además el caudal tratado en este sistema es mayor. El sistema Palatino tiene menores costos de inversión y operación, pero necesita de mayores áreas para poder ser construido; teniendo en cuenta el Costo / Beneficio que produce en el sistema Palatino se concluye que éste tiene las mejores características económicas y de funcionamiento para ser reproducido mas fácilmente en mas ares del GPMH.

Según la Matriz FODA se concluye que es posible la inversión y puesta en marcha de mas ecotecnologías en áreas del GPMH ya que hay un apoyo por parte de el gobierno, la empresa, y de las comunidades que en el habitan para mejorar las características ambientales y ayudar a la depuración del río Almendares. Es necesaria la participación de las universidades en él perfeccionamiento de los sistemas para de esta manera logar ampliar este proyecto a más zonas de la Isla.





## 8 RECOMENDACIONES

Este trabajo es solo el primer paso en la investigación de las ecotecnologías presentes en el GPMH, por esta razón es importante realizar mas investigaciones para corroborar los análisis y las conclusiones mencionadas anteriormente.

Se recomienda hacer mayores estudios en el comportamiento del sistema *Cubeco*, cuando éste se encuentre estable.

Se debe realizar un análisis más detallado de el kikuyo (especie vegetal presente actualmente en el sistema *Cubeco*) para verificar su comportamiento en la remoción de contaminantes, así como realizar investigaciones para experimentar con otro tipo de especies vegetales con el fin de mejorar la eficiencia del sistema.

Se recomienda el estudio del comportamiento del sistema Palatino y *Cubeco* en la remoción de organismos patógenos y nutrientes con el fin de darle un uso al afluyente para el riego de cultivos.

Desarrollar modelos matemáticos que faciliten la implementación de las ecotecnologías en las condiciones climáticas tropicales propias de Cuba para de esta manera se implementen con mayor facilidad en otras áreas del GPMH

Es necesario hacer periódicamente caracterizaciones en los sistemas Palatino y *Cubeco* para verificar el funcionamiento.

Bajo condiciones normales de operación posteriormente a su arranque, deberá generarse el manual de operación y mantenimiento.



## BIBLIOGRAFIA

AMBIENTAL. Diario Tierra América, [en línea] Disponible en: <http://www.tierramerica.net>

ARROJO Agudelo, Pedro. La gota de la Vida: “Hacia una Gestión Sustentable y democrática del agua”. Fundación Heinrich Böll. Mexico: Frente y Vuelta 2003. 400 p.

AYES, Gilberto. Desarrollo Sostenible y sus Retos. Cuba: Científico – Técnica, 2006. 243 p.

CRITES AND TCHOBANOGLOUS. Sistemas de manejo de agua residual para núcleos pequeños y descentralizados McGraw-Hill, 1998. 701 p.

ECOTEC. Solar Acuatric Advenced Ecological tertiary Treatment plant for a new corporate campus. [en línea] Canadá Disponible en <http://www.ene.gov.on.ca>

EDITUR. Cuba tierra de emociones inolvidables En: Folleto informativo guía turística. Cuba: Editur, 1999. 22 p.

ELLIS J.B, REVITT, DM, SHUTES, RB AND LANGLEY, JM. The performance of vegetated biofilters for nighway runoff control. Nueva York: The Science of the total Environmen, 1994, 867 p.

EPA. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales en Humedales de flujo superficial [en línea] Estados Unidos Disponible en: [www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm](http://www.epa.gov/owmitnet/mtbfact.htm), >

ESTRATEGIA DE DESARROLLO Haciendo Camino al Andar. en Gran Parque Metropolitano de La Habana. No 3 2003 – 2006. 20 p.

FERNÁNDES Soriano, Armando. La gota de la Vida: “Hacia una Gestión Sustentable y democrática del agua” Derecho Humano al Agua en Cuba. Fundación Heinrich Böll. México: Frente y Vuelta, 2003. 400 p

FONTOVA, Margarita y DÍAZ, Adolfo. Balance de recursos Hidráulicos en Cuba. Ciudad de la Habana Cuba: INRH Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos., 2000. 110 p.

GONZÁLEZ Díaz, Orestes. Diseño Hidráulico de Plantas Potabilizadote. Cuba: Instituto superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2004. 103 p.



(\_\_\_\_\_). Estudio del Comportamiento De Humedales Con Flujo Subsuperficial Horizontal en el Tratamiento De Aguas Residuales, Cuba: Tesis en Opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, 2000. 98 p.

(\_\_\_\_\_). Trabajo de investigación Sociológico, Gran parque metropolitano de la Habana. Cuba: CUJAE Facultad de Hidráulica, 2003. 42 p.

GONZÁLES J Fernández. Manual de Fitodepuración. Filtros de Macrofitas en Flotación. España: Proyecto LIFE., 2001. 156 p.

HANDMER, Donald A, Constructed Wetlands for Wastewater treatment. Estados Unidos: Lwis Publishers. Cheslea, 1989 . 170 p.

HEDIN, R.S NAIRN, R.W. y KLEINMANN. Passive treatment of polluted coal mine drainage. Estados Unidos: RLP, 1994. 640 p.

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, EPIDEMIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA. Calidad del Aire en Cuba En: Revista Cubana Higiene y Epidemiología Vol.44 No.2 Ciudad de la Habana . 2006 53 p.

KADLEC Y KNIGHT. Treatment Wetlands. Florida: CRC Press, 1996. 2256 p.

LARA Borrero, Andre. Depuración de Aguas residuales Municipales con Humedales Artificiales. España: Master en Ingeniería y gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, 1998. 123 p.

LEY DEL MEDIO AMBIENTE. Ley 81 República de Cuba, Asamblea Nacional Del Poder Popular. La Habana, 1997.

MARCELO E. Corp.. Calidad del aire y su impacto en la salud en América Latina y el Caribe. CEPIS, 2000. 130 p.

MARÍN, Rodrigo. Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia. Bogotá: Himat 1992. 220 p.

MENÉNDEZ, Carlos. Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. La Habana Cuba: CUJAE Centro de Investigación de Procesos Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2003. 465 p.

METCALF & EDDY. Ingeniería Sanitaria. Labor, S.A, 1985 .1459 p.

MONJE Cardazo, Luís Eduardo. Humedales artificiales como alternativa de tratamiento para aguas residuales domesticas. Colombia: CAR (Corporación autónoma regional), 2004. 28 p.



MOORHEAD, K y K REDDY. Oxigen transport trough selected aquatic macrophytes. Nueva York, 1988. p. 458 p.

NORMA CUBANA. Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Cuba: Oficina Nacional de Normalización, 1999. 10 p.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Diccionario De La Lengua Española - Vigésima segunda edición. 2001

REDDY K. R ABD E.M. D'ANGELO. Soil processes regulating water quality in wetlands Estados Unidos, 1994. 534 p.

RODRÍGUEZ Cruz, Francisco. Órgano de la Central de Trabajadores de Cuba ¿Por qué Cuba es más verde? [en línea] 15 de noviembre Disponible en: <<http://www.trabajadores.co.cu/>>

RODRÍGUEZ Pérez de Agreda. Estudio Experimental de la Utilización del jacinto de Agua en el Tratamiento de Albañales. XXII La Habana Cuba: Congreso Interamericano de ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1993 4 p.

ROMERO Rojas Jairo, Tratamiento de aguas residuales, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. 1244 p.

SALAZAR Yuleidy y GONZÁLEZ Anhara. Evaluación de un Humedal construido para el Tratamiento de aguas Residuales Domesticas, Trabajo de Diploma, Ingeniería Civil. JCuba CUJAE, 2005. 104 p.

TCHOBANOGLIOUS G. Aquatic Plants Systems for Waste water Treatment. En gineering Consideration. In Aquatic Plants for Water Treatmen and Resource Recavery, K.R Reddy and W.H Smith. Orlando, Florida: Magndia Pub. Inc, 1987. 1084 p.

THE INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CEBTER. Informe Técnico de la República de Cuba, México: Encuentro Internacional de la Ciudad de México Sobre Participación Social en la Gestión del Medio Ambiente Urbano [en línea] Cuba. Disponible en < [http://www.idrc.ca/en/ev-23852-201-1-DO\\_TOPIC](http://www.idrc.ca/en/ev-23852-201-1-DO_TOPIC)>

UNICEF. Evaluación del servicio de agua potable y saneamiento. [en línea] Cuba, 1992 Disponible en <<http://www.bvsde.opsoms.org/eswww/eva2000/cuba/informe/inf-08.htm>>

UNIVERSITÉ DE LIÈGE [en línea] Cuba Disponible en: <[www.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Cuba/Cuba.ht](http://www.ulg.ac.be/cwbi/projets/atlas/pays/Cuba/Cuba.ht)>



VALDÉS Deas Guido. Estudio del comportamiento hidráulico de sistema de tratamiento de flujo subsuperficial ( Humedales artificiales), Ciudad de la Habana Cuba: Tesis de Maestría, Ingeniería Hidráulica, Instituto superior Politécnico José Antonio Echeverría, 2000, 97 p.

VALERO González, Mercedes. Simposio de historia Ambiental Americana. Ciencia y Política Forestal en Cuba en el siglo XX, Cuba: Museo Nacional de Historia de las Ciencias “Carlos j. Finlay”, 2003 78 p.



## Anexos

---

## PARÁMETROS DE DISEÑO HUMEDALES ARTIFICIALES<sup>1</sup>.

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos, y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo pistón para la remoción de DBO y nitrógeno. A lo largo de este capítulo se ha observado que ambos sistemas de humedales tienen excelentes condiciones para la remoción de DBO, sólidos suspendidos y nitrógeno, así como las consideraciones de tipo hidráulico y térmico. En algunos casos se presentan varios modelos con el objeto de poder compararlos dada la falta de consenso universal sobre la mejor aproximación al diseño.

La siguiente es la ecuación básica de los reactores de flujo a pistón:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_r t}$$

donde:      Ce: Concentración del contaminante en el efluente (mg/L)  
               Co: Concentración del contaminante en el afluente (mg/L)  
               KT: Constante de velocidad de reacción de primer orden, dependiente de la temperatura (d-1)  
               T: Tiempo de retención hidráulica (d)

El tiempo de retención hidráulica en el humedal puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$t = \frac{L \cdot W \cdot d \cdot n}{Q} (2)$$

donde:      L: Longitud del estanque (m)  
               W: Ancho del estanque (m)  
               d: Profundidad del agua en el estanque (m)  
               n: Porosidad, o espacio utilizado por el agua para fluir a través del humedal. En los humedales con flujo libre (FS) la vegetación y las plantas secas ocupan un espacio, mientras que en los humedales con flujo subsuperficial (FSS) el medio, las raíces y otros sólidos hacen lo mismo. La porosidad es un porcentaje y se expresa en forma decimal.  
               Q: Flujo promedio a través del humedal (m<sup>3</sup>/d)

<sup>1</sup> LARA Borrero, Andres, Depuración de Aguas residuales Municipales con Humedales Artificiales, Máster en Ingeniería y gestión Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña 1998, p 51



Para determinar el flujo promedio se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{Q_a + Q_e}{2} \quad (3)$$

donde:         $Q_a$ : Caudal de salida (m<sup>3</sup>/d)  
                  $Q_e$ : Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/d)

Puede ser necesario calcular el caudal medio mediante la expresión anterior, para compensar las pérdidas o ganancias de agua causadas por filtración o precipitaciones a lo largo del flujo del agua residual a través del humedal. Un diseño conservador debe asumir que no existen pérdidas por filtración y adoptar una estimación razonable de las pérdidas por evapotranspiración y ganancias por lluvia de los registros históricos del lugar.

Por lo anteriormente dicho se puede asumir que  $Q_a = Q_e$ . Combinando entonces las ecuaciones (1) y (2) se puede determinar el área superficial del humedal.

$$A_s = L \cdot W = \frac{Q \cdot \ln(C_o / C_e)}{K_r \cdot d \cdot n} \quad (4)$$

donde:)  $A_s$ : Área superficial del humedal, m<sup>2</sup>

El valor de  $K_T$  para las ecuaciones (1) y (4) depende del contaminante que se quiere eliminar y de la temperatura; esto se discutirá mas adelante.

Como las reacciones biológicas del tratamiento dependen de la temperatura, es necesario, para un buen diseño, estimar la temperatura del agua en el humedal. El rendimiento y la viabilidad de los humedales de tipo FWS en climas muy fríos están también influidos por la formación de hielo en el sistema. En el caso extremo, un humedal relativamente poco profundo podría congelarse, lo que daría lugar a una detención del proceso. Por tanto, se tratará también el procedimiento de cálculo para estimar la temperatura del agua en el humedal y el grosor de la capa de hielo de formarse ésta.

El diseño hidráulico de un humedal es tan importante como el de los modelos que calculan la remoción de contaminantes, ya que estos modelos están basados en que se asume un flujo a pistón con un flujo uniforme a través de la sección del humedal y con mínimos flujos preferenciales. Muchos sistemas existentes fueron diseñados sin tener la suficiente consideración a los requerimientos hidráulicos, lo que llevó a obtener con diciones no esperadas de flujo, incluidos caminos preferenciales y consecuencias adversas sobre el rendimiento esperado. Estos

problemas están considerados en el procedimiento de diseño hidráulico que aquí se presenta.

Un diseño válido requiere tener en cuenta consideraciones hidráulicas y térmicas, así como la cinética de la remoción. El procedimiento es usualmente iterativo y requiere asumir la profundidad del agua y la temperatura para resolver las ecuaciones cinéticas. De esta manera, se puede predecir el área de humedal requerida para la remoción de un contaminante. El contaminante que requiera la mayor área para su remoción, será el factor limitante en el diseño y controlará el tamaño del humedal. Una vez se conoce el área, las ecuaciones térmicas pueden ser usadas para estimar la temperatura teórica del agua en el humedal. Si este cálculo no coincide con el dato asumido inicialmente se requerirán posteriores iteraciones hasta que estas dos temperaturas converjan. El último paso es usar los cálculos hidráulicos apropiados para determinar la forma final (relación largo: ancho) y la velocidad de flujo en el humedal. Si estos valores finales son significativamente diferentes a los asumidos inicialmente para las ecuaciones de temperatura, serán necesarias nuevas iteraciones.

### **DISEÑO HIDRÁULICO**

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. Todos los modelos de diseño que se usan actualmente asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y que además no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento.

En un humedal SFS este concepto es necesario para asegurar que las condiciones de flujo subsuperficial se mantienen en circunstancias normales durante todo el período de funcionamiento del sistema. Esto solo es posible a través de un cuidadoso diseño hidráulico y unos métodos constructivos apropiados.

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema. Esta resistencia es impuesta por la vegetación y la capa de sedimentos en los FWS, y el medio, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados en los SFS. La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del sistema. La mejor solución en lo referente a construcción, es proveer al humedal de un fondo con una inclinación que sea suficiente para permitir un drenaje completo cuando sea necesario y una salida de altura variable con el nivel de agua.

La relación largo-ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. En teoría grandes relaciones largo:ancho 10:1 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tienen el inconveniente de que en la parte alta se desbordan debido al incremento en la resistencia al flujo causado por

la acumulación de residuos de vegetación, principalmente en sistemas FWS, Por tanto, relaciones de 1:1 hasta aproximadamente 3 :1 o 4:1 son aceptables. Los cortocircuitos pueden ser minimizados con una cuidadosa construcción y mantenimiento del fondo del humedal, con el uso de múltiples celdas, y con la intercalación de zonas abiertas (sin vegetación) para la redistribución del flujo.

### HUMEDALES DE FLUJO LIBRE

El flujo de agua en un humedal FWS es descrito por la ecuación de Manning, que define el flujo en canales abiertos. La velocidad de flujo en el humedal es descrita por la ecuación (5), depende de la profundidad del agua, de la pendiente de la superficie del agua y de la densidad de la vegetación. Otras aplicaciones de la ecuación de Manning para canales abiertos suponen que la resistencia por fricción solamente ocurre en el fondo y en las paredes del canal. En los humedales artificiales FWS la resistencia está distribuida sobre la totalidad de la columna de agua, ya que las plantas emergentes y los restos de vegetación están presentes en todo el espacio. La ecuación de Manning también asume flujo turbulento, lo que no es completamente válido pero es una aproximación aceptable.

$$v = \frac{1}{n} y^{2/3} s^{1/2} \quad (5)$$

donde:

- v: velocidad de flujo, m/s
- n: coeficiente de Manning,  $s/m^{1/3}$
- y: profundidad del agua en el humedal, m
- s: gradiente hidráulico, o pendiente de la superficie del agua, m/m

Para los humedales, el número de Manning (n) es función de la profundidad del agua debido a la resistencia impuesta por la vegetación emergente. La resistencia también depende de la densidad de la vegetación y de la capa de residuos que puede variar según la localización o la estación. La relación está definida por:

$$n = \frac{a}{y^{1/2}} \quad (6)$$

donde:

- a: Factor de resistencia,  $s \cdot m^{1/6}$   
 $0,4 s \cdot m^{1/6}$  para vegetación escasa y  $y > 0,4$  m  
 $1,6 s \cdot m^{1/6}$  para vegetación moderadamente densa con profundidades de agua residual de  $y \approx 0,3$  m

6,4 s • m para vegetación muy densa y capa de residuos, en humedales con  $y \leq 0,3$  m

En muchas situaciones, con vegetación emergente típica, es aceptable asumir para propósitos de diseño valores de  $a$  entre 1 y 4. Sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación (5) tenemos.

$$v = \frac{1}{a} y^{7/6} s^{1/2} \quad (7)$$

Sustituyendo y reorganizando términos es posible llegar a una ecuación para determinar la longitud máxima de una celda de humedal.

$$v = \frac{Q}{Wy} \quad W = \frac{A_s}{L} \quad y \quad s = \frac{(m)(y)}{L}$$

donde:

- Q: Caudal, m<sup>3</sup>/d
- W: Área superficial de la celda de humedal, m<sup>2</sup>
- A<sub>s</sub>: Longitud de la celda de humedal, m
- L: Pendiente del fondo del lecho, % expresado como decimal
- m: Sustituyendo en la ecuación (7) y reordenando obtenemos:

$$L = \left[ \frac{A_s y^{8/3} m^{1/2} \cdot 86.400}{a \cdot Q} \right]^{2/3} \quad (8)$$

El área superficial del humedal (A<sub>s</sub>) se determina primero mediante el modelo de diseño de remoción del contaminante limitante. La ecuación (8) permite el cálculo directo de la longitud máxima aceptable de una celda de humedal compatible con el gradiente hidráulico seleccionado. Es aconsejable usar el gradiente hidráulico más pequeño posible para tener una reserva en caso de necesitarse ajustes futuros. Una relación largo -ancho < 3:1 suele ser la mejor selección desde el punto de vista costo eficiencia, pero otras combinaciones de longitud y gradiente hidráulico son posibles también de modo que se pueda ajustar la forma del humedal al sitio y su topografía. El valor de (m) usado en la ecuación, está típicamente entre 10 y 30% de la perdida de carga disponible. La máxima perdida de carga disponible es igual al to tal de la profundidad del agua (y) del humedal cuando m=100%. Este no sería un diseño conservador, porque el humedal podría estar seco al final y no tendría capacidad de reserva si la resistencia al flujo aumentara en el futuro.

El valor de Q en la ecuación (8) es el caudal promedio entre la entrada y la salida, para tener en cuenta las pérdidas o ganancias de agua debidas a la evapotranspiración, filtración y precipitación. Es usualmente aceptable para un

diseño preliminar suponer los caudales de entrada y salida iguales. Para el diseño final del sistema será necesario tener en cuenta estas pérdidas y ganancias.

### HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

La ley de Darcy, que esta definida en la ecuación (9), describe el régimen de flujo en un medio poroso que es lo generalmente aceptado para el diseño de humedales tipo SFS usando suelo y arena como medio del lecho. El mayor nivel de turbulencia en el flujo ocurre en lechos que usan piedra muy gruesa; entonces la ecuación de Ergun es más apropiada para este caso.

La ley de Darcy no es estrictamente aplicable a los humedales de flujo subsuperficial dadas las limitaciones físicas en el actual sistema. Este asume condiciones de flujo laminar, pero el flujo turbulento puede darse con gra vas muy gruesas cuando el diseño usa un gradiente hidráulico alto. La ley de Darcy también asume que el flujo en el sistema es constante y uniforme, pero en la realidad puede variar por la precipitación, evaporación y filtración; así como por los cortocircuitos en el flujo que pueden llegar a presentarse por una desigual porosidad o mala construcción. Si se utiliza una grava de tamaño pequeño o medio, si el sistema está apropiadamente construido para minimizar los cortocircuitos, si el sistema esta diseñad o para tener una mínima dependencia del gradiente hidráulico y si las pérdidas y ganancias del sistema están adecuadamente reconocidas, la ley de Darcy puede dar una aproximación razonable a las condiciones hidráulicas en el humedal tipo SFS.

$$v = k_s \cdot s$$

y dado que:

$$W_y$$

Entonces:

$$Q = k_s A_c s \quad (9)$$

- donde: Q: Caudal promedio a través del humedal, m<sup>3</sup>/d [(Q<sub>0</sub>+Q<sub>e</sub>)/2]  
 ks: Conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección de flujo, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d.  
 A<sub>c</sub>: Área de la sección transversal perpendicular al flujo, m<sup>2</sup>  
 s: Gradiente hidráulico o "pendiente" de la superficie del agua en el sistema, m/m  
 v: Velocidad de "Darcy", la velocidad aparente de flujo a través de la totalidad del área de la sección transversal del lecho, m/d

Sustituyendo y reorganizando los términos es posible desarrollar una ecuación que determine de manera aceptable el ancho mínimo de una celda de humedal SFS que sea compatible con el gradiente hidráulico seleccionado para el diseño, partiendo de:

$$s = \frac{(m)(y)}{L} \quad L = \frac{A_s}{W} \quad A_c = (W)(y)$$

donde:

- W: Ancho de una celda del humedal, m
- $A_s$ : Área superficial del humedal,  $m^2$
- L: Longitud de la celda de humedal, m
- m: Pendiente del fondo del lecho, % expresado como decimal
- y: Profundidad del agua en el humedal, m

$$W = \frac{1}{y} \left[ \frac{(Q)(A_s)}{(m)(k_s)} \right]^{0.5} \quad (10)$$

El área superficial del humedal ( $A_s$ ) se determina en primer lugar, usando el modelo de diseño limitante para remoción de contaminantes. La ecuación (10) permite calcular directamente el ancho mínimo absoluto aceptable de una celda de humedal compatible con el gradiente hidráulico seleccionado. Otras combinaciones de ancho - gradiente hidráulico pueden ser posibles a fin de ajustar el diseño a las condiciones topográficas existentes en el sitio propuesto. El valor de m en la ecuación (10) típicamente se encuentra entre 5 y 20% de la pérdida de carga potencial. En este caso se aplica la misma recomendación acerca de la no selección de la máxima pérdida de carga disponible. Es realmente recomendable tomar un valor de la conductividad hidráulica efectiva ( $k_s$ ) p 1/3 y que m no sea mayor del 20% para tener un factor de seguridad suficiente contra potenciales atascamientos, efectos de la viscosidad y otras contingencias que pueden llegar a ser desconocidas en el momento del diseño.

Las ecuaciones (9) y (10) son válidas cuando el flujo es laminar a lo largo de los espacios vacíos del medio, es decir, cuando el número de Reynolds es menor a 10. El número de Reynolds es función de la velocidad de flujo, del tamaño de los espacios vacíos y de la viscosidad cinemática del agua, como se muestra en la ecuación (11). En muchos casos  $N_R$  será mucho menor de 1, en cuyo caso el flujo laminar impera y la ley de Darcy es válida. Si el flujo es turbulento, entonces la conductividad hidráulica efectiva será significativamente menor que la predicha por la ley de Darcy.

$$N_R = \frac{(v)(D)}{\tau} \quad (11)$$

donde:

- $N_R$ : Numero de Reynolds, adimensional
- v: Velocidad de Darcy (de la ecuación (9)), m/s
- D: Diámetro de los vacíos del medio, tomarlo igual al tamaño medio del medio, m

$\tau$  : Viscosidad cinemática del agua, m<sup>2</sup>/s (Ver Tabla 3)

La conductividad hidráulica ( $k_s$ ) en las ecuaciones (9) y (10) varía directamente con la viscosidad del agua, que a su vez es función de la temperatura del agua:

$$\frac{k_{sT}}{k_{s20}} = \frac{\mu_{20}}{\mu_T} \quad (20)$$

donde:

$k_s$ : Conductividad hidráulica a una temperatura T y 20 °C.

$\mu$ : Viscosidad del agua a una temperatura T y 20 °C. (Ver Tabla)

Tabla I. Propiedades físicas del agua.

Temperatura Viscosidad dinámica (°C) x10 <sup>3</sup> (m <sup>2</sup> /s)@	Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) N*s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática / x10 <sup>6</sup> @	
0	999,8	1,781	1,785
5'	1.000,0	1,518	1,519
10	999,7	1,307	1,306
15	999,1	1,139	1,139
20	998,2	1,102	1,003
<i>jjj</i>	997,0	0,890	0,893
30	995,7	0,708	0,800
40	992,2	0,653	0,658
50	988,0	0,547	0,553
60	983,2	0,466	0,474
70	977,8	0,404	0,413
80	971,8	0,354	0,364
90	965,3	0,315	0,326

100                      958,4                      0,282                      0,294

Los efectos de la viscosidad pueden ser significativos en climas fríos, con humedales SFS operando durante los meses de invierno. Por ejemplo, la conductividad hidráulica de un agua a una temperatura de 5 °C podría ser el 66% de la de a 20°C. Este efecto ya está considerado en la recomendación previa del factor de seguridad (diseñar con  $k_{spl}/3$  del  $k_s$  efectivo).

La conductividad hidráulica ( $k_s$ ) en las ecuaciones (9) y (10) también varía con el número y tamaño de vacíos en el medio usado para el humedal. La Tabla 4 presenta órdenes de magnitud estimados para un rango de materiales granulares que podrían ser usados en un humedal SFS. Es recomendable que la conductividad hidráulica se mida en el terreno o en laboratorio antes del diseño final.

Tabla II Características típicas de los medios para humedales SFS

Tipo de material	Tamaño efectivo $D_{10}(mm)$	Porosidad, $n$ (%)	Conductividad hidráulica, $k_s$ ( $m^3/m^2/d$ )
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	"8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	•32	36-40	10.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

Es aconsejable que la porosidad ( $n$ ) del medio también se mida en el laboratorio antes de hacer el diseño final. Esta puede ser medida usando el procedimiento estándar de la ASTM. Los valores de porosidad para estos tipos de suelo y grava están publicados en muchas referencias, pero pueden ser mucho menores que los de la Tabla 4, ya que pueden estar dados para depósitos naturales de suelo y grava que han pasado por un proceso de consolidación natural y, por tanto, esos valores no son los apropiados para el diseño de un humedal tipo SFS. Es posible usar una relación basada en la ecuación de Ergun, para estimar la conductividad hidráulica cuando se usan gravas gruesas o rocas:

$$k_s = n^{3.7}$$



Esta ecuación, así como los valores de la Tabla 4 son útiles solamente para un diseño preliminar o para estimar un orden de magnitud. El diseño final de un humedal SFS debe basarse en mediciones reales de los dos parámetros, conductividad hidráulica y porosidad.

La recomendación previa de que el gradiente hidráulico de diseño se limite a no más del 20% de la pérdida de carga disponible es el efecto parcial de limitar la relación de forma del sistema a valores relativamente bajos ( [33:1 para lechos de 0,6 m de profundidad, [30,75:1 para lechos de 0,3 m de profundidad). En Europa, se han construido sistemas SFS usando suelo en lugar de grava, con pendientes del 8% para asegurar un adecuado gradiente hidráulico y continúan experimentando flujo superficial causado por un inadecuado factor de seguridad en el diseño.

Basándose en los aspectos antes expuestos y en el comportamiento de la naturaleza, varios autores han llegado a proponer criterios de diseño típicos para ambos sistemas (Flujo Libre y Flujo Subsuperficial), con el fin de proporcionar una buena calidad en los efluentes. En las tablas que aparecen a continuación se pueden observar estos criterios. (Crites y Tchobanoglous, 1998)

<b>Criterios de diseño de los humedales con flujo libre y la calidad de los efluentes esperados</b>		
Parámetros de Diseño	Unidad	Valor
Tiempo de retención	d	2-5 (DBO)
		7-4 N
Velocidad de Carga Orgánica	Kg/ha.d	<110
Profundidad del agua	m	0.06-0.45
Tamaño Mínimo	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	5.3-10.7
Relación L:W		2:1 -4:1
Control de Mosquitos		Requerido
Intervalo de Cosecha	año	3 -5
Calidad Esperada para los afluentes		
DBO <sub>5</sub>	mg/L	<20
SST	mg/L	<20
NT	mg/L	<10
PT	mg/L	<5

<b>Criterios de diseño de los humedales con flujo subsuperficial y la calidad de los efluentes esperados</b>		
Parámetros de Diseño	Unidad	Valor
Tiempo de retención	d	3-4 (DBO)
		6-10 N
Velocidad de Carga Orgánica	Kg/ha.d	<110
Velocidad de carga de SST que entran	m	0.04
Profundidad del agua	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.3-0.61
Profundidad del medio		0.46 -0.76
Control de Mosquitos		No se requiere
Esquema de Cosecha	año	3 -5
Calidad Esperada para los afluentes		
DBO <sub>5</sub>	mg/L	<20
SST	mg/L	<20
NT	mg/L	<10
PT	mg/L	<5

## PARÁMETROS DE DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS.

*Tiempo de retención hidráulica.*

“El tiempo de retención hidráulica viene dado por la relación entre volumen efectivo del reactor y el flujo o caudal de entrada”<sup>2</sup>, este también está relacionado con el tiempo de aireación ya que es función de la concentración de DBO del agua residual del afluente y el volumen del tanque de aireación.

Cuando no hay recirculación

$$\phi = \frac{V}{Q}$$

Donde:

$\phi$  = tiempo de retención hidráulica

V = volumen del tanque de aireación

Q = Caudal de aguas residuales, sin incluir el caudal de recirculación

Cuando existe recirculación Qr

$$\phi = \frac{V}{Q + Qr}$$

*Carga Orgánica (CO)*

La carga orgánica se expresa generalmente como el producto de la concentración de DBO por caudal afluente.

$$CO = S_0 Q$$

La carga orgánica Volumétrica (COV) es la masa de sustrato que se aplica, expresado como DBO o DQO, por unidad de volumen del tanque de aireación, en la unidad de tiempo.

$$COV = \frac{QS_0}{V} = \frac{S_0}{\phi}$$

*Razón de carga volumétrica (Rv)*

“La razón de carga volumétrica es un parámetro que puede asociarse, en un sentido físico, con la velocidad másica de remoción del sustrato por unidad de volumen efectivo del tanque de aireación”<sup>3</sup>

$$Rv = \frac{Q(S_0 - Sf)}{V}$$

<sup>2</sup> MENÉNDEZ, Carlos. Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. La Habana Cuba: CUJAE Centro de investigación de procesos, instituto superior Politécnico José Antonio Echeverría

<sup>3</sup> Ibid

Donde:

$S_0$  = Caudal de DBO del afluente

$S_f$  = Caudal de DBO del efluente

### *Carga del Lodo*

Es conocido como la relación de F/M (alimento/microorganismo) es la carga del lodo al flujo másico del sustrato, ya sea DBO o DQO que se aplica al tanque de aireación, por unidad de solido orgánico del lodo (Sólidos Suspendidos Volátiles de Licor Mesclado), es una forma de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbial del sistema

$$\frac{F}{M} = \frac{QS_0}{VX}$$

Donde:

$X$  = concentración de lodos en el tanque de aireación (SSVLM)

La Razón de carga del lodo es en esencia es la remoción específica de DBO o DQO.

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(S_0 - S_2)}{VX}$$

### *Edad del Lodo.*

La edad del lodo puede calcularse a partir de la recirculación que existe entre la masa del lodo que está presente en el sistema y la masa de lodo que se extrae diariamente.

$$\phi_c = \frac{\text{Masa.Celular.en.el.reactor}}{\text{Masa.Celular.extraida.por.dia}}$$

Es decir:

$$\phi_c = \frac{VX}{Q_w X_R + Q_e X_e}$$

Donde:

$\phi_c$  = Tiempo promedio de retención celular con base en el volumen del tanque de aireación.

$V$  = volumen del tanque de aireación

$X$  = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM

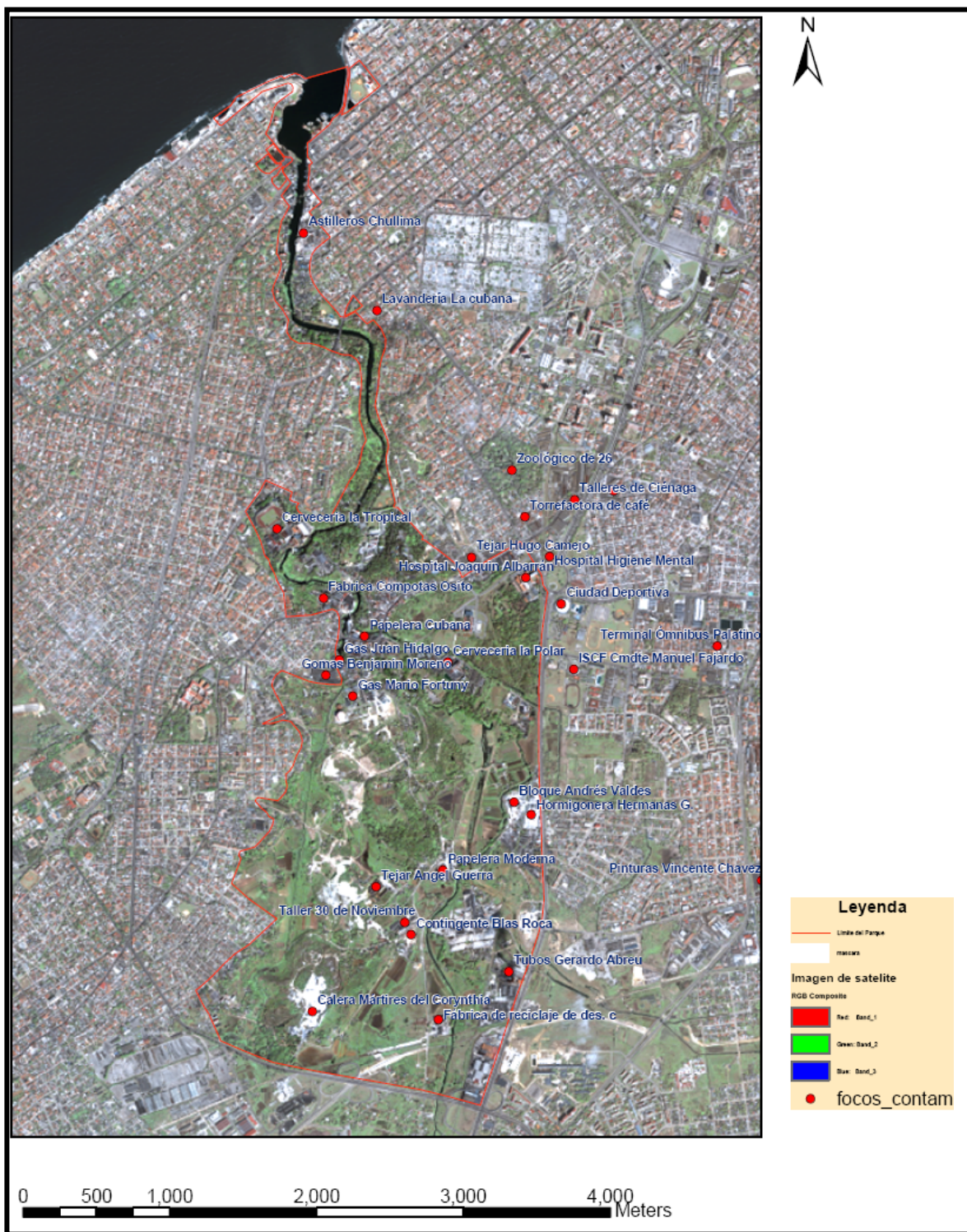
$Q_w$  = caudal del lodo dispuesto

$X_R$  = Concentración de SSV en el lodo dispuesto

$Q_e$  = Caudal afluente tratado

$X_e$  = Concentración de SSV en el efluente tratado.

## MAPA DE FOCOS CONTAMINANTES DEL GRAN PARQUE METROPOLITANO DE LA HABANA





# **FOCOS CONTAMINANTES SUPERFICIALES ASOCIADOS A LA CUENCA DEL RÍO ALMENDARES.<sup>IV</sup>**

Nº	Cuenca río Almendares	Organismo	Carga kg DBO5/ d	Disposición final
1.	Zoológico Nacional	CITMA	180	Río Almendares
2.	Cervecería La Tropical	MINAL	3900	Río Almendares
3.	Cervecería La Polar	MINAL	2019	Arroyo Mordazo - río Almendares
4.	Fábrica helados Coppelia	MINAL	175	Río Almendares
5.	Hormigonera Hermanas. Giralt	MIMC	3	Río Almendares
6.	Fábrica de tubos Gerardo Abréu	MIMC	5	Río Almendares
7.	Fábrica asbesto cemento A.Mestre	MIMC	6	Río Almendares
8.	Laboratorio Reinaldo Gutiérrez	MINSAP	10	Alc - arroyo Paila - río Almendares
9.	Establecimiento 103 Nova	MIMC	18	Alc - arroyo Paila - río Almendares
10.	Fábrica cosméticos A.Cobas	MINIL	s/datos	Alc - arroyo Paila - río Almendares
11.	Papelera Cubana	MINBAS	172	Arroyo Mordazo - río Almendares
12.	Papelera Moderna	MINBAS	756	Río Almendares (Husillo)
13.	GOLFA	MINBAS	28	Río Almendares
14.	Zoológico de 26	COMUNALES	48	Alcantarillado
15.	Matadero de aves A.Maceo	MINAGRI	144	Arroyo Marinero - río Almendares
16.	Fábrica de conservas C.Cienfuegos	MINAL	75	Arroyo Marinero - río Almendares
17.	Fábrica de compotas Ositos	MINAL	434	Río Almendares
18.	Fábrica de gomas B.Moreno	MINBAS	13	Arroyo Santoyo- río Almendares
19.	Astilleros Chullima	MIP	5	Río Almendares
20.	Fábrica de gas M.Fortuny	MINBAS	2	Arroyo Santoyo - río Almendares
21.	Calera Mártires del Corynthia	MIMC	2	Zanja - río Almendares
22.	Fábrica pinturas Vicente Chavez	MINBAS	8	Arroyo Orengo - río Almendares
23.	Terminal Párraga	MITRANS	3	Río Almendares
24.	Fáb.muebles clínicos C.Cienfuegos	SIME	8	Río Almendares
25.	Laboratorio Julio Trigo 101	MINSAP	8	Río Almendares
26.	Fábrica medias Fidel Arredondo	MINIL	s/datos	Arroyo Marinero - río Almendares
27.	Hospital Willian Soler	MINSAP	82	Arroyo Marinero - río Almendares
28.	Hospital Enrique Cabrera	MINSAP	86	Arroyo Marinero - río Almendares
29.	Fábrica granito Hnos.Ameijeiras	MIMC	3	Arroyo Marinero - río Almendares
30.	Fábrica pinturas Pedro Rodríguez	MINBAS	7	Río Almendares
31.	Laboratorio Julio Trigo 102	MINSAP	8	Río Almendares
32.	ISPJAE	MES	108	Drenaje al río Almendares
33.	Fábrica de medias Ilusión	MINIL	s/datos	Arroyo Paila - río Almendares
34.	Papelera René Bedía	MINBAS	92	Alc. Arroyo Paila - río Almendares
35.	Fábrica de pasta La Pasiega	MINAL	3	Arroyo Paila - río Almendares
36.	Hilandería Balance del Wajay	MINIL	s/datos	Alcantarill. EDAR María del Carmen
37.	Tenería La Vaquita	MINIL	660	Cola del Embalse Ejercito Rebelde
38.	Fábrica cubana de tejidos (Facute)	MINIL	12	Alcantarillado sistema Cotorro
39.	Conglomerado del Cuero Gavín	MINIL	25	Alcantarillado EDAR María del Carmen
40.	Glamour	MINIL	146	Alcantarillado EDAR María del Carmen
41.	Siderúrgica José Martí	SIME	10	Arroyo S.Francisco-río Almendares
42.	Hospital Siquiátrico de La Habana	MINSAP	100	Alcantarillado EDAR María del Carmen
43.	Hospital Julito Díaz	MINSAP	24	Alcantarillado EDAR María del Carmen
44.	EIDE Mártires de Barbados	INDER	22	Arroyo S.Francisco-río Almendares
45.	Escuela vocacional Lenin	MINED	18	Arroyo Catalina-embalse Ejerc. Rebelde
46.	Combinado de Radio y TV	SIME	18	Arroyo Catalina-embalse Ejerc. Rebelde
47.	Fábrica de pilas Yara	SIME	16	Arroyo Catalina-embalse Ejerc. Rebelde
48.	Fábrica de baldosas E. Berovides	MIMC	4	Río Almendares
49.	Autoconsumo Estado Mayor Boyeros	MINFAR	13	Zanja-río Almendares
50.	Taller N°.2 Gastronomía	MINAL	3	Cañada-río Almendares

<sup>IV</sup> Gran Parque Metropolitano de la Habana, Haciendo Camino al andar, 1997

**NORMA CUBANA**  
**Obligatoria – Experimental**



27: 1999

Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado.  
Especificaciones.

Disposal of residuary waters to soil waters  
and sewerage. Specifications.

**Las observaciones a la presente norma experimental deben ser dirigidas a la  
ONN, antes de enero del 2001.**

**Descriptores:** Aguas residuales; Alcantarilla; Especificación. 1. Edición 1999

**ICS: 13.060.30**

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La  
Habana. Teléf.: 30-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: ncnorma@ceniai.inf.cu

### Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso

Esta norma:

Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización No.3 Gestión Ambiental, integrado por especialistas de las siguientes entidades

- ◆ Dirección de Política Ambiental del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
- ◆ Oficina Nacional de Normalización
- ◆ Centro de Gestión e Inspección Ambiental
- ◆ Centro Nacional de Envases y Embalajes
- ◆ Instituto de Investigaciones en Normalización
- ◆ Oficina Nacional de Recursos Minerales
- ◆ Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
- ◆ Ministerio de Economía y Planificación
- ◆ Ministerio de la Industria Pesquera
- ◆ Ministerio de la Industria Alimenticia
- ◆ Ministerio de la Industria Sideromecánica y la Electrónica
- ◆ Ministerio del Comercio Exterior
- ◆ Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción
- ◆ Ministerio de la Agricultura
- ◆ Ministerio del Azúcar
- ◆ Unión de Empresas de Recuperación de Materia Primas
- ◆ Ministerio de la Industria Básica
- ◆ Ministerio de Salud Pública
- ◆ Ministerio del Turismo
- ◆ Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología
- ◆ INTERMAR S.A.
- ◆ Ministerio de la Construcción
- ◆ Registro Cubano de Buques
- ◆ Ministerio de Educación Superior
- ◆ Instituto de Planificación Física
- ◆ Instituto Finlay
- ◆ CIMEX S.A.
- Es experimental dada la necesidad de disponer de la experiencia necesaria en cuanto a su aplicación.
- Consta de 4 tablas y del Anexo A (informativo).

**Todos los derechos reservados, a menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:**

**Oficina Nacional de Normalización (NC).  
Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.**

### **Introducción**

La preservación de la calidad de las aguas terrestres adquiere cada vez mayor importancia por lo que implican para la sociedad las pérdidas por concepto de deterioro de aquélla, desde los puntos de vista higiénico - sanitario, económico, ambiental, social, estético y cultural.

Tan solo los riesgos que para la salud del hombre representa el consumo de aguas contaminadas, justifica se regule el vertimiento de residuales a los cuerpos receptores. Téngase en cuenta que un grupo numeroso de patologías en el hombre tienen origen hídrico. Estas pueden ir desde las enfermedades entéricas hasta las derivadas de la ingestión de elementos tóxicos contenidos en las aguas.

Por otra parte, existe una amplia gama de usos del agua, cada uno de los cuales tiene requisitos específicos que cumplir, por lo que una norma que regule el vertimiento de residuales con el objetivo de preservar la calidad de las aguas terrestres tendrá tanto, requerimientos generales como específicos.

La norma es un instrumento legal para garantizar la calidad de las aguas terrestres mediante la regulación de las descargas de residuales a éstas, lo que a su vez servirá de base para la elaboración de estrategias de saneamiento. Ella ayudará a la protección de las fuentes de abasto a la población, los cursos naturales de las aguas, las aguas subterráneas y las obras e instalaciones hidráulicas.



### **VERTIMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A LAS AGUAS TERRESTRES Y AL ALCANTARILLADO. ESPECIFICACIONES**

#### **1 1 Objeto**

Esta norma se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo.

#### **2 2 Referencias normativas**

Las siguientes normas contienen disposiciones, que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta norma. La edición indicada estaba en vigencia en el momento de su publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos sobre la base de ella; que analicen la conveniencia de usar la edición más reciente de las normas indicadas seguidamente.

- 3 NC 93-11:1986 Fuentes de abastecimiento de agua.  
Calidad y protección sanitaria.

NC 93-02:1985 Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo.

NC 93-01-103:1987 Clasificación de la utilización de las aguas interiores.

NC 93-01-105:1987 Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero.

NC 93-07:1986 Lugares de baños en costas y masas de aguas interiores.  
Requisitos higiénico sanitarios.

#### **4**

#### **5 3 Definiciones**

##### **3.1 aguas residuales**

Aguas cuya calidad original se ha degradado, en alguna medida, como consecuencia de su utilización en diferentes acciones y procesos

##### **3.2 contaminación**

Acción y efecto de añadir al agua materias o formas de energía, o inducirle condiciones que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en su relación con los usos posteriores o su función ecológica

### **3.3 cauce**

Canal natural o artificial claramente diferenciado que contiene agua en movimiento de forma continua o periódica. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, mientras no se construyan obras de encauzamiento, el cauce estará constituido por su canal natural

### **3.4 fuente**

Cuerpo de agua contenido en formaciones naturales o estructuras artificiales, desde las cuales se generen o se pueda generar el abastecimiento a los usuarios

### **3.5 cuerpo receptor**

Todo cuerpo de agua (río, arroyo, lago, embalse, acuífero) que recibe directa o indirectamente la descarga o efectos contaminantes producto del vertido de aguas residuales

### **3.6 aguas terrestres**

Aguas de los ríos, lagunas, embalses y otros depósitos de aguas superficiales, así como las aguas subterráneas

### **3.7 sistema de alcantarillado**

Conjunto de tuberías y obras destinadas a recoger los residuales líquidos y las aguas pluviales, conduciéndolas a un lugar apropiado donde se lleva a cabo el tratamiento o la disposición final al cuerpo receptor

### **3.8 red de alcantarillado**

Parte del sistema que colecta y conduce los residuales líquidos en un sistema de alcantarillado separativo

### **3.9 red pluvial**

Parte del sistema que colecta y conduce las aguas pluviales provenientes de las lluvias en un sistema de alcantarillado separativo

### **3.10 red mixta**

Cuando el sistema de alcantarillado cumple la doble función de recoger los residuales líquidos y las aguas pluviales

## **6 3.11 parámetro**

Variable que se aplica como referencia para indicar la calidad del agua

## **7 3.12 muestra instantánea**

Tipo de muestreo que se realiza sobre un efluente tomando un volumen dado de agua residual para su posterior análisis en el laboratorio. El muestreo debe llevarse a cabo en días representativos del proceso generador de la descarga

### **3.13 muestra compuesta proporcional al caudal**

Tipo de muestreo que se realiza sobre un efluente tomando un número determinado de porciones proporcionales al caudal y mezclándolas en un recipiente adecuado. El agua residual mezclada es objeto de análisis en el laboratorio posteriormente. El muestreo debe llevarse a cabo en días representativos del proceso generador de la descarga

### **3.14 promedio diario de la carga contaminante**

Masa del contaminante (kg) que se descarga por unidad de tiempo (día). Se calcula multiplicando el caudal medio en el día ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) por la concentración media diaria ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), la carga se expresa en ( $\text{kg}/\text{d}$ )

## **8 3.15 concentración promedio**

Valor medido o hallado en el laboratorio de un parámetro en la muestra compuesta expresado en ( $\text{mg}/\text{l}$ ), a excepción del (pH), temperatura y conductividad eléctrica que se reportan en sus unidades específicas

### **3.16 descarga vertido**

Acción de descargar o verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado o cuerpos receptores

### **9 3.17 gasto o caudal promedio**

Valor medio del caudal o gasto de las aguas residuales hallado a partir de diferentes mediciones durante un día representativo de la actividad que genera el residual

### **3.18 límite máximo permisible promedio**

Valor de la concentración promedio de un parámetro contaminante que no debe ser excedido por el responsable de la descarga de aguas residuales

### **3.19 límite máximo permisible instantáneo**

Valor de la concentración de un parámetro contaminante que no debe ser excedido por el responsable de la descarga de aguas residuales en un muestreo instantáneo

## **4 Uso de la red de alcantarillado: Características de las descargas**

4.1 Se prohíbe el vertimiento directo a la red de alcantarillado de los productos siguientes:

- Gasolina
- Benceno
- Naftaleno
- Fuel-oil
- Petróleo
- Aceites

Cualquier otro sustancia sólida, líquida o gaseosa de tipo inflamable o explosiva, en cantidad alguna.

De igual forma, se prohíbe el vertimiento de cualquier sólido, líquido o gas, tóxico o venenoso, ya sea puro o mezclado con otros residuos. Especial atención se tendrá con las sustancias limitadas por el Convenio de Basilea.

4.2 Se prohíbe el vertimiento de cualquier tipo de sustancias sólidas o viscosas como cenizas, arena, barro, hojas, virutas, metal, vidrio, trapos, alquitrán, plásticos, madera, basura, envases de papel u otro material, y en especial sangre, estiércol, pelo, vísceras y en general desperdicios de animales resultado de su matanza en cantidades tales, que sean capaces de causar obstrucción en la corriente de las aguas en los canales de conducción u obstaculizar los trabajos de mantenimiento y limpieza de la red.

**4.3** Son objeto de prohibición los vertidos de líquidos o vapores con temperaturas superiores a los 50° C, disolventes orgánicos y pinturas, formaldehído, etc.

**4.4** Los residuales líquidos a verter al sistema de alcantarillado deben cumplir con las concentraciones relacionadas en la tabla 1.

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) para los parámetros de los residuales líquidos

9.1 PARÁMETRO	9.2 UNIDADES	LMPP
Temperatura	°C	< 50
pH	Unidades	6-9
Sólidos Sedimentables	mL/L	<10
Grasas y Aceites	mg/L	<50
Conductividad	μS/cm	<4000
DBO <sub>5</sub>	mg/L	<300
DQO (Dicromato)	mg/L	<700
Fenoles	mg/L	<5
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<25
Aluminio	mg/L	<10,0
Arsénico	mg/L	<0,5
Cadmio	mg/L	<0,3
Cianuro	mg/L	<0,5
Cobre	mg/L	<5,0
Cromo hexavalente	mg/L	0,5
Cromo total	mg/L	2,0
Mercurio	mg/L	0,01
	mg/L	1,0
<b>10 Plomo</b>		
Zinc	mg/L	5,0
Sulfuros	mg/L	5,0

**4.5** Cuando las autoridades responsables del servicio de alcantarillado identifiquen descargas, que aún teniendo en cuenta el cumplimiento de los límites máximos permisibles promedios establecidos, acusen efectos negativos en la red, en el tratamiento de las aguas residuales o en los cuerpos receptores, se fijarán condiciones particulares de descargas que podrán señalar concentraciones más estrictas, o límites en relación con los volúmenes y cargas (diarias o horarias), así como la adición de nuevos parámetros de acuerdo a las sustancias que se generen en la descarga.

**4.6** Los responsables de las descargas de residuales informarán al responsable del servicio de alcantarillado de cualquier cambio en sus procesos cuando con ello

ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de aquellas aguas residuales que hubieran recibido permisos de vertimiento al sistema.

**4.7** A efectos de esta norma se considerará que las actividades socioeconómicas en donde solamente se generen aguas residuales domésticas podrán ser eximidas de llevar a cabo una caracterización de sus descargas al alcantarillado. Esto no implica que el responsable del servicio de alcantarillado no realice la evaluación pertinente en cada caso y emita el dictamen correspondiente.

**4.8** Los responsables de las descargas de residuales a la red de alcantarillado, tienen la obligación de realizar la caracterización de éstos mediante los análisis y mediciones correspondientes, con la finalidad de determinar si los parámetros relacionados en la tabla 1 u otros que hallan sido fijados de acuerdo al enunciado 4.5, cumplen con los Límites Máximos Permisibles Promedio regulados por la presente norma.

**4.9** El organismo rector de las aguas terrestres es el encargado de efectuar el control estatal sobre el vertimiento y constatar la veracidad de las informaciones que se generen al respecto.

**4.10** El dictamen definitivo para conceder la autorización de la descarga a la red de alcantarillado o conocer si un responsable de una descarga cumple con la presente norma, se fundamenta en el cumplimiento de los límites máximos permisibles promedio establecidos, o las condiciones específicas para la descarga exigida por el responsable del servicio de alcantarillado. La gravedad del posible incumplimiento vendrá dado por el número de parámetros que existan con concentraciones superiores a los normados y por las concentraciones excesivamente por encima de las establecidas. El responsable del servicio de alcantarillado, al hacer la evaluación de cada caso, tendrá presente como atenuante la posible dilución inmediata de los residuales en el sistema y como agravante los probables efectos negativos que cause.

**4.11** Las descargas en los terminales o cualquier otro conducto de cualquier sistema de alcantarillado, tenga tratamiento o no, se considerará como una descarga individual cuyo responsable es el propio responsable del sistema de alcantarillado. De igual forma se considerarán los efluentes de las plantas que opere el sistema. Estas descargas serán objeto de evaluación como descargas a los cuerpos receptores según se establecen en la sección 5 de la presente norma.

### 5. Descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores

**5.1** A los efectos de esta norma los cuerpos receptores se clasificarán cualitativamente según su uso de la forma siguiente:

**Clase (A):** Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos. La clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica.

**Clase (B):** Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua, así como cuerpos de agua que se explotan para el uso industrial en procesos que necesitan de requerimientos sobre la calidad del agua. La clasificación comprende los sitios donde existan requerimientos menos severos para la conservación ecológica que los comprendidos en la Clase (A)

**Clase (C):** Ríos, embalses, zonas hidrogeológicas de menor valor desde el punto de vista del uso como: aguas de navegación, riego con aguas residuales, industrias poco exigentes con respecto a la calidad de las aguas a utilizar, riego de cultivos tolerantes a la salinidad y al contenido excesivo de nutrientes y otros parámetros

**5.2** Los **parámetros básicos** que a los efectos de esta norma se han considerado son los que se especifican en la tabla 2.

#### 11 Tabla 2 Parámetros básicos par las descargas

- pH
- Conductividad eléctrica
- Temperatura
- Grasas y Aceites
- Sólidos sedimentables totales
- Materia flotante
- Oxígeno disuelto
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nitrógeno total (Kjeldahl)
- Fósforo total
- Coliformes fecales
- Compuestos tóxicos inorgánicos

- Compuestos tóxicos orgánicos

**5.3** Los parámetros seleccionados no cubren el universo de posibilidades que hoy en día se pueden presentar en descargas individuales o mixtas. En las evaluaciones para casos específicos corresponde al organismo rector de las aguas terrestres señalar, si fuera necesario, otros parámetros a considerar y sus límites máximos permisibles promedio o cargas contaminantes permisibles, siempre de acuerdo con la clasificación de los cuerpos receptores, su estado sanitario actual y las prioridades para su conservación.

**5.4** El límite máximo permisible promedio para las concentraciones en las descargas de aguas residuales, atendiendo a la clasificación cualitativa de los cuerpos receptores, se brinda en la tabla 3.



## Anexo D

**Tabla 3.**

**Límites**

		Ríos y Embalses			Acuífero vertimiento en suelo y zona no saturada de 5 m			Acuífero vertimiento directo a la zona saturada		
Parámetros	UM	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
pH	Unidades	6,5-8,5	6-9	6-9	6-9	6-9	6-10	6-9	6-9	6-10
Conductividad eléctrica	μ S/cm	1 400	2 000	3 500	1 500	2 000	4 000	1 500	2 000	4 000
Temperatura	°C	40	40	50	40	40	50	40	40	50
Grasas y aceites	mg/L	10	10	30	5	10	30	Ausente	10	20
Materia flotante	-	Ausente	Ausente	-	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	mL/L	1	2	5	1,0	3,0	5,0	0.5	1,0	5,0
DBO <sub>5</sub>	mg/L	30	40	60	40	60	100	30	50	100
DQO (Dicromato)	mg/L	70	90	120	90	160	250	70	140	250
Nitrógeno total (Kjd)	mg/L	5	10	20	5	10	15	5	10	15
Fósforo total	mg/L	2	4	10	5	5	10	5	5	10

**Máximos Permisibles Promedio para las Descargas de Aguas Residuales según la Clasificación del Cuerpo Receptor**

**5.5** Las descargas de aguas residuales no podrán producir una disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos receptores superficiales de categorías A, B y C, a valores menores de 4, 3 y 2 mg/L, respectivamente.

**5.6** Las descargas de aguas residuales no podrán producir un aumento de la media geométrica del Número Más Probable de Coliformes Totales y Fecales en 100 mL (NMP/100mL) que supere los valores dados en la tabla 4.

11.1 TABLA 4 INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL MÁXIMA ADMISIBLE EN LOS CUERPOS RECEPTORES SEGÚN SU CLASIFICACIÓN CUALITATIVA.

Categoría del cuerpo receptor	NMP/100 mL Coliformes totales	NMP/100 mL Coliformes fecales	Relación CT/CF %
A (superficial)	1 000	200	20 %
A (subterráneo)	100	20	20 %
B (superficial)	5 000	1 000	20 %
B (subterráneo)	250	50	20 %
C (superficial)	(1)	(1)	(1)
C (subterráneo)	(1)	(1)	(1)

(1) El límite lo fijará el organismo rector de las aguas terrestres atendiendo al uso, necesidad de conservación y posible riesgo para la salud.

**5.7** Ningún vertimiento de aguas residuales efectuado en cuerpos receptores de categorías A y B podrá elevar los tenores de compuestos inorgánicos tóxicos y orgánicos tóxicos a valores superiores a los establecidos en las NC 93-11 y la NC 93-02 como concentraciones máximas admisibles. Las industrias que generen estos tipos de residuales peligrosos serán objeto, de acuerdo con la magnitud de sus descargas, de una evaluación individual específica.

**5.8** El organismo rector de las aguas terrestres es el encargado de efectuar el control estatal sobre el vertimiento y constatar la veracidad de las informaciones que se generen al respecto.

**5.9** En todos los casos de evaluación de descargas de aguas residuales el organismo rector de las aguas terrestres tendrá en cuenta el caudal diario de la descarga y las cargas contaminantes que generen cada uno de los parámetros estipulados en la presente norma o de aquellos que se definan al respecto. Las cargas calculadas podrán considerarse como atenuante o agravantes en el dictamen final de las condiciones en que se apruebe el vertimiento.

**5.10** Los límites máximos permisibles promedios para los parámetros seleccionados que se relacionan en la tabla 3 corresponden a muestreos compuestos proporcionales al caudal de descargas efectuados en días representativos de la generación de las aguas residuales.

**5.11** Los responsables de las descargas deberán informar al organismo rector de las aguas terrestres de cualquier cambio en sus acciones o procesos, cuando con ello ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de aquellas aguas residuales que hubieran recibido permisos de vertimiento a un cuerpo receptor.

**5.12** El dictamen definitivo para conceder un permiso de descarga de aguas residuales a los cuerpos de agua receptores o conocer si un responsable de una descarga cumple con la presente norma se fundamenta en el cumplimiento de los límites máximos permisibles promedio establecidos o de las condiciones específicas para la descarga exigida por el organismo rector de las aguas terrestres. La gravedad del posible incumplimiento vendrá dado por el número de parámetros que existan con concentraciones superiores a los normados y por las concentraciones excesivamente por encima de las establecida. El organismo rector de las aguas terrestres, al hacer la evaluación de cada caso, tendrá presente como atenuante la posible dilución inmediata de los residuales en los cuerpos receptores y como agravante los probables efectos negativos que cause la descarga.

**5.13** Los responsables de las descargas de residuales a los cuerpos receptores, tienen la obligación de realizar la caracterización de éstos mediante los análisis y mediciones correspondientes, con la finalidad de determinar si los parámetros relacionados en las tablas 3 y 4 u otros que hallan sido fijados de acuerdo al enunciado 5.3, cumplen con los Límites Máximos Permisibles Promedio regulados por la presente norma y con las restricciones impuestas en los enunciados 5.5, 5.6 y 5.7.

**5.14** En los casos en que se compruebe que las descargas afecten directa o indirectamente a actividades acuícolas se aplicará la NC 93-01-105.

### **6 Vertimientos de industrias que generan altas cargas contaminantes**

Existen actividades y procesos industriales que generan altas cargas contaminantes entre las que se destacan las que aportan: sales inorgánicas, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, hidrocarburos en general, sustancias inorgánicas y orgánicas tóxicas al medio acuático, materia orgánica, materia orgánica biodegradable y nutrientes entre otras.

Los efectos que estas cargas contaminantes producen a los cuerpos receptores son muy variados; se pueden mencionar los siguientes entre los más representativos: disminución del oxígeno disuelto y aumento de la materia orgánica presente en el cuerpo receptor, aumento del color y olor, sedimentación en cauces y embalses, muerte de la flora y la fauna, eutroficación y pérdida total de los valores estéticos. Todo ello afecta los usos previstos causando la contaminación de los recursos hídricos.

Los vertimientos de aguas residuales producidos por grandes industrias se llevan a cabo generalmente sobre los cuerpos receptores directamente, con el agravante de un escaso tratamiento de las aguas residuales.

Dentro de las industrias de mayores aportes de cargas contaminantes a los cuerpos receptores se destacan las siguientes:

- Industria azucarera y sus derivados
- Industria alimenticia
- Industria papelera
- Industria textil
- Industria minera
- Industria metalúrgica
- Industria del petróleo y sus derivados

Por la importancia que para la protección de la calidad de las aguas tienen estas industrias esta sección tratará específicamente sobre los aspectos a considerar en estos casos.

6.1 Las condiciones específicas de las descargas de aguas residuales de estas industrias se fijarán por el organismo rector de las aguas terrestres atendiendo a las condicionales siguientes.

- Localización del vertimiento.
- Cuerpo receptor afectado
- Identificación de los posibles sustancias contaminantes y su efecto probable en el cuerpo receptor.
- Usos que se pueden ver comprometidos.

- Nivel del tratamiento de las aguas residuales.
- Carga contaminante generada por cada parámetro considerado como imprescindible (caracterización inicial).
- Posibilidades reales de aumentar la eficiencia del tratamiento o su grado, estimando las reducciones en la carga contaminante que se producirían con la posible reutilización de las aguas residuales.

**6.2** El organismo rector de las aguas terrestres dictaminará en cada caso, sobre las condiciones específicas del vertimiento fijando los límites máximos permisibles promedios para cada parámetro seleccionado. También fijará un límite de tiempo de vigencia de la autorización.

**6.3** El organismo rector de las aguas terrestres incluirá en su dictamen la obligación por parte de la industria de disponer de la caracterización de sus residuales y de poseer un plan de control sistemático de la composición del vertimiento autorizado, con la finalidad de determinar si los parámetros relacionados en las tablas 3 y 4 u otros que hallan sido fijados de acuerdo al enunciado 5.3, cumplen con los Límites Máximos Permisibles Promedio regulados por la presente norma y con las restricciones impuestas en los enunciados 5.5, 5.6 y 5.7.

**6.4** El organismo rector de las aguas terrestres es el encargado de efectuar el control estatal sobre estos tipos de vertimientos y comprobar la veracidad de las informaciones que se generen al respecto por el responsable de la industria.

## **7 Procedimientos y organización**

**7.1** El organismo rector de las aguas terrestres es el encargado del Registro de Descarga de las Aguas Residuales en todo el territorio nacional, así como de la elaboración de los documentos e instrucciones metodológicas necesarias, que permitan otorgar, o no, los permisos estatales de descarga de aguas residuales. De igual forma, deberá elaborar los procedimientos para la autorización de la disposición final de residuales líquidos en los cuerpos receptores de las aguas terrestres.

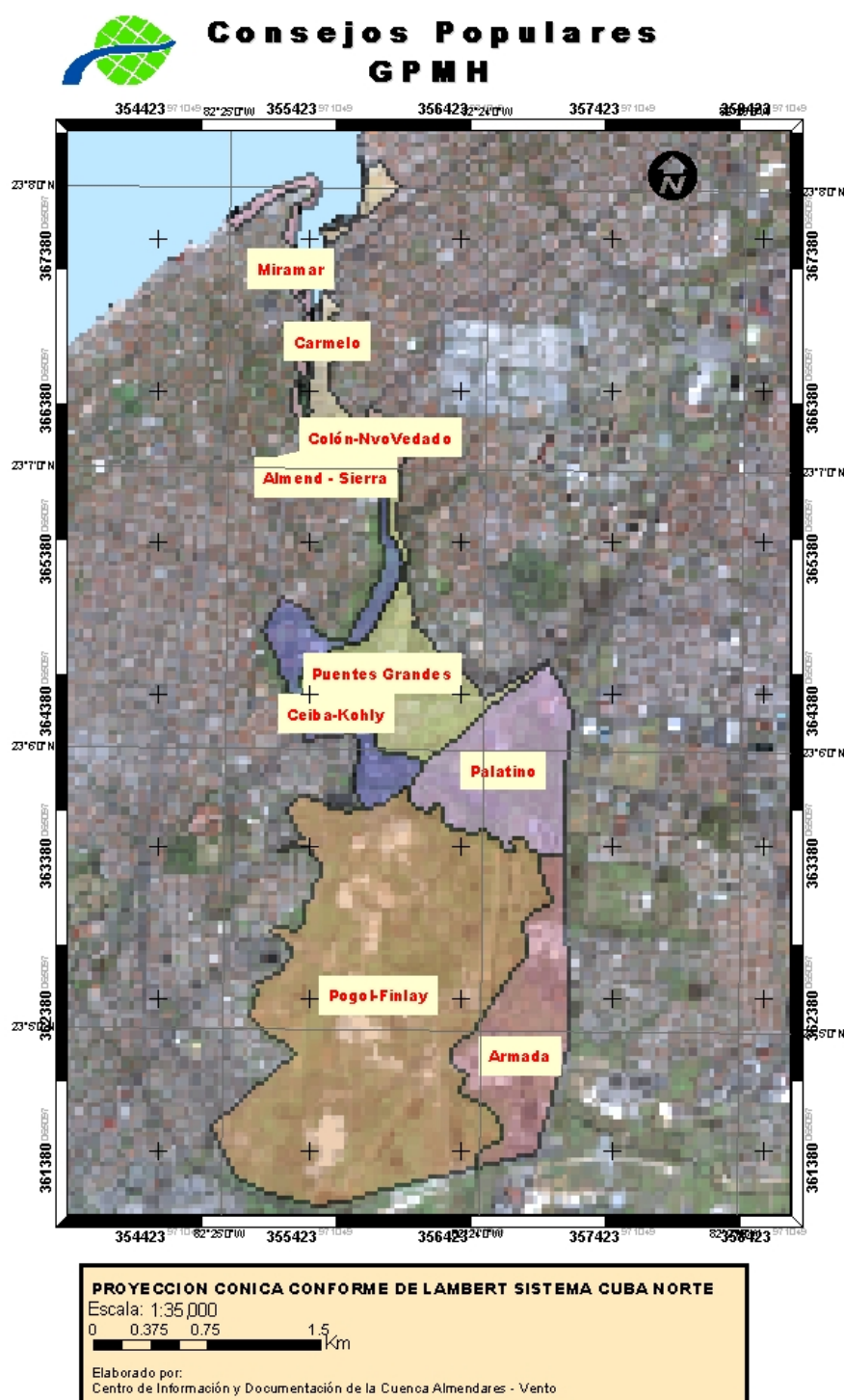
**7.2** El organismo rector de las aguas terrestres deberá indicar a los generadores de aguas residuales los métodos de análisis de laboratorios y los procedimientos para las mediciones que deberán utilizar para aplicar esta norma y solicitar el permiso de descarga, así como verificar que aquellos laboratorios que reporten los resultados se encuentren oficialmente capacitados o acreditados para llevar a cabo las caracterizaciones de aguas residuales que exija el cumplimiento de esta normativa.

**7.3** La Norma sobre el vertimiento de aguas residuales es el elemento clave para la aplicación por los organismos correspondientes, de multas, impuestos por contaminación de los cuerpos receptores y utilización o aprovechamiento de bienes del dominio público de la nación, como lo son las aguas terrestres, así como de los servicios comunales de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

**7.4** En los casos de nuevas inversiones, modificación de las condiciones existentes y reactivación de actividades socioeconómicas, que hayan sido objeto de paralización prolongada, se requerirá de la Licencia Ambiental otorgada por la autoridad competente, la cual tendrán en cuenta el cumplimiento de esta normativa en cuanto a lo que se refiere a los vertimientos de aguas residuales y su autorización.

**7.5** En todo estudio de impacto ambiental que se confeccione en el país, los aspectos relativos a las aguas residuales se evaluarán de acuerdo con lo regulado en la presente norma.

## PRINCIPALES FUENTES CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL DEL RÍO ALMENDARES.



**DISTRIBUCIÓN CARACTERIZACIÓN 30 de Enero de 2007**

**Sistema Cubeco (Muestras Puntuales)**

HORA	1	2	3	4	I	II	III	IV
11:00 AM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO	DBO	DBO				
	Bact	Bact	Bact	Bact				
1:00 PM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DBO	DBO						
	DQO	DQO	DQO	DQO				
3:00 PM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO						
	Bact	Bact	Bact	Bact				
5:00 PM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO						
7:00 PM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO						



8:30 PM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO						
	Bact	Bact						
12:00 AM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO						
	Bact	Bact						
3:00 AM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO						
6:00 AM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO	DBO	DBO				
	Bact	Bact	Bact	Bact				

<b>Mustras Integrales</b>	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	SSV	SSV	SSV
	DQO	DQO	DQO	DQO	DQO			
	DBO	DBO	DBO	DBO	DBO			
			SSV	SSV	SSV			

Nota: Los sombreado son análisis realizados por el CIPRO

\* : Son Pruebas realizadas in situ.

Conduc: Conductividad, SSV: Sólidos suspendidos volátiles, T: Temperatura, OD: Oxígeno Disuelto, Bact: Bacteriología

### Sistema Cubeco (Muestras Puntuales)

	3	4		1	
--	---	---	--	---	--

[illegible]

	DQO	DQO	DQO	DQO	DQO			
	DBO	DBO						
	Bact	Bact						
12:00 AM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DBO	DBO						
	DQO	DQO	DQO	DQO				
3:00 AM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DBO	DBO						
	DQO	DQO	DQO	DQO				
6:00 AM	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire	* T° aire
	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua	* T° agua
	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc	* Conduc
	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD	* OD
	pH	pH	pH	pH	pH			
	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos			
	DQO	DQO	DQO	DQO				
	DBO	DBO	DBO	DBO				
	Bact	Bact						

<b><u>Muestras Integrales</u></b>	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	Sólidos	SSV	SSV	SSV
	DQO	DQO	DQO	DQO	DQO			
	DBO	DBO	DBO	DBO	DBO			
			SSV	SSV	SSV			

Nota: Los sombreado son análisis realizados por el CIPRO

\*: Son Pruebas realizadas in situ.

Conduc: Conductividad, SS Volátiles: Sólidos suspendidos volátiles, T: Temperatura, OD: Oxígeno Disuelto, Bact: Bacteriología

## RESPIRACIÓN MICROBIANA

En los ensayos de laboratorio se realizó el análisis de respiración Microbiana para determinar la velocidad de respiración o actividad microbiana de la siguiente manera:

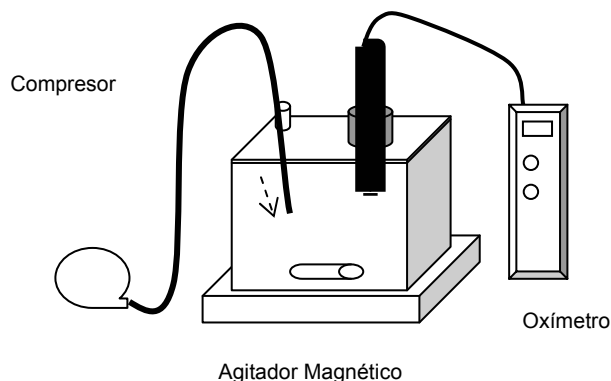
- En un recipiente de acrílico de 10 cm. por 10 cm., colocado en un agitador magnético y con el electrodo de un oxímetro, como se muestra en la siguiente Figura, se coloca el agua residual previamente homogenizada y es tapado herméticamente. Se le introduce aire por medio de un compresor hasta que el oxímetro indique la concentración de Oxígeno máximo.( Oxígeno de saturación)
- Se detiene la aireación y se mide la variación de la concentración de oxígeno en el tiempo hasta disminuir completamente las concentraciones de oxígeno
- Al agua residual se le realizan análisis de Sólidos.

Los resultados obtenidos son graficados determinando la pendiente y deduciendo de la siguiente manera:

***“rx (velocidad de respiración): Pendiente/ Resultados de SSV.  $[Kg. * Kg.^{-1} * d^{-1}]$ .”***<sup>5</sup>

Este análisis solo fue realizado una vez, como tentativa para verificar la actividad microbiana, solo en el tanque 3 de la fila 1. En este tanque había una mayor cantidad de sólidos que en los demás tanques

**Figura I:** Prueba de respirometría..



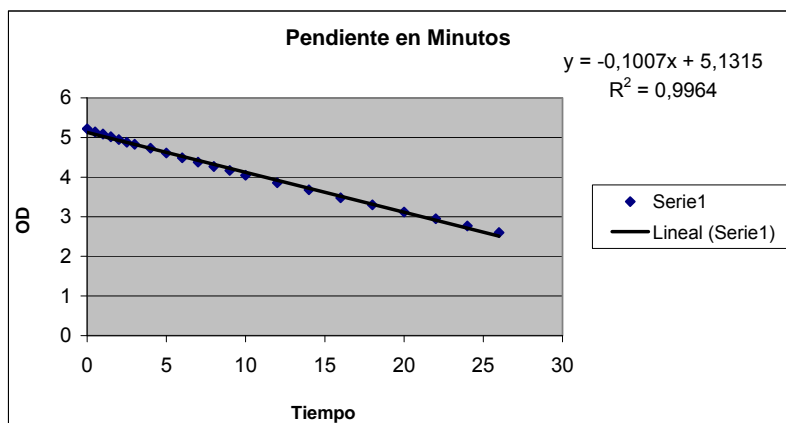
Fuente: Autor

<sup>5</sup> MENÉNDEZ. Cuba Libro Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales ISBN:959-261-113-0 Segunda edición. 2003. Editorial CUJAE Centro de Investigación de Procesos Instituto Superior Politécnico José Antonio Echavarría La Habana, Cuba

# Velocidad de respiracion

Muestra 1. Tanque 3 fila 1

Oxigeno	T minutos
5,22	0
5,14	0,5
5,09	1
5,02	1,5
4,95	2
4,88	2,5
4,83	3
4,73	4
4,61	5
4,49	6
4,38	7
4,27	8
4,17	9
4,05	10
3,86	12
3,68	14
3,48	16
3,3	18
3,12	20
2,95	22
2,77	24
2,6	26



ST	3865	
STS	3227	
STV	3253	
SSV	2953	mg L-1

Y (Pendiente)	0,0017	mg L-1s-1
---------------	--------	-----------

rx= y/ssv	0,0000	kg kg-1s-1
	0,0021	kg kg-1h-1
	0,0497	kg kg-1d-1

**RESULTADOS LABORATORIO 25 DE ENERO DE 2007**

**Sistema Natural Palatino**

<b>Muestra Integral.</b>		<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>ST</b>	<b>STF</b>	<b>STV</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>
		(U)	(μS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	Entrada al sistema	7,5	1115	553	322	84	181	104
	Salida del sistema	7,5	1049	414	146	61	55	48,5

<b>Muestras Puntuales.</b>		<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>T°</b>	<b>Ssed</b>	<b>ST</b>	<b>OD</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>Ct</b>	<b>Cf</b>
		(U)	(μS/cm)	°C	ml/L	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	nmp/mLH <sub>2</sub> O	nmp/mLH <sub>2</sub> O
10:00 AM	Entrada sistema	7,4	1095	25,9	0,9	578	1,26	143	74,0	2,4 x 10 <sup>6</sup>	4 x 10 <sup>5</sup>
	Salida sistema	7,6	1111	23,2	0,1	374	1,79	85	42,0	2,8 x 10 <sup>6</sup>	1,5 x 10 <sup>5</sup>
11:00 AM	Entrada sistema	7,1	1098	25,9	0,9	566	1,64	104	53,9	1,6 x 10 <sup>6</sup>	< 2 x 10 <sup>5</sup>
	Salida sistema	7,3	1110	23,3	0,1	498	0,31	9	3,9	1,4 x 10 <sup>6</sup>	< 2 x 10 <sup>5</sup>
12:00 PM	Entrada sistema	7,7	1042	26,3	2,1	566	2,1	149	73,4	3,4 x 10 <sup>5</sup>	3,4 x 10 <sup>5</sup>
	Salida sistema	7,1	1097	23,8	0,1	526	0,4	35	24,0	2,4 x 10 <sup>6</sup>	5 x 10 <sup>5</sup>
1:00 PM	Entrada sistema	8	1004	26,3	1,3	584	2,48	149	73,4	1,3 x 10 <sup>6</sup>	1,3 x 10 <sup>5</sup>
	Salida sistema	7,3	1084	25,2	0,1	530	0,66	5	2,2	1,3 x 10 <sup>6</sup>	1,1 x 10 <sup>5</sup>
2:00 PM	Entrada sistema	7,6	1034	25,3	0,3	526	2,38	194	104,0	5 x 10 <sup>5</sup>	1,1 x 10 <sup>5</sup>
	Salida sistema	7,6	1085	26	0,1	502	0,48	157	70,0	5 x 10 <sup>5</sup>	9 x 10 <sup>4</sup>
3:00 PM	Entrada sistema	7,1	976	26,8	0,9	532	2,66	94	49,6	1,7 x 10 <sup>5</sup>	1,2 x 10 <sup>4</sup>
	Salida sistema	7,4	1080	25,9	0,1	500	0,38	14	6,1	2,3 x 10 <sup>5</sup>	8 x 10 <sup>4</sup>
4:00 PM	Entrada sistema	7,6	1006	26,7	0,9	532	1,92	211	100,3		
	Salida sistema	7,7	1078	25,3	0,1	520	1,29	10	4,3		
5:00 PM	Entrada sistema	7,4	1059	26,3	0,6	530	2,98	142	70,4		
	Salida sistema	7,6	1079	24,8	0,1	524	7,79	7	3,0		
6:00 PM	Entrada sistema	7,5	1070	26,7	0,6	532	2,24	163	82,0		
	Salida sistema	7,5	1075	24,4	0,1	512	1,82	149	71,0		

## Anexo H

7:00 PM	Entrada sistema	7,7	1056	25,2	2	722	1,81	322	148,4		
	Salida sistema	7,9	1079	24,1	0,1	538	1,73	3	1,3		
8:00 PM	Entrada sistema	7,6	1002	24,7	3,9	576	1,94	187	89,9		
	Salida sistema	7,3	1085	23,5	0,1	160	0,98	99	51,7		
9:00 PM	Entrada sistema	7,3	1033	24,9	1	548	1,59	139	69,1		
	Salida sistema	7,7	1009	23,3	0,1	202	0,68	5	2,2		
10:00 PM	Entrada sistema	7,4	1032	24,8	1	406	1,69	361	162,0		
	Salida sistema	7,6	1081	23,6	0,1	6	1,18	145	71,0		

CE: Conductividad eléctrica, Tº: Temperatura del Agua, Ssed: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos Totales. STF: Sólidos Totales Fijos, Ct: Coliformes Totales, Cf: Coliformes Fecales.

**RESULTADOS LABORATORIO 30 DE ENERO DE 2007**

**Sistema Cubeco**

<b>Muestras Integrales.</b>			<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>ST</b>	<b>STF</b>	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>
			(U)	(μS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	1	Entrada al sistema	7,64	945	678	450	148	328
	2	Salida del sistema	7,68	1035	196	108	40	97
	3	Salida sedim F1	7,42	1085	404	202	32	72
	4	Salida sedim F2	7,64	998	398	198	82	154
	1	Salida Tanque Igualación	7,75	895	396	192	82	192

<b>Muestras Puntuales.</b>			<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>T°</b>	<b>Ssed</b>	<b>ST</b>	<b>OD</b>	<b>DQO</b>	<b>DBO</b>	<b>Ct</b>	<b>Cf</b>
			(U)	(μS/cm)	°C	ml/L	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	nmp/mLH2O	nmp/mLH2O
11:00 AM	1	Entrada sistema	6,83	1575	23,7	5,2	1400	1,87	971	510	$1,6 \times 10^3$	$> 1,6 \times 10^8$
	2	Salida sistema	7,54	1018	23,4	2,1	422	4,33	69	34	$7 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$
	3	Salida sedim F1	7,52	1017	22,9	0,8	470	2,49	55	24		
	4	Salida sedim F2	7,65	977	21,9	0,7	240	2,66	63	36		
1:00 PM	1	Entrada sistema	6,93	1036	24,1	5,8	622	2,79	394	198		
	2	Salida sistema	7,43	1027	23,1	0,4	402	4,4	189	92		
	3	Salida sedim F1	7,47	1043	23,6	0,5	506	4,5	60			
	4	Salida sedim F2	7,59	992	22,4	0,3	494	3,54	134			
3:00 PM	1	Entrada sistema	7,3	930	23,6	0,2	776	1,78	281	140	$> 1,6 \times 10^8$	$> 1,6 \times 10^8$
	2	Salida sistema	7,05	1027	23,6	0,2	490	4,38	88	40	$6 \times 10^5$	$6 \times 10^5$
	3	Salida sedim F1	7,43	1045	23,6	0,9	500	2,69	90			
	4	Salida sedim F2	7,61	985	22,5	0,7	254	3,13	84			
5:00 PM	1	Entrada sistema	7,3	929	23,6	3,1	584	2,48	185	90		
	2	Salida sistema	7,47	1058	23,3	0,1	196	0,27	74	33		
	3	Salida sedim F1	7,41	1060	23,4	0,8	462	0,74	30			



	4	Salida sedim F2	7,62	981	22,5	0,9	488	2,44	14			
7:00 PM	1	Entrada sistema	7,6	864	23,7	1,2	528	3,98	321	160		
	2	Salida sistema	7,57	1081	22,6	0,1	484	3,28	92	43		
	3	Salida sedim F1	7,35	1108	23,3	0,5	354	2,28	96			
	4	Salida sedim F2	7,54	998	22,4	0,7	170	2,48	72			
8:30 PM	1	Entrada sistema	7,54	856	24	2,5	630	3,42	122	59	$> 1,6 \times 10^8$	$> 1,6 \times 10^8$
	2	Salida sistema	7,49	1074	23,1	0,1	566	3,38	61	27	$5 \times 10^5$	$2,2 \times 10^7$
	3	Salida sedim F1	7,6	1128	23,1	1,2	320	0,61	58			
	4	Salida sedim F2	7,42	984	22,2	0,9	222	2,74	80			
12:00 AM	1	Entrada sistema	7,58	842	23,2	0,2	488	1,03	394	198	$1,6 \times 10^8$	$1,2 \times 10^7$
	2	Salida sistema	7,37	1003	22	0,1	394	2,82	145	70	$1,6 \times 10^8$	$< 2 \times 10^5$
	3	Salida sedim F1	7,53	1124	20,5	1	446	0,54	124			
	4	Salida sedim F2	7,6	1005	18	1,1	146	2,37	46			
3:00 AM	1	Entrada sistema	7,44	750	22,5	0,3	428	4,2	398	200		
	2	Salida sistema	7,5	997	22,2	0,2	214	2,9	145	70		
	3	Salida sedim F1	7,53	1118	20,3	1,2	220	0,65	104			
	4	Salida sedim F2	7,57	1020	17,9	1,3	322	2,42	72			
6:00 AM	1	Entrada sistema	7,58	825	23	0,2	586	3,76	168	75		
	2	Salida sistema	7,68	1030	22,8	0,1	186	4,05	109	54		
	3	Salida sedim F1	7,65	1103	21,1	1,3	264	0,7	179	72		
	4	Salida sedim F2	7,65	995	19,4	1,3	264	2,28	179	72		

CE: Conductividad eléctrica, Tº: Temperatura del Agua, Ssed: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos Totales. STF: Sólidos Totales Fijos, Ct: Coliformes Totales, Cf: Coliformes Fecales, sedim: Sedimentador

# RESULTADOS LABORATORIO 1 DE FEBRERO DE 2007

## Sistema Cubeco

Muestras Integrales.			pH	CE	ST	STF	DBO	DQO
			(U)	(mS/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
	1	Entrada al sistema	7,36	864	628	428	106	224
	2	Salida del sistema	7,56	962	404	204	44	100
	3	Salida sedim F1	7,54	1049	542	400	44	79
	4	Salida sedim F2	7,6	989	408	202	34	67
	5	Salida Tanque Igualacion	7,57	896	396	192	82	192

Muestras Puntuales.			pH	CE	Tº	Ssed	ST	OD	DQO	DBO	Ct	Cf
			(U)	(mS/cm)	°C	(ml/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	nmp/mLH2O	nmp/mLH2O
12:00 PM	1	Entrada sistema	7,43	972	25,6	3,4	404	3,98	681	316	1,7 x 10 <sup>6</sup>	< 2 x 10 <sup>5</sup>
	2	Salida sistema	7,53	1018	24,6	1,5	400	3,47	67	32	4 x 10 <sup>5</sup>	< 2 x 10 <sup>5</sup>
	3	Salida sedim F1	7,46	1022	24,5	2,7	402	2,69	70	33		
	4	Salida sedim F 2	7,51	1019	23,7	2,3	398	4,14	57	28		
2:00 PM	1	Entrada sistema	7,54	897	25	4,7	588	1,96	101	47		
	2	Salida sistema	7,35	1022	24,3	1,5	402	3,44	51	21		
	3	Salida sedim F1	7,45	1023	23,8	3,1	406	3,45	78			
	4	Salida sedim F 2	7,3	1017	24,8	2,7	404	1,98	51			
4:00 PM	1	Entrada sistema	7,4	1027	24,5	4,1	402	3,47	351	176		
	2	Salida sistema	7,42	1023	24	2	330	2,76	50	21		
	3	Salida sedim F1	7,38	1019	24,2	1,1	394	3,15	2			
	4	Salida sedim F 2	7,25	1020	23,9	1,2	398	2,78	75			
6:00 PM	1	Entrada sistema	7,36	865	25	3,8	590	2,33	128	61		
	2	Salida sistema	7,29	868	24,5	1,9	402	1,68	71	32		
	3	Salida sedim F1	7,54	1028	23,9	2,4	596	3,35	80			

	4	Salida sedim F 2	7,5	1018	24,8	3	574	0,54	93			
8:00 PM	1	Entrada sistema	7,26	850	24,7	3,5	610	2,57	281	161	$3,4 \times 10^6$	$< 2 \times 10^5$
	2	Salida sistema	7,52	1018	24,2	1,1	224	2,88	129	56	$3 \times 10^5$	$< 2 \times 10^4$
	3	Salida sedim F1	7,53	1032	23,7	2,1	402	2,62	63			
	4	Salida sedim F 2	7,36	1016	24,2	1,2	594	0,64	42			
10:00 PM	1	Entrada sistema	7,28	831	24,6	2,8	528	3	202	99	$1,7 \times 10^6$	$< 2 \times 10^5$
	2	Salida sistema	7,56	1015	24,6	1,1	404	0,59	68	30	$8 \times 10^5$	$< 2 \times 10^4$
	3	Salida sedim F1	7,51	1014	24,7	1,5	402	3,72	86			
	4	Salida sedim F 2	7,5	1029	24	1	432	3,19	67			
12:00 AM	1	Entrada sistema	7,29	840	24,3	6,3	600	3,97	529	267		
	2	Salida sistema	7,38	1008	24,5	1,8	532	1,72	58	25		
	3	Salida sedim F1	7,52	1025	24,2	2,4	400	2,12	84			
	4	Salida sedim F 2	7,15	1003	24,7	3	598	2,69	92			
3:00 AM	1	Entrada sistema	7,48	751	24,3	2,7	398	4,28	527	266		
	2	Salida sistema	7,54	997	24,3	2,2	404	2,85	78	35		
	3	Salida sedim F1	7,49	1021	23,8	1,5	402	3,34	128			
	4	Salida sedim F 2	7,58	990	24,8	1,4	404	0,82	87			
6:00 AM	1	Entrada sistema	7,41	824	24,6	3,7	402	3,76	111	47	$1,6 \times 10^7$	$< 2 \times 10^4$
	2	Salida sistema	7,59	1021	24,4	1,1	200	4,2	90	41	$3,3 \times 10^6$	$2 \times 10^4$
	3	Salida sedim F1	7,45	983	24,6	1,6	344	0,61	86	51		
	4	Salida sedim F 2	7,69	822	24,3	1,8	402	3,82	78	37		

CE: Conductividad eléctrica, Tº: Temperatura del Agua, Ssed: Sólidos sedimentables, ST: Sólidos Totales. STF: Sólidos Totales Fijos, Ct: Coliformes Totales, Cf: Coliformes Fecales, sedim: Sedimentador

### *Análisis estadístico*

#### **STAT GRAPHICS VERSION 5.1 Y SPSS VERSIÓN 11**

##### **A. PLANTA DE TRATAMIENTO: PALATINO**

###### **1. Conductividad Eléctrica (Ce)**

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 3500  $\mu$  S/cm, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 1081,0

Sample standard deviation = 24,6238

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 1081,0 +/- 14,88 [1066,12 ; 1095,88]

Null Hypothesis: mean = 3500,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = -354,203

P-Value = 1,0

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

###### **2. PH**

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 9 unidades, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 7,49

Sample standard deviation = 0,217524

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 7,49 +/- 0,131449 [7,35855,7,62145]

Null Hypothesis: mean = 9,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = -25,0289

P-Value = 1,0

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

###### **3. Temperatura (T)**

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 50 °C, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 24,3385

Sample standard deviation = 1,00543

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 24,3385 +/- 0,607577 [23,7309,24,9461]

Null Hypothesis: mean = 50,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = -92,0242

P-Value = 1,0

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### 4. Sólidos Sedimentales Totales (Ssed)

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 5 mL/L, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 0,1

Sample standard deviation = 1,E-8

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 0,1 +/- 6,04295E-9 [0,1,0,1]

Null Hypothesis: mean = 5,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = -1,76672E9

P-Value = 1,0

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### 5. Oxígeno Disuelto (OD)

Según el parámetro de referencia este factor no puede ser inferior a 2 mg/L, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 1,49923

Sample standard deviation = 1,96891

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 1,49923 +/- 1,1898 [0,309427,2,68903]

Null Hypothesis: mean = 2,0

Alternative: less than

Computed t statistic = -0,917031

P-Value = 0,188594

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### 6. DBO

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder de 20 mg/L; por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 27,1174

Sample standard deviation = 29,6173

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 27,1174 +/- 17,8976 [9,2198,45,015]

Null Hypothesis: mean = 20,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = 0,866458

P-Value = 0,201616

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### 7. DQO

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder de 20 mg/L; por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 55,6154

Sample standard deviation = 62,1832

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 55,6154 +/- 37,577 [18,0384,93,1924]

Null Hypothesis: mean = 20,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = 2,06508

P-Value = 0,0306094

Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### 8. Eficiencia de DQO

Según el parámetro de referencia este factor no puede ser inferior al 80%, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 0,7

Sample standard deviation = 0,32

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 0,7 +/- 0,193374 [0,506626,0,893374]

Null Hypothesis: mean = 0,8

Alternative: less than

Computed t statistic = -1,12673

P-Value = 0,140941

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### 9. Eficiencia de DBO

Según el parámetro de referencia este factor no puede ser inferior al 80%, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 0,71

Sample standard deviation = 0,3

Sample size = 13

95,0% confidence interval for mean: 0,71 +/- 0,181289 [0,528711,0,891289]

Null Hypothesis: mean = 0,8

Alternative: less than

Computed t statistic = -1,08167

P-Value = 0,15033

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### **B. PLANTA DE TRATAMIENTO: CUBECO**

#### **1. Conductividad Eléctrica (Ce)**

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 3500  $\mu$  S/cm, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 1016,94

Sample standard deviation = 43,9

Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 1016,94 +/- 21,831 [995,109,1038,77]

Null Hypothesis: mean = 3500,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = -239,971

P-Value = 1,0

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### **2. PH**

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 9 unidades, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 7,46

Sample standard deviation = 0,14

Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 7,46 +/- 0,0696205 [7,39038,7,52962]

Null Hypothesis: mean = 9,0

Alternative: greater than

Computed t statistic = -46,669

P-Value = 1,0

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### **3. Temperatura (T)**

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 50 °C, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 23,64  
Sample standard deviation = 0,86  
Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 23,64 +/- 0,427669 [23,2123,24,0677]  
Null Hypothesis: mean = 50,0  
Alternative: greater than  
Computed t statistic = -130,042  
P-Value = 1,0  
Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### 4. Sólidos Sedimentables Totales (Ssed)

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder 5 mL/L, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 0,98  
Sample standard deviation = 0,82  
Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 0,98 +/- 0,407777 [0,572223,1,38778]  
Null Hypothesis: mean = 5,0  
Alternative: greater than  
Computed t statistic = -20,7993  
P-Value = 1,0  
Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### 5. Oxígeno Disuelto (OD)

Según el parámetro de referencia este factor no puede ser inferior a 2 mg/L, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 2,97  
Sample standard deviation = 1,23  
Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 2,97 +/- 0,611666 [2,35833,3,58167]  
Null Hypothesis: mean = 2,0  
Alternative: less than  
Computed t statistic = 3,34582  
P-Value = 0,998084  
Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

#### 6. DBO

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder de 20 mg/L; por tanto esta será la hipótesis de estudio.



Sample mean = 42,0  
Sample standard deviation = 19,32  
Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 42,0 +/- 9,60763 [32,3924,51,6076]  
Null Hypothesis: mean = 20,0  
Alternative: greater than  
Computed t statistic = 4,83116  
P-Value = 0,0000781179  
Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### 7. DQO

Según el parámetro de referencia este factor no puede exceder de 20 mg/L; por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 90,78  
Sample standard deviation = 38,3  
Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 90,78 +/- 19,0462 [71,7338,109,826]  
Null Hypothesis: mean = 20,0  
Alternative: greater than  
Computed t statistic = 7,84058  
P-Value = 2,39777E-7  
Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### 8. Eficiencia de DQO

Según el parámetro de referencia este factor no puede ser inferior al 80%, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 0,63  
Sample standard deviation = 0,2  
Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 0,63 +/- 0,0994579 [0,530542,0,729458]  
Null Hypothesis: mean = 0,8  
Alternative: less than  
Computed t statistic = -3,60624  
P-Value = 0,00108976  
Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### 9. Eficiencia de DBO

Según el parámetro de referencia este factor no puede ser inferior al 80%, por tanto esta será la hipótesis de estudio.

Sample mean = 0,65

Sample standard deviation = 0,22

Sample size = 18

95,0% confidence interval for mean: 0,65 +/- 0,109404 [0,540596,0,759404]

Null Hypothesis: mean = 0,8

Alternative: less than

Computed t statistic = -2,89271

P-Value = 0,00505894

Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

### C. COMPARACIÓN ENTRE LAS DOS PLANTAS RESPECTO A DQO Y DBO

#### 11.1.1 DBO

Para realizar la prueba de diferencia de medias es necesario realizar una prueba de hipótesis preliminar que consiste en comparar las varianzas entre las dos poblaciones respecto a la variable objetivo, en este caso DBO.

Sample standard deviations = 29,6173 and 19,32

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for ratio of variances: [0,831909,7,35245]

Null Hypothesis: ratio of variances = 1,0

Alternative: not equal

Computed F statistic = 2,35005

P-Value = 0,105038

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

De acuerdo al resultado anterior, se asume que las varianzas son iguales con un nivel de error del 5%.

Sample means = 27,1174 and 42,0

Sample standard deviations = 29,6173 and 19,32

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for difference between means: -14,8826 +/- 17,9554 [-32,838,3,07284]

Null Hypothesis: difference between means = 0,0

Alternative: not equal

Computed t statistic = -1,69522

P-Value = 0,100747

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

(Equal variances assumed).

### 11.1.2 DQO

Sample standard deviations = 62,1832 and 38,3

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for ratio of variances: [0,933142,8,24715]

Null Hypothesis: ratio of variances = 1,0

Alternative: not equal

Computed F statistic = 2,63602

P-Value = 0,066819

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

De acuerdo al resultado anterior, se asume que las varianzas son iguales con un nivel de error del 5%.

Sample means = 181,39 and 90,78

Sample standard deviations = 78,52 and 38,3

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for difference between means: 90,61 +/- 43,4773  
[47,1327,134,087]

Null Hypothesis: difference between means = 0,0

Alternative: not equal

Computed t statistic = 4,26242

P-Value = 0,000195655

Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

(Equal variances assumed).

### 11.1.3 Eficiencia de DQO

Sample standard deviations = 0,32 and 0,2

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for ratio of variances: [0,906231,8,00932]

Null Hypothesis: ratio of variances = 1,0

Alternative: not equal

Computed F statistic = 2,56

P-Value = 0,0752409

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

De acuerdo al resultado anterior, se asume que las varianzas son iguales con un nivel de error del 5%.

Sample means = 0,63 and 0,7

Sample standard deviations = 0,2 and 0,32

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for difference between means: -0,07 +/- 0,206002  
[-0,276002,0,136002]

Null Hypothesis: difference between means = 0,0

Alternative: not equal

Computed t statistic = -0,694975

P-Value = 0,492602

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

(Equal variances assumed).

### 11.1.4 Eficiencia de DBO

Sample standard deviations = 0,3 and 0,22

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for ratio of variances: [0,658258,5,81772]

Null Hypothesis: ratio of variances = 1,0

Alternative: not equal

Computed F statistic = 1,8595

P-Value = 0,235782

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

De acuerdo al resultado anterior, se asume que las varianzas son iguales con un nivel de error del 5%.

Sample means = 0,71 and 0,65

Sample standard deviations = 0,3 and 0,22

Sample sizes = 13 and 18

95,0% confidence interval for difference between means: 0,06 +/- 0,190684 [-0,130684,0,250684]

Null Hypothesis: difference between means = 0,0

Alternative: not equal

Computed t statistic = 0,643548

P-Value = 0,524926

Do not reject the null hypothesis for alpha = 0,05.

(Equal variances assumed).

## CÁLCULOS PARA LOS REDISEÑOS SISTEMAS CUBECO Y PALATINO:

### SISTEMA PALATINO:

$$Q \text{ (Caudal)} = \begin{aligned} &2.5 \text{ L/s} \\ &9 \text{ m}^3/\text{h} \\ &2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{DBO} = 148 \text{ mg/L}$$

### Pozo de Bombeo:

$$\text{Volumen} = 21.6 \text{ m}^3$$

Calculo del tiempo de retención:

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

$$Tr = \frac{21.6 \text{ m}^3}{9 \text{ m}^3 / \text{h}}$$

$$Tr = 2.4 \text{ h} \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$Tr = 144 \text{ min}$$

Calculo de Bomba:

El bombeo se realiza aproximadamente cada 2 horas al día; entonces:

$$\frac{Q}{\# \text{ Bombeos Dia}} = \frac{216 \text{ m}^3 / \text{d}}{12} = 18 \text{ m}^3 \text{ Cada Bombeo}$$

Tiempo en que se Bombea al sistema (bomba encendida): 20 minutos; entonces:

$$\frac{18 \text{ m}^3}{20 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 15 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Se instalan 2 bombas de 15 L/s una de ellas en *Stand By*

El tipo de Bomba a utilizar es una Grundfos SP 46-1-B, Las referencias se pueden ver en el Anexo F.

### **Reactor DiscontinuoSecuencial SBR (Sequenced Batch Reactor)**

Se diseña con el caudal de las bombas sumergibles.

$$Q = \begin{aligned} &15 \text{ L/s} \\ &0.015 \text{ m}^3/\text{s} \\ &1296 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Volumen Total:  $11.99 \text{ m}^3$

*Tr*: El Tiempo de retención depende de los intervalos de tiempo en que la bomba es encendida, para este caso el tiempo de retención es de 2 horas.

Carga Volumétrica:

$$CV = \frac{DBO * Q}{V}$$

$$CV = \frac{0.104 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 216 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{11.99 \text{ m}^3}$$

$$CV = 1.87 \frac{\text{kg} DBO}{\text{m}^3 \text{ d}}$$

### **Humedales de Flujo Superficial. (FS)**

Como se describe en el Anexo A, la estimación del tiempo de retención se realiza con el modelo general de diseño según LARA Borrero, (Depuración de Aguas residuales Municipales con Humedales Artificiales)

El diseño para cualquier tipo de humedal (superficial, subsuperficial y sistema de plantas flotantes acuáticas) corresponde a una ecuación cinética de primer orden en la que intervienen las concentraciones de afluente y efluente del contaminante en remoción, la constante de temperatura y el tiempo de retención.

Modelo general de diseño:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-kT}$$

Donde:

- Ce: Concentración efluente del contaminante (mg/L)
- Co: Concentración afluente del contaminante (mg/L)
- Kt: Constante de temperatura
- T: Tiempo de retención

Por lo tanto el tiempo de retención se obtiene al despejar T de la ecuación anterior

$$T = \left[ \ln \frac{Co}{Ce} \right] * \frac{1}{K_1}$$

Donde  $K_1 = 1.839 \text{ d}^{-1}$  a  $20^\circ \text{C}$  para aguas residuales municipales.

Como la constante K esta determinada bajo condiciones estándar se debe hacer una corrección por temperatura bajo condiciones actuales de operación donde:

$$K_{t25C} = K_{t20C} * 1.06^{(T-20)}$$

La temperatura media de Cuba es de  $25^\circ \text{C}$  en el año por tanto al reemplazar la temperatura en la ecuación anterior la corrección es la siguiente:

$$K_{t25C} = 1.839 \text{d}^{-1} * 1.06^{(25-20)} = 2.46 \text{d}^{-1}$$

Se parte de una concentración en el afluente de  $104 \text{ mg/L}$  (ver figura 46 en el documento) y suponiendo que actualmente el humedal remueve el 90 % de DQO, se sustituye en la ecuación anterior y se obtiene el tiempo de retención:

$$T = \left[ \ln \frac{104 \text{mg} / \text{L}}{10.4 \text{mg} / \text{L}} \right] * \frac{1}{2.46 \text{d}^{-1}} = 0.936 \text{d} \approx 0.9 \text{d} = 23 \text{h}$$

El tiempo de retención en los humedales es de 23 horas.



## SISTEMA CUBECO

$$Q = \begin{matrix} 7\text{L/s} \\ 25.2 \text{ m}^3/\text{h} \end{matrix}$$

### Tanque de Igualación (Blending Tank)

Volumen total del tanque de igualación:  $91.272 \text{ m}^3$

Tiempo de retención en el tanque de igualación:

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

donde:

V: Volumen del tanque  
Q: Caudal.

entonces:

$$Tr = \frac{91.272 \text{ m}^3}{\text{m}^3 / \text{h}}$$

$$Tr = 3.8 \text{ h} \approx 4 \text{ h}$$

El tiempo de retención del Tanque de igualación es de 4 horas.

### Tanques de aireación (Bio Reactores)

$$Q = \begin{matrix} 3.5\text{L/s} \\ 12.6 \text{ m}^3/\text{h} \\ 302.4 \text{ m}^3/\text{h} \end{matrix}$$

$$\text{DBO} = \begin{matrix} 82 \text{ mg/L} \\ 0.082 \text{ kg/m}^3 \end{matrix}$$

$$\text{DQO} = 192 \text{ mg/L}$$

Volumen=  $25,97 \text{ m}^3$  pero como son 3 tanques por cada fila :  $77,91 \text{ m}^3$

$$\text{SSLM}^* = 284 \text{ mg/L}$$

- Cálculo del F/M para sistemas de Lodos activados:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q^* (S_o - S_i)}{V * \text{SSLM}}$$

Donde:

---

\* Los análisis de laboratorio fueron realizados por el CIPRO Centro de investigación de Procesos de la CUJAE.

F/M = Alimento/Microorganismo

So = Concentración de DBO a la entrada de los tanques

Si = Concentración de DBO a la salida de los tanques

V = Volumen

SSLM = Sólidos Suspendidos de Licor Mezclado

$$\frac{F}{M} = \frac{302.4 \frac{m^3}{d} * (82 \frac{mg}{L} - 32 \frac{mg}{L})}{77.91 m^3 * 284 \frac{mg}{L}}$$

$$\frac{F}{M} = 0.68 KgDBO / KgSSVLM .d$$

Carga Volumétrica:

$$CV = \frac{DBO * Q}{V}$$

$$CV = \frac{0.082 \frac{kg}{m^3} * 302.4 \frac{m^3}{d}}{77.91 m^2}$$

$$CV = 0.3 \frac{kgDBO}{m^3 d}$$

### **Sedimentadotes Secundarios**

Volumen : 33.26 m<sup>3</sup>

Area: 79,33m<sup>2</sup>

Entonces para calcular el tiempo de retención del sedimentador es necesario:

$$V = 33.26 m^3$$

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

$$Tr = \frac{33.26 m^3}{12.6 \frac{m^3}{h}}$$

$$Tr = 2.63h$$

Calculo de la carga superficial en el sedimentador :

$$CS = \frac{Q}{A}$$

$$CS = \frac{302.4 \frac{m^3}{d}}{79.37 m^2}$$

$$CS = 3.81 \frac{m}{d}$$

### Bombeo. De Recirculación

El pozo de bombeo hacia el tanque de igualación, recibe el agua de las 2 filas, pero solo se recircula el 50% de la capacidad que tienen los sedimentadotes es decir:

$$7 \text{ L/s} - 50\% = 3.5 \text{ L/s}$$

Es necesario hacer el Bombeo de los lodos al tanque de igualación Cada 2 Horas.

$$\frac{Q}{\# \text{ Bombeos Dia}} = \frac{302.4 m^3 / d}{12 h} = 25.2 m^3 \text{ Cada Bombeo}$$

Tiempo en que se Bombea (bomba encendida): 15 minutos; entonces:

$$\frac{25.2 m^3}{15 \text{ min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 s} = 0.028 \frac{m^3}{s} = 28 \frac{L}{s}$$

Se instalan 2 bombas de 15 L/s.

El tipo de Bomba a utilizar es una Grundfos SP 46-1-B. Las referencias se pueden ver en el Anexo F.

### **Filtro rápido con lecho de Arena**

$$Q = 7 \text{ L/s}$$

$$Q_2 = \frac{302.4 m^3/d}{3.5 \text{ L/s}}$$

$$\text{Volumen: } 2.75 m^3$$

Calrga superficial:

$$Cs = \frac{Q}{V}$$

$$Cs = 109.96 m^3 / m^2 d$$

- Profundidad del lecho filtrante: 30 cm de Grava  
60 cm de Arena.
- Drenaje: Tuberías perforadas.
- Lavado: Invertiendo el flujo a presión con agua proveniente de un tanque de lavado con una bomba.
- Velocidad de lavado:  $0.8 m^3/m^2/min$
- Tiempo entre limpiezas : 24 – 48 – 72 horas..
- Tratamiento previo: sedimentación
- Relación largo ancho: 1/2

Calculo de la altura del lecho expandido. ARENA

$$\frac{L'}{L} = \frac{1 - No}{1 - \left( \frac{VI}{Vo} \right)^{1/m}}$$

No : porosidad inicial

L' : espesor de lecho expandido (cm)

VI : Velocidad de lavado (cm/sg)

Vo : Velocidad de sedimentación ( cm/sg)

L : Espesor del lecho filtrante (cm)

m : Factor que depende del NR.

Arena Datos:

$d_{10} : 2,25 \times 10^{-4} m$

Diámetro relativo

S : 2,6

Densidad relativa

No : 0,4

V :  $1.01 \times 10^{-6} m^2/seg$

$\mu : 1,01 \times 10^{-3} N \text{ seg} / m^2$

$$Vo = \frac{g(s-1)d^2}{18\nu}$$

$$Vo = \frac{9,8(2,6-1) * (2,25 \times 10^{-4})^2}{18 * 1,01 \times 10^{-6}} = 4,37 cm / sg$$

Comprobando la ley de Stokes, calculando el número de Reynolds.

$$Re = \frac{V_o * d}{\nu}$$

$$Re = 9,73 > 1$$

No se cumple la ley de Stokes

$$V_o = \sqrt{\frac{4}{3} g \frac{(S-1)}{Cd}}$$

$$V_o = \frac{6,36}{\sqrt{Cd}}$$

donde Cd: Coeficiente de arrastre.

Se debe entrar a un proceso de tanteo según la tabla.

Tabla II: Tanteo de coeficiente de arrastre Cd

Cd	Vo (cm/s)	Re	Cd Calculado
1.0	6.86	15.28	3.60
4.0	3.43	7.64	5.46
6.0	2.80	6.23	6.16
6.2	2.76	6.14	3.23
2.24	2.75	6.12	6.24

Fuente: González, 2003

$$Cd = 18,5 / Re^{0,6}$$

$$Vo=2,75cm/s$$

Para  $1 < Re < 500$

$$m = (4,4)/Re^{0,1}$$

$$m = 3,761$$

Espesor : 60 cm.

$$\frac{L'}{L} = \frac{1-0,4}{1 - \left(\frac{1,33}{2,75}\right)^{1/3,761}} = 3,4$$

$$L' = 3,4 * 60 = 204,9cm --- 2,04m$$

Altura Total del filtro:

$$AT= 204.9cm(arena) + 30 cm grava +15 borde libre$$

$$AT= 250 cm.--- 2,5m$$

*Nota: El valor total de la altura del filtro para el lecho expandido no es el adecuado, por esta razón presenta problemas en la pérdida del medio filtrante.*

## DISEÑO DE CÁMARA DE REJAS.

Q máximo = 10 l/s

Q mínimo = 4 l/s

Q promedio = 7 l/s

$Q = 7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Barras circulares

Diámetro de la tubería de entrada de 8" (0,2032 m)

Sección transversal del conducto tributario.

$$A_t = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_t = \frac{\pi (0.2032)^2}{4} = 0.032 \text{ m}^2$$

Área de la cámara de rejillas.

$$A_c = 2 \cdot 0.032 = 0.064 \text{ m}^2$$

Ancho del canal.

$$\text{Ancho} = 0.2032 \cdot 2 = 0.4064 \text{ (0.41)}$$

Altura de la lamina de agua.

$$h = \frac{A_c}{\text{Ancho}}$$

$$h = \frac{0.064 \text{ m}^2}{0.4064 \text{ m}} = 0.15 \text{ m}$$

*Borde libre de : 0.15m*

*Total de altura : 0.30m*

Longitud sumergida.

$$L_s = \frac{h \max}{\sin 45^\circ}$$

$$L_s = \frac{0.15 \text{ m}}{\sin 45^\circ} = 0.222 \text{ m}$$

Ancho del canal diseñado para 2 canales.  $0.41/2 = 0.20 \text{ m}$

No de barras requeridas.

$$n \cdot 2 + (n-1) \cdot 2.5 = 0.20 \text{ m}$$

$$1.27n + 2(n-1) = 20 \text{ cm}$$

$$(1.27 + 2)n + 2 = 20 \text{ cm}$$

$$3.27n = 18$$

$$n = 5.504 \quad (6) \text{ barras}$$

Chequeo del ancho

$$6 \text{ barras de } 1.27 \text{ cm} = 7.62 \text{ cm}$$

$$7 \text{ espacios de } 2 \text{ cm} = 14 \text{ cm}$$

$$7,62 + 14 = 21.62 \quad (22 \text{ cm}) \quad 0.22 \text{ m ancho real.}$$

Calculo de velocidades

Ancho neto por canal: 14 cm

Ancho neto de la cámara: 28 cm

Área neta sumergida.

An Camara \*Ls

$$0.28\text{m} * 0.222\text{m} = 0.06216$$

Velocidad

$$V = \frac{Q(\text{max, min, prom.})}{A}$$

$$V_{\text{max}} = \frac{0.010}{0.06216} = 0.160 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{min}} = \frac{4 * 10^{-3}}{0.06216} = 0.064 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{prom}} = \frac{7 * 10^{-3}}{0.06216} = 0.1126 \text{ m/s}$$

Calculo de dimensiones:

Ancho interior = 2 canaletas + muro central

$$= 0.44\text{m} + 0.15\text{m} = 0.59$$

Se supone una velocidad de sedimentación muy alta para evitar que haya sedimentación en la camara.

Vs = 4cm/s

$$\text{Para } Q_{\text{min}} = A_s = \frac{Q_{\text{min}}}{V_s}$$

$$A_s = \frac{4 * 10^{-3}}{0.04} = 0.1 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A_s}{\text{Ancho}}$$

$$L = \frac{0.1}{0.22} = 0.45 \text{ m}$$

Longitudes de las canaletas.

$$L1 = \frac{B1 - B2}{2 \tan \sigma} = 0.1m^2$$

$$L2 = 0.5 * L1$$

$$L1 = \frac{0.54 - 0.2032}{2 \tan 20} = 0.46m$$

$$L2 = 0.5 * 0.46 = 0.23$$

Calculo de las perdidas.

$$h = k\beta \left( \frac{d}{b} \right)^{4/3} \frac{v}{2g} \sin \sigma$$

$$K=1$$

$$B = 1.79 \text{ (barra circular)}$$

$$d = 1.27 \text{ cm}$$

$$b=2$$

$$V = Q/A$$

$$V = \frac{7 * 10^{-3} m^3 / s}{0.22m * 0.2032} = 0.156m / s$$

$$h = 1 * 1.79 \left( \frac{1.27}{2} \right)^{4/3} \frac{0.156}{2g} \sin 45 = 5.498 * 10^{-3} m$$

Cuando estas atascadas en un tiempo t. k = 3.0

$$h = 3.0 \times 5.498 * 10^{-3} m = 0.0164m$$



## VERTEDOR TRIANGULAR.

Q promedio= 7l/s

Q máximo = 10 l/s

Q mínimo = 4l/s

Ecuación para vertedores triangulares de 90 °

$$Q = 1,4 H^{2,5}$$

$$H = \sqrt[2,5]{\frac{Q}{1,4}}$$

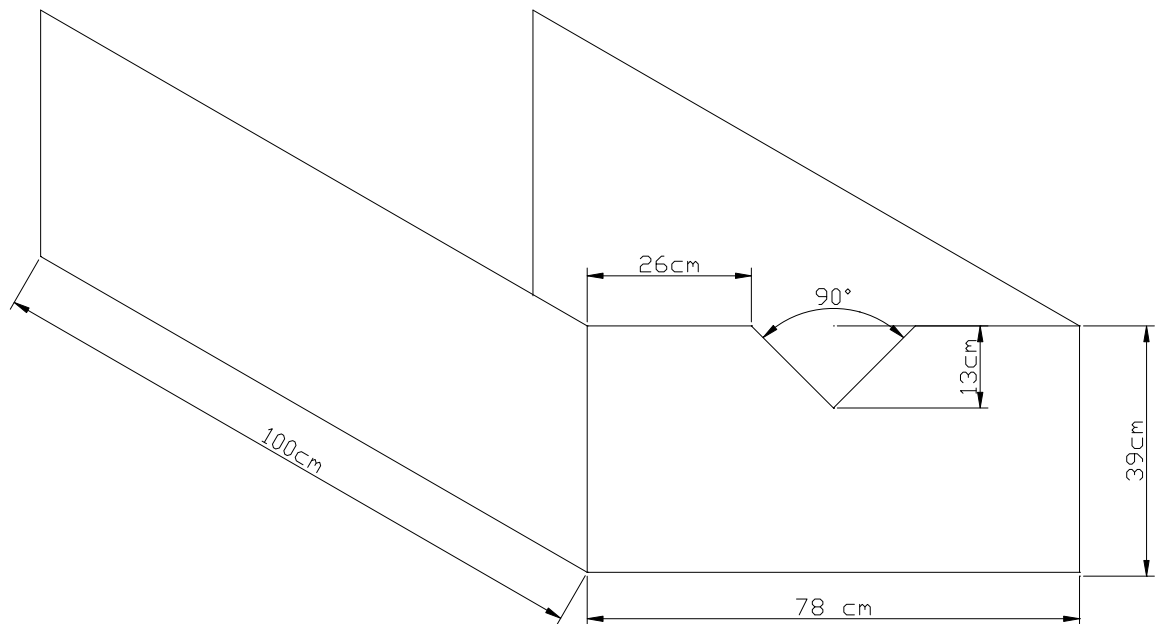
$$\bullet \quad H = \sqrt[2,5]{\frac{0.01m^3 / s}{1,4}}$$

$$H = 0.13m \Rightarrow 13cm$$

Ancho de la salida de la Cámara de rejas: 54 cm

2H max = 26 cm

Profundidad = 100 cm



### SEDIAMENTADOR CUBECO.

$$Q = 7 \text{ L/s} / 2 \text{ lineas.}$$

$$Q_2 = 3,5 \text{ L/s}$$

$$Q_2 = 302,4 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Volumen del cono : } 1/3 \pi r^2 h$$

$$V = 7.18$$

$$\text{Volumen del tanque : } 26.8 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol } 33,26 \text{ m}^3$$

*Diseño del canal perimetral.*

Se asume que la mitad del caudal descarga por la mitad del canal.

Carga sobre el vertedor:

$$C_v = \frac{Q}{L_v}$$

$$C_v = \frac{302,4 \text{ m}^3/\text{dia}}{\pi * 3,8 \text{ m}} = 25,33 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ d}$$

Canaleta de descarga libre.

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g b^2}}$$



b : Ancho de la canaleta 0.21 m

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{(3,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})^2}{9,8 * (0,1)^2}}$$

$$h_c = 0.05 \text{ m}$$

$$H = \left( h_c^2 + \frac{2Q^2}{g b^2 h} \right)^{1/2}$$

$$H = \sqrt{0,05^2 + \frac{2 * (3,5 \times 10^{-3})^2}{9,8 (0,2)^2 * 0,05}} = 0.061 \text{ m}$$

$$b = 0.21 \text{ m}$$

$$H = 0.061 \text{ m}$$

Con vertederos triangulares de 45°

$$Q = 0.55 H^{2,46}$$

$$Q = 0.55(0.03)^{2.46}$$

$Q = 9.86 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  por uno de los vertederos.

$$Q_{\text{total}} = q \cdot n$$

Q es 7 L/s como se divide en 2 filas el caudal de cada 3.5l/s

$$3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = q \cdot n$$

$$n = Q_{\text{total}}/q$$

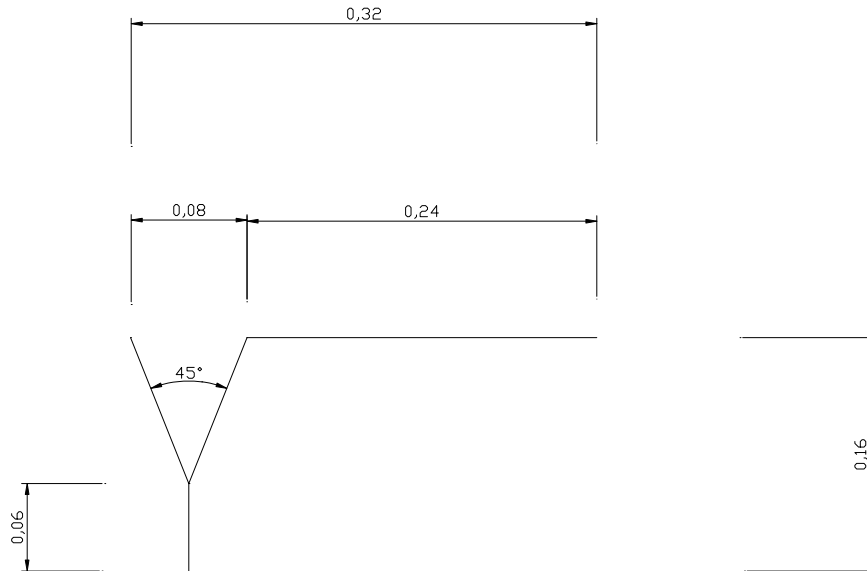
$$n = \frac{3.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}{9.86 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}}$$

$n = 35$  vertederos

Perímetro del sedimentador: 11,93 m.

$$11,93\text{m}/35 = 0.32\text{m}$$

$$1.193 - 0.08 = 0.24 \text{ m}$$



Se Sugiere un bafle circular en el medio de el sedimentador para evitar el corto circuito, con una profundidad de 2,46 y una tubería de extracción para generar presión atmosférica en el tanque y posibilitar la extracción completa de los lodos.

Como se muestra en la siguiente figura.

## BOMBAS SUMERGIBLES

### Gama Grundfos SE1

Las bombas Grundfos SE1 están diseñadas para bombear aguas de superficie, aguas residuales y lodos que contengan aguas residuales industriales.



Las bombas Grundfos SE1 son también idóneas para instalación en zonas de aparcamientos subterráneos, lavados de coches y aplicaciones similares donde se necesita una bomba robusta y segura, capaz de manejar grandes cantidades de aguas residuales, según la necesidad.

#### Impulsor de canal de autolimpieza

Las bombas Grundfos SE1 llevan un impulsor monocanal cerrado, capaces de manejar cantidades moderadas de fibras y sólidos de hasta 50 mm.



Las bombas de impulsor de canal Grundfos ofrecen un alto rendimiento y excelentes características contra atascos. El impulsor de canal de la gama SE1 tiene un paso libre de 50 mm. Las bombas de impulsor de canal son idóneas para servicios pesados y para bombeo a gran escala.

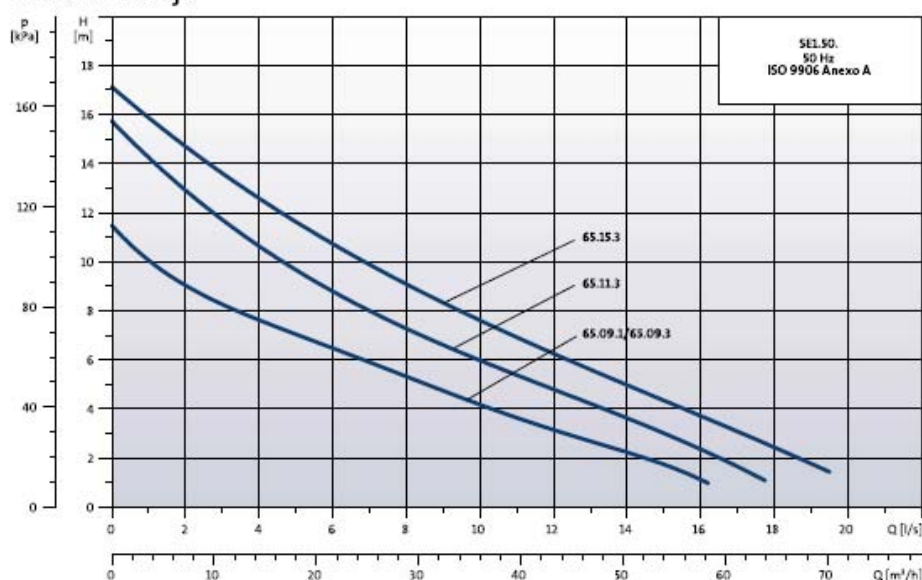
El paso libre del impulsor puede fácilmente ajustarse, apretando o aflojando los tornillos de ajuste en el fondo de la tapa de aspiración. El ajuste puede hacerse sin desmontar la bomba.

#### Instalación

Las bombas Grundfos SE1 llevan una brida de descarga estándar DN 65. Pueden instalarse sin sujeción o con un sistema de autoacoplamiento con tubos guía en una fosa de bombeo.

## Gama Grundfos SE1

### Gama de trabajo



### Líquidos bombeados

Las bombas Grundfos SE1 son adecuadas para manejar aguas fecales domésticas y otros líquidos con un valor de pH de 4 a 10. Pueden manejar líquidos con sólidos de hasta 50 mm.

Las bombas Grundfos SE1 son adecuadas para las siguientes aplicaciones:

- Grandes cantidades de aguas de drenaje y de superficie
- Aguas residuales domésticas con descarga de inodoros
- Aguas residuales de edificios comerciales, sin descarga de inodoros
- Lodos que contengan aguas residuales industriales
- Aguas de procesos industriales.

### Temperatura del líquido

0°C a +40°C. Durante periodos breves, máximo una hora, se permite hasta +60°C.

### Versiones

La gama SE1 incluye modelos para suministro eléctrico mono o trifásico, ver la tabla de la página 15. Todos los tipos están diseñados para tolerancias

de tensión de -10% / +6%.

Las versiones monofásicas requieren un cuadro de control con condensador de funcionamiento de 30 µF incorporado.

### Homologaciones

Todas las bombas SE1 de 50Hz están homologadas según DIN 12050-2 para utilización en la edificación.

### Versiones antideflagrantes

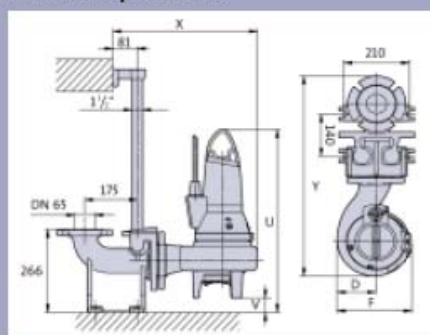
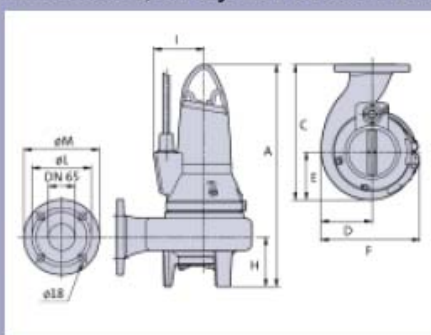
Para aplicaciones que entrañan riesgo de explosión, o donde se requiere por otros motivos, existen versiones antideflagrantes de las bombas SE1. Estos modelos tienen una clasificación antideflagrante EEx d IIB T4 según EN 50 014 (1977) + A1 & A2 y EN 50 018 (2000) + A1.

Las bombas SE1 están también disponibles con una clasificación Ex n IIB T4 según la normativa australiana AS2380.9.

### Arranques y paradas

Las bombas Grundfos SE1 son adecuadas para funcionamiento totalmente sumergido de forma continua, o funcionamiento parcialmente sumergido intermitente S3-40%-10 min. con máx. 30 arranques a la hora.

# Dimensiones, sin sujeción o con un sistema de autoacoplamiento



Tamaño motor [kW]	A	C	D	E	F	H	ØL	ØM
0,9, 1,1, y 1,5	544	333	126	118	242	121	143	185

Tamaño motor [kW]	F	D	U	V	X	Y
0,9, 1,1 y 1,5	242	118	589	45	485	671

# Datos eléctricos, tipo de bomba y códigos

Tipo de bomba	Código	P <sub>1</sub> [kW]	P <sub>2</sub> [kW]	n min <sup>-1</sup>	Tensión [V]	I <sub>h</sub> [A]	I <sub>max</sub> [A]	Cos φ	Clasificación Ex	Peso [kg]
SE1.50.65.09.2.1.502	96106562	1.3	0.9	2870	1x230	6.1	38	0.96		48
SE1.50.65.09.2.50C	96106567	1.4	0.9	2870	3x230-240	4.9	36	0.76		48
SE1.50.65.09.2.50B	96106566	1.4	0.9	2870	3x400-415	2.8	21	0.76		48
SE1.50.65.09.A.2.1.502*	96106564	1.3	0.9	2870	1x230	6.1	38	0.96		48
SE1.50.65.09.A.2.50C*	96106571	1.4	0.9	2870	3x230-240	4.9	36	0.76		48
SE1.50.65.09.A.2.50B*	96106570	1.4	0.9	2870	3x400-415	2.8	21	0.76		48
SE1.50.65.09.EX.2.1.502	96106563	1.3	0.9	2870	1x230	6.1	38	0.96	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.09.EX.2.50C	96106569	1.4	0.9	2870	3x230-240	4.9	36	0.76	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.09.EX.2.50B	96106568	1.4	0.9	2870	3x400-415	2.8	21	0.76	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.09.EX.2.1.502	96106565	1.3	0.9	2870	1x230	6.1	38	0.96	Ex n IIB T4	48
SE1.50.65.09.EX.2.50B	96106572	1.4	0.9	2870	3x400-415	2.8	21	0.76	Ex n IIB T4	48
SE1.50.65.11.2.1.502	96104125	1.6	1.1	2830	1x230	7.4	38	0.97		48
SE1.50.65.11.2.50C	96104130	1.6	1.1	2830	3x230-240	5.2	36	0.81		48
SE1.50.65.11.2.50B	96104129	1.6	1.1	2830	3x400-415	3.1	21	0.81		48
SE1.50.65.11.A.2.1.502*	96104127	1.6	1.1	2830	1x230	7.4	38	0.97		48
SE1.50.65.11.A.2.50C*	96104134	1.6	1.1	2830	3x230-240	5.2	36	0.81		48
SE1.50.65.11.A.2.50B*	96104133	1.6	1.1	2830	3x400-415	3.1	21	0.81		48
SE1.50.65.11.EX.2.1.502	96104126	1.6	1.1	2830	1x230	7.4	38	0.97	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.11.EX.2.50C	96104132	1.6	1.1	2830	3x230-240	5.2	36	0.81	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.11.EX.2.50B	96104131	1.6	1.1	2830	3x400-415	3.1	21	0.81	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.11.EX.2.1.502	96104128	1.6	1.1	2830	1x230	7.4	38	0.97	Ex n IIB T4	48
SE1.50.65.11.EX.2.50C	96104135	1.6	1.1	2830	3x400-415	3.0	21	0.81	Ex n IIB T4	48
SE1.50.65.15.2.50C	96104119	2.2	1.5	2720	3x230-240	6.6	36	0.88		48
SE1.50.65.15.2.50B	96104118	2.2	1.5	2720	3x400-415	3.8	21	0.88		48
SE1.50.65.15.A.2.50C*	96104123	2.2	1.5	2720	3x230-240	6.6	36	0.88		48
SE1.50.65.15.A.2.50B*	96104122	2.2	1.5	2720	3x400-415	3.8	21	0.88		48
SE1.50.65.15.EX.2.50C	96104121	2.2	1.5	2720	3x230-240	6.6	36	0.88	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.15.EX.2.50B	96104120	2.2	1.5	2720	3x400-415	3.8	21	0.88	EEx d IIB T4	48
SE1.50.65.15.EX.2.50B	96104124	2.2	1.5	2720	3x400-415	3.8	21	0.88	Ex n IIB T4	48

\* La bomba lleva un cuadro de control CU100 para funcionamiento automático.

## MEZCLADOR

Para poder determina el tipo de agitador o mezclador se necesita calcular la potencia para obtener una mezcla homogénea en el tanque.

El consumo de energía mínimo para este tipo de dispositivos es de 30 w/m<sup>3</sup> entonces:

$$P = \frac{Px}{V}$$

Donde:

Px: Consumo de energía  
V: Volumen del tanque

Entonces para calcular la potencia es necesario desarrollar la ecuación.

$$P = \frac{30w/m^3}{91.272m^3}$$

$$P = 0.32w \times \frac{1kw}{1000w} * \frac{1.345HP}{1kw} = 4.29 \times 10^{-4} HP$$

Según proveedores el mínimo de potencia requerido para este tipo de mezcladores es de 5 HP

Las características del Mezclador se pueden ver a continuación.

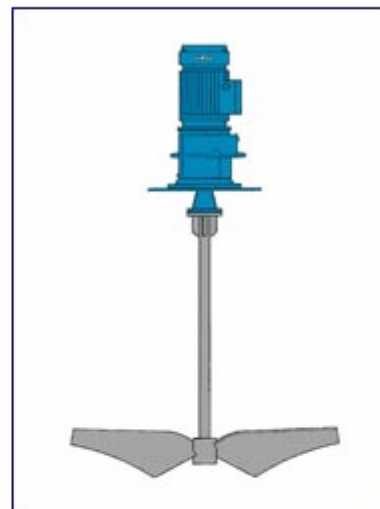


## TECNOLOGÍA EN AGITACIÓN

### Agitadores Serie PA Velocidad Lenta

#### DESCRIPCIÓN

- Agitadores con reductor de velocidad y móvil de perfil alabeado axial tripala T10 de gran rendimiento de bombeo.
- Amarre por brida cuadrada (opcionalmente circular).
- Eje y hélice construidos en los materiales requeridos por las características del proceso; en standard disponibles en acero carbono, AISI-304, AISI-316 y ebonitados.
- Construcciones especiales adaptadas a especificaciones; motores neumáticos, antiexplosivos, antideflagrantes, etc ...
- Consultar para aplicaciones en tanques cerrados con presión, temperatura, etc ...



[Ampliar imagen](#)

#### APLICACIONES

- Mezcla y homogeneización, mantenimiento en suspensión de sólidos, dispersión de gas en líquidos.
- Aplicaciones especiales de mezcla rápida (flash-mixing) en plantas de tratamiento de aguas.
- En tanques cilíndricos verticales recomendable montaje con anti-vortex.



<http://www.timsa.com>



## DIFUSORES

Se calculan el número de difusores que debe tener cada una de los tanques, para ello se tiene en cuenta el balance porcentual de la Figura 55.

- Cálculo de aire para oxigenar. (AR) (Cantidad de oxígeno a suministrar por los sopladores.

$$Ar \left[ \frac{m^3 \text{aire}}{h} \right] = \frac{CO_{real} \left[ \frac{kg O_2}{h} \right]}{n\% * Ca} \quad (1)$$

donde:

CO: Consumo de Oxígeno: (Respiración del Sustrato + Respiración Endógena + Nitrificación)

Ca = Concentración de Oxígeno en el aire (kg O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> aire): A condiciones estándar, 0.28

n% = Tasa de absorción específica.

Para calcular el CO real es necesario utilizar la siguiente ecuación.

$$CO_{real} = \left( \frac{CO}{\alpha} \right) * \left( \frac{9.2}{(C_s * \beta) - C_r} \right) * 1.024^{(T-20)} \quad (2)$$

donde:

C<sub>s</sub> = Concentración de saturación a temperatura y sobre el nivel del mar diseño: (@ 9.2)

β = Coeficiente corrección de sustrato (@ 0.95)

α = Coeficiente corrección tasa de transferencia Oxígeno: (0.65)

C<sub>r</sub> = Concentración de Oxígeno Disuelto residual a mantener: (@ 1 mg/L)

T: Temperatura del agua: 24°C

Para calcular el n% es necesario aplicar la siguiente ecuación.

$$n \% = n' * Di \quad (3)$$

donde:

Di = Sumergencia de difusores (m): Altura de los tanques 2.29 m

n' = Tasa de absorción específica (%): 4.4% por metro de profundidad de inmersión.

- Cálculo de el Consumo de Oxígeno (CO):

El consumo de oxígeno es la suma de la Respiración del Sustrato + Respiración Endógena.

*Respiración del Sustrato*: se desarrolla con la siguiente ecuación:

$$O_{2sus} = a \frac{E}{100} * L \quad (4)$$

donde:

a = kgO<sub>2</sub>/kgDBO, para oxidar carbón orgánico: (entre 0.48 y 0.71, @ 0.5)

L = Carga Orgánica. (kg DQO/d)

Para el cálculo de L se aplica la siguiente ecuación.

$$L = Q * DBO \quad (5)$$

Para Cada tanque seria:

Tanque 1 de las Fila 1 y 2.

$$\begin{aligned} L &= 3.5 \frac{L}{s} * 120 \frac{mg}{L} \\ L &= 420 \frac{mg}{s} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{60s}{1min} * \frac{60min}{1h} \\ L &= 1.512 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

Tanque 2 de las Fila 1 y 2.

$$\begin{aligned} L &= 3.38 \frac{L}{s} * 42 \frac{mg}{L} \\ L &= 141.96 \frac{mg}{s} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{60s}{1min} * \frac{60min}{1h} \\ L &= 0.511 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

Tanque 3 de las Fila 1 y 2.

$$\begin{aligned} L &= 3.25 \frac{L}{s} * 27.3 \frac{mg}{L} \\ L &= 88.725 \frac{mg}{s} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{60s}{1min} * \frac{60min}{1h} \\ L &= 0.319 \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

Reemplazando en la ecuación (4) para cada uno de los tanques:

Tanque 1 de las Fila 1 y 2.

$$O_{2sus} = 0.5 \frac{65}{100} * 1.512$$

$$O_{2sus} = 0.491 \frac{kg}{h}$$

Tanque 2 de las Fila 1 y 2.

$$O_{2sus} = 0.5 \frac{35}{100} * 0.511$$

$$O_{2sus} = 0.089 \frac{kg}{h}$$

Tanque 2 de las Fila 1 y 2.

$$O_{2sus} = 0.5 \frac{35}{100} * 0.319$$

$$O_{2sus} = 0.055 \frac{kg}{h}$$

*Respiración Endógena:* se desarrolla con la siguiente ecuación

$$O_{2Endogena} = Kre * M * Vtk \quad (6)$$

Donde:

Kre = Tasa de respiración endógena que depende de la carga de los Ls (F/M)  
(Tabla I)

M = SSLM. Sólidos suspendidos de Licor Mezclado

Vtk = Volumen del tanque

*Tabla I : Tabla de respiración endógena*

Ls	Kre (Kg O <sub>2</sub> /kg SSLM-d)
< 0.1	0.1
0.2	0.12
0.3	0.13
0.5	0.14
>1.0	0.15 -2.0

*Fuente: METCALF & EDDY , 1985*

Calculando el F/M de cada uno de los tanques tenemos:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q * (S_0 - S_i)}{V * SSLM} \quad (7)$$

donde:

F/M = Alimento/Microorganismo

So = Concentración de DBO a la entrada de los tanques

Si = Concentración de DBO a la salida de los tanques

V = Volumen

SSLM = Sólidos Suspendidos de Licor Mezclado

Entonces, reemplazando en la ecuación (7) de F/M para cada tanque tenemos:

Tanque 1 de las Fila 1 y 2.

$$\frac{F}{M} = \frac{3.5 * (120 - 42)}{77.91 * 284} = 0.01 \frac{kgDBO}{KgSSLM.d}$$

$$Kre = 0.1$$

Tanque 2 de las Fila 1 y 2.

$$\frac{F}{M} = \frac{3.38 * (42 - 27.3)}{77.91 * 284} = 2.2 \times 10^{-3} \frac{kgDBO}{KgSSLM.d}$$

$$Kre = 0.1$$

Tanque 3 de las Fila 1 y 2.

$$\frac{F}{M} = \frac{3.25 * (27.3 - 17.7)}{77.91 * 284} = 1.4 \times 10^{-3} \frac{kgDBO}{KgSSLM.d}$$

$$Kre = 0.1$$

Entonces para calcular la respiración endógena en la ecuación (6):

Tanque 1 de las Fila 1 y 2.

$$O_{2Endogena} = 0.1 \frac{KgO_2}{KgSSLM - d} * 284 \frac{mg}{L} * 77,91m^3 * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1g}{1000mg} * \frac{1kg}{1000g}$$

$$O_{2Endogena} = 2.21 \frac{kg}{d} * \frac{1d}{24h} = 0.092 \frac{kg}{h}$$

Como todos los Kre son 0.1 la respiración endógena es igual para todos los tanques.

El resultado del consumo de oxígeno es el siguiente:

$$CO = O_{2\text{ sus}} + O_{2\text{ endogena}}$$

Los resultados son los siguientes:

Tabla II: Resumen de resultados respiración de sustrato, endógena y el consumo de oxígeno.

	Tanque 1 F 1y2	Tanque 2 F1 y 2	Tanque 3 F 1 y 2
O <sub>2</sub> Sustrato	0.491 kg/h	0.089 kg/h	0.055 kg/h
O <sub>2</sub> Endógena	0.092 kg/h	0.092 kg/h	0.092 kg/h
CO	0.583 kg/h	0.181 kg/h	0.147 kg/h

Fuente: Autor 2007

Consumo de Oxígeno real según ecuación (2).

Tanque 1 F 1y2

$$CO_{real} = \left( \frac{0.583}{0.65} \right) * \left( \frac{9.2}{(9.2 * 0.95) - 1} \right) * 1.024^{(24-20)}$$

$$CO_{real} = 1.17 \frac{KgO_2}{h}$$

Tanque 2 F 1y2

$$CO_{real} = \left( \frac{0.181}{0.65} \right) * \left( \frac{9.2}{(9.2 * 0.95) - 1} \right) * 1.024^{(24-20)}$$

$$CO_{real} = 0.36 \frac{KgO_2}{h}$$

Tanque 3 F 1y2

$$CO_{real} = \left( \frac{0.147}{0.65} \right) * \left( \frac{9.2}{(9.2 * 0.95) - 1} \right) * 1.024^{(24-20)}$$

$$CO_{real} = 0.29 \frac{KgO_2}{h}$$

Tasa de absorción específica

$$n\% = n' * Di$$

$$n\% = 4.4\% * 2.29$$

$$n\% = 10\%$$

Cantidad de aire para el soplador según formula (1):

Tanque 1 F 1 y 2

$$Ar = \frac{1.17 \frac{kgO_2}{h}}{0.1 * 0.28 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Ar = 41.78 \frac{m^3 aire}{h}$$

Tanque 2 F 1 y 2

$$Ar = \frac{0.36 \frac{kgO_2}{h}}{0.1 * 0.28 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Ar = 12.85 \frac{m^3 \text{ aire}}{h}$$

Tanque **3** F 1 y 2

$$Ar = \frac{0.29 \frac{kgO_2}{h}}{0.1 * 0.28 \frac{kg}{m^3}}$$

$$Ar = 10.35 \frac{m^3 \text{ aire}}{h}$$

Calculo del Número de difusores:

Se utilizan Difusores de 9 Pulgadas de Burbuja fina con un caudal de aire de 4m<sup>3</sup>/h

$$NoDifusores = \frac{Ar \frac{kgO_2}{h}}{Q_{aure} \frac{kg}{m^3}}$$

El numero de difusores para cada tanque sería:

Tanque **1** F 1 y 2

$$NoDifusores = \frac{41.78 \frac{kgO_2}{h}}{4 \frac{kg}{m^3}}$$

$$NoDifusores = 10.44 \approx 10$$

10 difusores para el tanque **1** de cada fila.

Tanque **2** F 1 y 2

$$NoDifusores = \frac{12.85 \frac{kgO_2}{h}}{4 \frac{kg}{m^3}}$$

$$NoDifusores = 3.96 \approx 4$$

4 difusores para el tanque **2** de cada fila.

Tanque **3** F 1 y 2

$$NoDifusores = \frac{10.35 \frac{kgO_2}{h}}{4 \frac{kg}{m^3}}$$

$$NoDifusores = 2.58 \approx 3$$

3 difusores para el tanque **3** de cada fila.

A continuación se indican las características de los difusores y el Soplador para este sistema.

## SISTEMAS DE AIREACIÓN- DIFUSORES

### SISTEMAS DE AIREACIÓN – DIFUSORES DE AIRE DE MEMBRANA – VENTAJAS PRINCIPALES



Las principales ventajas del sistema con sopladores y difusores de aire REPICKY, en comparación con aireadores superficiales, son:

- Ahorro de energía eléctrica de hasta un 50%
- Gran aprovechamiento del espacio, ya que los reactores pueden diseñarse más profundos (a mayor profundidad, mayor eficiencia en la transferencia de oxígeno).
- Mayor flexibilidad ante demandas de oxígeno variables dada la posibilidad de incrementar o disminuir rápidamente el aire que ingresa a la cámara de aireación con intervención de un operador sobre los equipos o en forma automática.
- Mayor vida útil que la de los aireadores mecánicos convencionales al poder ser ubicada la sala de sopladores fuera del área de corrosión.
- Eliminación de spray contaminantes en los alrededores de la planta.
- Menores costos en el mantenimiento electromecánico por la mayor protección que un menor número de motores en operación posibilita de los mismos.
- Eliminación de zonas muertas y malos olores gracias a los muy buenos patrones de mezcla que permite lograr parte del aire que no reacciona.
- Posibilidad de crecimiento modular tanto en los difusores como en los sopladores, la que permite cubrir las necesidades de aire en forma confiable y con montos de inversión adecuados a cada etapa del crecimiento.

Los difusores de aire RG-300 pueden ser instalados en grillas de PVC o polipropileno y fijados con soportes de acero inoxidable al fondo de los reactores, o bien pueden montarse en módulos removibles ya sean simples o múltiples pre-armados en fábrica disminuyendo los tiempos de montaje y permitiendo su uso en plantas en operación con reactores llenos.

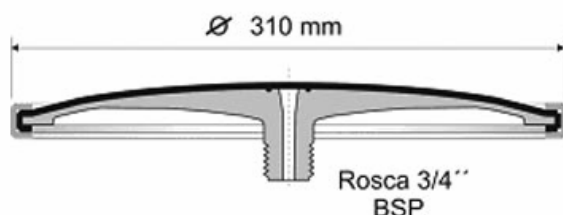
El uso de estos módulos es también ideal para cámaras con aireadores superficiales en operación donde sea necesario incrementar la aireación, ya sea en forma permanente o por demandas puntuales. Cualquiera sea la geometría de los reactores, siempre habrá una configuración óptima para esa instalación.



<http://www.repicky.com.ar/index.htm>



## SISTEMAS DE AIREACIÓN – DIFUSORES DE AIRE DE MEMBRANA – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS



### Principales Características Técnicas

**Materiales standard:** Membrana de EPDM (Otros compuestos a pedido), Base: ABS, Aro externo: Polipropileno.

**Rango de caudal:** 2 a 8 Nm<sup>3</sup>/hora.

**Caudal de Diseño:** 5 Nm<sup>3</sup>/hora.

**Pérdida de Carga:** 20 mbar para 2 Nm<sup>3</sup>/h.

40 mbar para 5 Nm<sup>3</sup>/h.

70 mbar para 8 Nm<sup>3</sup>/h.

**Densidad:** 1 a 6 difusores / m<sup>2</sup>.

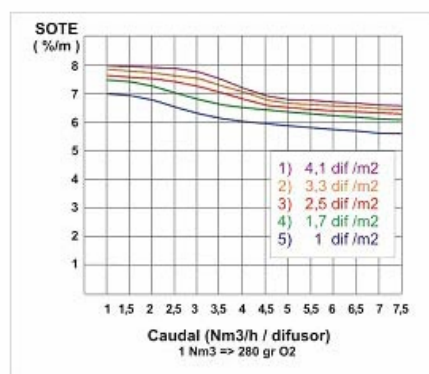
**Transferencia de O<sub>2</sub> en condiciones std:** 15,4 gr (5,5%) a 22,4 gr (8 %) por cada m<sup>3</sup>/h de aire y por cada metro de profundidad.

**Eficiencia de Transferencia O<sub>2</sub>:** 2,5 - 6 Kg O<sub>2</sub>/KWh.

**Tuberías:** diámetro 2"- 6" en PVC, PP o acero inoxidable.

En grandes reactores biológicos la cantidad necesaria de difusores se determina en función de los requerimientos totales de O<sub>2</sub> ya que cada difusor aporta una parte del O<sub>2</sub> requerido. Las principales variables que intervienen en la capacidad de transferencia de cada difusor RG-300 son la profundidad útil del reactor, el caudal de aire por difusor y la densidad o cantidad de difusores por m<sup>2</sup> de cámara o reactor. En general se tiene una mejor capacidad de transferencia de O<sub>2</sub> cuanto más profunda es la cámara, y mayor la cantidad de difusores por m<sup>2</sup> de superficie. La gran mayoría de las instalaciones llevan entre 1 y 2 difusores por m<sup>2</sup> hasta un máximo práctico de 6 dif/m<sup>2</sup>. Para los cálculos iniciales se utiliza el caudal de diseño del difusor que es de 5 m<sup>3</sup>/h medidos a 20° C y presión atmosférica normal lo que se conoce como condiciones Standard. Luego puede ser necesario realizar un ajuste en la cantidad definitiva de difusores en función de la geometría y cantidad de ramales y grillas adoptadas. El rango de trabajo del difusor es de 2 a 8 m<sup>3</sup>/h resultando conveniente trabajar en valores cercanos al caudal de diseño ya que se obtienen excelentes resultados de aireación y mezcla, y una vida prolongada de las membranas.

## SISTEMAS DE AIREACIÓN – DIFUSORES DE AIRE DE MEMBRANA – CURVA DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO



Transferencia de O<sub>2</sub> por metro de profundidad en función del caudal de aire por difusor (m<sup>3</sup>/h) a 20°C, agua limpia y presión atmosférica normal para distintas cantidades de difusores/m<sup>2</sup>.



<http://www.repicky.com.ar/index.htm>

## SISTEMAS DE AIREACIÓN – SOPLADORES

### SOPLADORES ROTATIVOS Y BOMBAS DE VACIO (SERIES R y RA) - CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS



La clave del buen rendimiento de los Sopladores y Bombas de Vacío Repicky se encuentra en los pequeños huelgos interiores.

- No tiene rozamiento interno
- No requiere lubricación
- No contamina
- Tiene muy bajo mantenimiento
- Bajo nivel de ruido
- Baja temperatura
- No se requiere de aceite en la compresión
- El aire de salida carece de contaminantes
- Los caudales son variables con las RPM
- Gran eficiencia volumétrica debido a su construcción de alta tecnología con rotores bilobulares.

#### Engranajes:

Los engranajes son de tipo helicoidal con flancos rectificadas, de marcha más suave y silenciosa que los engranajes rectos, lo cual les otorgan un nivel de confiabilidad superior. Son construidos con materiales de alta resistencia y tratados térmicamente. Son fijados al eje de mando mediante un ajuste cónico, preparado para montarlo y desmontarlo mediante un sistema hidráulico de alta presión.

#### Lubricación:

Ya que los rotores trabajan sin contacto entre sí, no necesitan lubricación y por consiguiente no tienen desgaste por rozamiento a lo largo del tiempo.

La particular característica de no requerir lubricantes en su cámara de compresión, hace que no contamine el gas transportado y a su vez, otorgue una muy prolongada vida útil al equipo.

Los únicos elementos lubricados son los rodamientos y los engranajes. El sistema de lubricación es por salpicado y en cámaras separadas, asegura una efectiva acción para con los elementos en juego, con un mantenimiento muy reducido consistente en el recambio de lubricante por envejecimiento y sin contaminación.

#### Rotores impulsores:

En los últimos años, Repicky ha desarrollado una forma particular de rotores, que en combinación con sus huelgos y con el resto de la geometría de su entorno, logró un excelente rendimiento volumétrico y mecánico.

Estos resultados redundaron en una sensible disminución del nivel sonoro y de la vibración. Complementado esto con el desarrollo de silenciadores especiales, se ha logrado ampliar con creces la alta gama de servicios de la configuración de rotores bi-lobulares.

#### Rodamientos:

Los rodamientos elegidos y su lubricación por salpicado, permiten alcanzar una larga vida útil en servicio pesado, además, el rodamiento en el eje de mando, está puntualmente dimensionado para soportar los esfuerzos de las tensiones de las correas.

#### Sistema de sellos:

Entre la cámara de compresión y los carters, se aloja un sistema de sellos con laberintos de alta eficiencia y de rozamiento casi nulo, diferenciándose con creces de los clásicos sellos con retenes.

#### Ejes:

De diseño extremadamente robustos, muy aptos para soportar tensiones de correas y sobrecargas accidentales, sin afectar sus pequeños huelgos internos.

