

*CENTRO UNIVERSITARIO DE SANCTI SPÍRITUS*

*“JOSÉ MARTÍ PÉREZ”*

*DEPARTAMENTO AGROPECUARIO*

*Trabajo de Diploma*

*TÍTULO: “Construcción y evaluación de una obra para el intercambio de oxígeno en las ARU de la zona noroeste de Sancti Spíritus”.*

*DIPLOMANTE: Yuniesky Cabrera López*

*TUTOR: Ing. Carlos A. Camejo Pérez*

*Dr.C. Martín Santana Sotolongo*

*“Año 50 de la Revolución”*

*Curso*

*2007-2008*

***Pensamiento.***

“Debemos usar racionalmente el agua como  
también debemos usar racionalmente la tierra”

**Fidel Castro Ruz**

### *Dedicatoria.*

- El presente trabajo está dedicado a mis padres por brindarme el apoyo necesario para que yo pudiera continuar mis estudios. Por educarme cada día con amor y respeto, también por incitar en mi el amor hacia los estudios y aconsejarme en todos los momentos.
  
- Además se lo dedico a aquellas personas que pensaban que yo no podía superarme en la vida.

- En fin a todas las personas que se sientan orgullosas por mi desempeño.

## **Agradecimientos.**

- Quisiera agradecerle a la Revolución cubana y principalmente a nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz.
  
- A mis padres por ayudarme en todos los momentos difíciles por los que tiene que pasar cualquier ser humano.
  
- A todos mis compañeros de aula.

- A mi esposa por ayudarme en todo momento, también por tener un poco de paciencia y comprenderme.
  
- A mi tutor por dedicarme un poco de su tiempo.
  
- También a todas las personas que de una forma u otra me ayudaron en la realización de este trabajo.

## Índice.

Objetivo		Pág.
<b>1</b>	<b>Introducción.</b>	1
1.1	Problema científico.	3
1.2	Hipótesis.	3
1.3	Objetivo general	3
1.4	Objetivo específico.	4
<b>2</b>	<b>Revisión bibliografía.</b>	5
2.1	Monografía del agua.	5
2.1.1	El agua.	5
2.1.2	Propiedades.	5
2.1.3	Estado natural.	5
2.1.4	El agua en la vida.	6
2.1.5	Ciclo natural del agua.	6
2.1.6	Composición.	7
2.1.7	Distribución de las aguas.	8
2.1.8	Destino.	9
2.1.9	Situación actual.	9
2.2	Generalidades del país.	10
2.2.1	Descripción de Cuba.	10
2.2.2	Recursos hidráulicos.	13
2.2.2.1	Abasto y saneamiento.	14
2.2.3	Calidad.	18
2.3	Contaminación.	19
2.3.1	Otros contaminantes.	20
2.3.2	Focos contaminantes.	20
2.3.3	Riesgos para la salud.	23
2.3.3.1	Agentes patógenos.	23
2.3.3.2	La criptosporidiosis.	25
2.4	Tratamiento de las aguas residuales.	25

2.4.1	Sustancias químicas (composición).	26
2.4.2	Tratamientos del agua con tecnologías no convencionales.	27
2.4.2.1	Etapas del tratamiento del agua residual.	27
2.4.3	Tratamientos no convencionales.	28
2.4.4	Las plantas emergentes en la depuración de efluentes.	29
2.4.4.1	SFS con plantas emergentes.	30
2.4.4.2	Diseño y construcción del Sistema Natural.	30
2.4.4.3	Plantas acuáticas.	32
2.4.4.4	Oxigenadotas, plantas acuáticas sumergidas.	33
2.4.4.5	Flotantes, plantas acuáticas sumergidas.	33
2.4.4.6	Macrofitas en flotación.	33
2.4.5	Biodigestores.	34
2.4.6	Diagrama de humedal artificial.	34
2.5	Biodegradabilidad.	35
2.6	Legislación cubana.	36
<b>3</b>	<b>Materiales y métodos.</b>	<b>38</b>
3.1	Ubicación geográfica de la investigación.	38
3.2	Criterio de selección del área a investigar.	38
3.3	Instrumentos de medición.	39
3.4	Instrumentos de trabajo.	39
3.5	Mediciones a realizar.	39
3.6	Instituciones que laboran.	40
3.7	Organizaciones políticas y de masas.	40
3.8	Metodología para tomar datos.	40
3.9	Diagnóstico del canal.	41
3.10	Construcción de la obra de IAP.	41
3.11	Software utilizado para el procesamiento de los datos.	42
<b>4</b>	<b>Resultados y discusión.</b>	<b>43</b>
4.1	Diagnostico del canal.	43
4.2	Selección del punto para realizar la obra de IAP.	43
4.3	Comportamiento del gasto.	45
4.4	Comportamiento del O <sub>2</sub> disuelto antes y después de la obra.	49

4.5	Comportamiento de la conductividad en los distintos horarios.	51
4.6	Total de Sólidos Disueltos que se descomponen.	52
5	Conclusiones.	56
6	Recomendaciones.	57
7	Bibliografía.	58
8	Anexos.	Al final.

## **Resumen.**

El trabajo titulado “Construcción y evaluación de una obra para el intercambio de oxígeno en las ARU de la zona noroeste de Sancti Spíritus, Camino de la Habana”. Se desarrolló en el curso 2007-2008, con el objetivo de comparar el efecto de del aumento de el oxígeno disuelto en las aguas residuales urbanas (ARU), para la disminución de las cargas contaminantes de las aguas que se incorporan al Río Yayabo, antes de la Planta Potabilizadora del Municipio de Sancti Spíritus. El experimento se realizo a partir de una obra de ingeniería del agua posible (IAP), donde se utilizó como obra no convencional un salto creado a partir de una plancha de lata, a una altura de 30cm y un ancho de 57cm. Se realizaron 9 mediciones en 3 horarios que comprendían de 6:30 AM a 8:30 AM, 11:00 AM a 1:00 PM y de 5:00 PM a 7:00 PM, durante 4 días donde se midió el oxígeno disuelto, % de oxígeno y el TDS antes y después de la obra, y otros parámetros: conductividad, % de sales, gasto Q (l/s) y temperatura. Obteniéndose resultados en el aumento del % de O<sub>2</sub> disuelto y la descomposición de la materia orgánica.



## 1. Introducción.

Uno de los primeros conocimientos sistematizados que se conocen de la humanidad es la clasificación de cuatro grandes entes que formaban el universo y a los que le fueron atribuidos imaginados poderes dada su imprescindible esencia para la vida misma, estos eran el agua, el viento, el fuego y la tierra.

En el pasado, el agua fue tratada como un recurso inagotable. Esta postura ha llevado a usos extravagantes y exagerados del agua. En los países en desarrollo, una familia que vive en una zona donde hay que acarrear el agua de un pozo a varios kilómetros considera que unos cuatro y medio litros de agua diarios por miembro bastan para todas las necesidades esenciales, incluyendo la comida y el aseo personal. En contraparte, en el hogar típico de las naciones desarrolladas se consumen en promedio 680 litros diarios por persona, y si se añaden todos los usos indirectos la cifra per cápita aumenta 6056 litros. Del mismo modo, es posible que un campesino reparta cuidadosamente el agua en cada planta con una cacerola, mientras los sistemas modernos comunes de riego inundan todo el campo. Esto no quiere decir que el mundo desarrollado debería adoptar los hábitos de los

países en desarrollo, sino que el consumo de agua es reducible en 75% o más sin que la gente sufra grandes apuros. Gracias a tales disminuciones satisfaceríamos nuestras necesidades y prevendríamos las del ecosistema y el de las generaciones venideras (NEBEL, 1996).

En menos de tres decenios la población crecerá de 6 mil millones a 9 mil millones de individuos.

El riego absorbe 2/3 del consumo de agua y la necesidad de la agricultura no va a disminuir. Los artificios técnicos (presas, conductoras, desalinizadoras, etc.) ya no bastan para hacer frente a la penuria del agua. Hoy la alianza de políticos, economistas y especialistas, en lugar de preguntarse cómo aumentar la oferta se preguntan como disminuir la demanda.

Se está derrochando un recurso sin el cual no podemos vivir, el agua es un mediador entre el hombre y la naturaleza. Soluciones simplistas aducen un mecanismo de mercado: cobrar el agua, privatizarla. Se habla de un mercado internacional del agua para que los países más necesitados puedan comprar agua a los demás. La ley Californiana en Estados Unidos incita a los productores a vender sus derechos de agua a la población en vez de producir cereales. Las consecuencias políticas y sociales

de este enfoque serían impredecibles porque no puede tratarse este recurso vital como un producto más.

Lo que el hombre no pudo advertir es que el líquido máspreciado de la tierra un día poco distante le figurara escaso y deteriorado, centro de conflictos sociales y foco de enfermedades, transmisor de elementos nocivos y con un ciclo errático en su comportamiento pluvioso, dejándole prolongadas sequías después de intensas inundaciones y aun no advierte que cuanto antes sea debe alfabetizarse e instruirse y generar un movimiento de acciones colectivas conscientes que le permitan hacer un uso racional y salubre del líquido que le garantiza su existencia (Santana, 2006).

Si en un momento el agua se concebía como un recurso inagotable hoy no se puede ver desde ese mismo punto de vista; el agua es un recurso agotable y contaminable, mal distribuida y con bajas eficiencias en su uso, constituye hoy fuente de conflictos entre varios estados, donde el acceso a este recurso cada vez es más difícil para países en vías de desarrollo.

En Cuba la política del estado siempre ha sido la protección de los recursos naturales y muy especialmente los recurso hídricos, desde las obras impulsadas por nuestro

Comandante en Jefe Fidel Castro para el rescate de la voluntad hidráulica y el manejo integrado de las cuencas.

En nuestra provincia con la creación de la comisión provincial para la lucha contra la sequía, se ha venido trabajando con una serie de medidas para el enfrentamiento a estos fenómenos, proyectos de colaboración, proyectos de investigación, y un trabajo coordinado entre todos los organismos en especial el Instituto Nacional de Recurso Hidráulicos (INRH) y el Centro Universitario de Sancti Spíritus (CUSS).

El Río Yayabo símbolo de nuestra ciudad ubicado en la cuenca del Río Zaza sufre un proceso acelerado de contaminación, por el mal estado o la inexistencia de las redes de acueducto y alcantarillado y la falta de tratamiento para las Aguas Residuales Urbanas que se incorporan al cauce en altas concentraciones.

En la zona noreste de Sancti Spíritus (Camino de la Habana) las Aguas Residuales Urbanas no se recolectan con ningún sistema, por lo que estas corren por las calles donde tienen contacto con la población, y se incorporan al Río Yayabo delante de la toma del acueducto que abastece parte de la ciudad.

## **Definiciones.**

Agua Residual Urbana (ARU): Aguas residuales urbanas de la periferia de la ciudad donde predominan los desechos humanos con alta carga de materia orgánica que fluctúa en distintas horas del día y de la semana.

Ingeniería del agua posible (IAP): La ingeniería que copia de la naturaleza y se aplica con la participación popular con un mínimo de recursos disminuyendo la agresividad del hombre sobre el medio ambiente.

Canal Abierto de Saneamiento (CAS): Cañada por donde circulan las ARU en la zona norte del “Camino de La Habana”.

**1.1 Problema científico:** ¿Cómo influye el salto de agua, como una de las obras alternativas de ingeniería no convencional en la disminución de la contaminación en aguas residuales urbanas en el CAS de la zona noroeste de Sancti Spíritus (Camino de la Habana).

**1.2 Hipótesis:** Si construimos saltos de agua como una de las obras que mejoran la calidad del agua residual urbana en el CAS de la zona noroeste de Sancti Spíritus

(Camino de la Habana), disminuimos las cargas contaminantes que se incorporan al Río Yayabo.

**1.3 Objetivo general:** Comparar el efecto sinérgico del salto de agua en el mejoramiento de la calidad del ARU en el CAS del Camino de” La Habana”.

**1.4 Objetivos específicos:**

1. Caracterizar los parámetros hidráulicos del CAS.
2. Elegir y construir la Obra de IAP más factible dada las condiciones del área.
3. Evaluar parámetros antes y después de la obra de IAP construida.

## **2. Revisión bibliográfica.**

### **2.1 Monografía del agua**

#### **2.1.1 El agua.**

Según la enciclopedia en carta: **Agua**, nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno H<sub>2</sub>O. En un documento científico presentado en 1804, el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander von Humboldt demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en la fórmula actual H<sub>2</sub>O.

#### **2.1.2 Propiedades**

El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación alcanza del agua es de 0 °C y su punto de ebullición de 100 °C. El agua su densidad máxima a una temperatura de 4 °C y se expande al congelarse. Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos 25 °C sin que se

congele. El agua sobre enfriada se puede congelar agiténdola, descendiendo más su temperatura o añadiéndole un cristal u otra partícula de hielo. Sus propiedades físicas se utilizan como patrones para definir, por ejemplo, escalas de temperatura (Santana, 2006).

### **2.1.3 Estado natural**

El agua es la única sustancia que existe a temperaturas ordinarias en los tres estados de la materia, o sea, sólido, líquido y gas. Como sólido o hielo se encuentra en los glaciares y los casquetes polares, así como en las superficies de agua en invierno; también en forma de nieve, granizo y escarcha, y en las nubes formadas por cristales de hielo. Existe en estado líquido en las nubes de lluvia formadas por gotas de agua, y en forma de rocío en la vegetación. Además, cubre las tres cuartas partes de la superficie terrestre en forma de pantanos, lagos, ríos, mares y océanos. Como gas, o vapor de agua, existe en forma de niebla, vapor y nubes. El vapor atmosférico se mide en términos de humedad relativa, que es la relación de la cantidad de vapor de agua en el aire a una temperatura dada respecto a la máxima que puede contener a esa temperatura.

El agua está presente también en la porción superior del suelo, donde se adhiere, por acción capilar, a las

partículas del mismo. En este estado, se le denomina agua ligada y tiene unas características diferentes del agua libre. Por influencia de la gravedad, el agua se acumula en los intersticios de las rocas debajo de la superficie terrestre formando depósitos de agua subterránea que abastecen a pozos y manantiales, y mantienen el flujo de algunos arroyos durante los periodos de sequía (Santana, 2006).

#### **2.1.4 El agua en la vida.**

El agua es el componente principal de la materia viva. Constituye del 50 al 90% de la masa de los organismos vivos. El protoplasma, que es la materia básica de las células vivas, consiste en una disolución de grasas, carbohidratos, proteínas, sales y otros compuestos químicos similares en agua. El agua actúa como disolvente transportando, combinando y descomponiendo químicamente esas sustancias. La sangre de los animales y la savia de las plantas contienen una gran cantidad de agua, que sirve para transportar los alimentos y desechar el material de desperdicio. El agua desempeña también un papel importante en la descomposición metabólica de moléculas tan esenciales como las proteínas y los carbohidratos. Este proceso, llamado hidrólisis, se produce continuamente en las células vivas (Santana, 2006).

### **2.1.5 Ciclo natural del agua.**

La hidrología es la ciencia que estudia la distribución del agua en la Tierra, sus reacciones físicas y químicas con otras sustancias existentes en la naturaleza, y su relación con la vida en el planeta. El movimiento continuo de agua entre la Tierra y la atmósfera se conoce como ciclo hidrológico. Se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua, y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y precipita en forma de lluvia o nieve.

Al llegar a la superficie terrestre, el agua sigue dos trayectorias. En cantidades determinadas por la intensidad de la lluvia, así como por la porosidad, permeabilidad, grosor y humedad previa del suelo, una parte del agua se vierte directamente en los riachuelos y arroyos, de donde pasa a los océanos y a las masas de agua continentales; el resto se infiltra en el suelo. Una parte del agua infiltrada constituye la humedad del suelo, y puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas para ser transpirada por las hojas. La porción de agua que supera las fuerzas de cohesión y adhesión del suelo, se filtra hacia abajo y se acumula en la llamada zona de saturación para formar un depósito de agua subterránea, cuya superficie se conoce como nivel freático. En condiciones normales, el nivel freático crece

de forma intermitente según se va rellenando o recargando, y luego declina como consecuencia del drenaje continuo en desagües naturales como son los manantiales (Santana, 2006).

### **2.1.6 Composición**

Según Santana, (2006) debido a su capacidad de disolver numerosas sustancias en grandes cantidades, el agua pura casi no existe en la naturaleza. Durante la condensación y precipitación, la lluvia o la nieve absorben de la atmósfera cantidades variables de dióxido de carbono y otros gases, así como pequeñas cantidades de material orgánico e inorgánico. Además, la precipitación deposita lluvia radiactiva en la superficie de la Tierra.

El agua en su circulación por encima y a través de la corteza terrestre, el agua reacciona con los minerales del suelo y de las rocas. Los principales componentes disueltos en el agua superficial y subterránea son los sulfatos, los cloruros, los bicarbonatos de sodio y potasio, y los óxidos de calcio y magnesio. Las aguas de la superficie suelen contener también residuos domésticos e industriales. Las aguas subterráneas poco profundas pueden contener grandes cantidades de compuestos de nitrógeno y de cloruros, derivados de los desechos humanos y animales. Generalmente, las aguas de los

pozos profundos sólo contienen minerales en disolución. Casi todos los suministros de agua potable natural contienen fluoruros en cantidades variables. Se ha demostrado que una proporción adecuada de fluoruros en el agua potable reduce las caries en los dientes.

Las impurezas suspendidas y disueltas en el agua natural impiden que ésta sea adecuada para numerosos fines. Los materiales indeseables, orgánicos e inorgánicos, se extraen por métodos de criba y sedimentación que eliminan los materiales suspendidos. Otro método es el tratamiento con ciertos compuestos, como el carbón activado, que eliminan los sabores y olores desagradables. También se puede purificar el agua por filtración, o por cloración o irradiación que matan los microorganismos infecciosos. En la ventilación o saturación de agua con aire, se hace entrar el agua en contacto con el aire de forma que se produzca la máxima difusión; esto se lleva a cabo normalmente en fuentes, esparciendo agua en el aire. La ventilación elimina los olores y sabores producidos por la descomposición de la materia orgánica, al igual que los desechos industriales como los fenoles, y gases volátiles como el cloro. También convierte los compuestos de hierro y manganeso disueltos en óxidos hidratados insolubles que luego pueden ser extraídos con facilidad (Santana, 2006).

### **2.1.7 Distribución de las aguas.**

Distribución de las aguas en el planeta.

El 97,5 % es agua salada.

El 1,76 % está encerrada en casquetes polares y glaciares.

El 0,4 % es agua dulce (ríos, embalses, suelo, atmósfera, organismos)

El 0,3 % son aguas subterráneas.

Solamente el 0.007% de toda el agua del planeta es de fácil acceso (Santana, 2006).

### **2.1.8 Destino.**

- 69 % en la agricultura (la tradición agrícola tiene aproximadamente 10000 años). Se cultivan 1 600 millones de ha.

Se riegan 320 millones de ha (20 %) que requieren de 1,5 billones de m<sup>3</sup> de agua.

Las pérdidas debidas a la ineficiencia de los sistemas de riego ascienden al 60% del agua consumida.

08 % uso doméstico (se incrementa con la urbanización) por primera vez en la historia de la humanidad, las

ciudades tendrán mayor población que los campos y por consiguiente el consumo per cápita aumentaría.

Poblados de hasta 2 000 personas consume 300 L/día per cápita.

Urbes y megaurbes consumen más de 470 L/día per cápita.

Actualmente el volumen de agua por habitante es menor que la mitad hace 50 años:

Año 1950	16800 m <sup>3</sup> /persona /año
Año 2000	7300 "
Año 2025	4800 "

La extracción de agua aumenta a un ritmo 2 veces mayor que la población (Santana, 2006).

### **2.1.9 Situación Actual.**

Se ha estimado que un ser humano necesita en promedio 50 litros de agua por día para beber, cocinar, lavar, cultivar, sanear. Pero el derecho al agua, básico para cualquier criatura empieza a llegar gota a gota a millones de personas. Y este sonido de emergencia hace sólo unos años (el Foro Mundial del Agua celebró en marzo reciente

su tercera versión, en Kyoto, Japón) empezó a ser considerado internacionalmente como una constatación pavorosa de la ya no paulatina, sino vertiginosa escasez de agua en todo el planeta, surgida no sólo del crecimiento poblacional, sino de la estremecedora negligencia humana con todas sus consecuencias relacionadas.

El primer Foro Mundial del Agua celebrado en el año 2000 en La Haya, fijó como objetivo para el año 2015 reducir a la mitad el número de personas sin acceso al agua potable. Pero no incluyó planes para evitar su monopolio. Apenas sí se nombró el conflicto de la privatización de las fuentes de agua, destinado a ser uno de los más graves del siglo que empieza (García, 2008).

La situación mundial del agua continúa evolucionando de forma negativa, y se prevé que en el futuro sea aun mas grave, sobre todo si los problemas antes descritos se analizan considerando con profundidad el impacto del cambio climático. Un escenario de disponibilidad de agua estimado para el año 2025, basado fundamentalmente en las proyecciones del crecimiento de la población y de la demanda multisectorial, revela en síntesis lo siguiente: continuara incrementándose la demanda de agua para todos los consumos; el recurso hídrico será cada año mas costoso; la extracción del agua en el mundo aumentara

hasta 12.2 % y el uso del agua se incrementara entre 15-35 % en los países desarrollados y de 200 a 300 % en los llamados países en vías desarrollo (Fernández - Jáuregui, 2002).

Según la Comisión Mundial del Agua y otras fuentes, el consumo de agua aumenta el doble que la población. En la actualidad muchos ríos se usan tanto que se secan antes de alcanzar el mar; el exceso de extracción de agua está agotando los acuíferos antes de que se recuperen de forma natural; los humedales disminuyen su tamaño; y la contaminación hace que muchas fuentes de agua no sirvan ni para regar cultivos (FoEI, 2003).

El ciclo del agua es afectado y alterado por el cambio climático, el efecto de invernadero, la disminución de las reservas en glaciares y nieves perpetuas de las altas montañas, el deterioro de la capacidad de captación y almacenamiento de las cuencas hidrográficas a causa de la degradación de los suelos y cobertura vegetal, que genera periodos de sequía o inundaciones temporales. Las lluvias son cada vez menos predecibles y el cambio climático esta afectando el patrón de precipitaciones pluviales a nivel global; según algunos criterios, esto puede conducir al incremento de la temperatura y mayor escasez en las zonas áridas del mundo.

En realidad deberíamos prestar más atención al manejo de la humedad y la conservación en el suelo del agua proveniente de precipitación pluvial, así como la preocupación por recuperar o innovar las tecnologías de recolección y cosecha de agua, que concentraron solo en las grandes irrigaciones con grandes obras de infraestructura hidráulica.

En realidad, son tecnologías mucho mas accesibles y económicamente factible para los pequeños agricultores con capacidad de gestión colectiva para el acceso, recolección y canalización del agua, con los que se obtienen impactos mayores que muchos proyectos de infraestructura del agua, diseñados y construidos por instituciones públicas o privadas (Bueno de Mesquita, 2003).

La evaluación de los posibles impactos, la adaptación y vulnerabilidad de la región de América Latina ante el cambio climático. Es probable que para la década del 2020, entre 7 y 77 millones de personas sufran la falta de abastecimiento de agua apropiado. Para la segunda mitad del siglo XXI, la reducción potencial de la disponibilidad de agua y la demanda creciente de la población regional podrían aumentar esta cifra entre 60 y 150 millones. Es probable que cualquier reducción futura de las

precipitaciones en las regiones áridas y semiáridas de Argentina, Chile y Brasil conduzca a una escasez severa de agua. Por otra parte, en los próximos 15 años, es muy posible que los glaciares intertropicales desaparezcan, y se reduzca la disponibilidad de agua y generación de energía hidroeléctrica en Bolivia, Perú, Colombia y Ecuador (IPCC.2007 b)

En el mismo artículo se arriba a un conjunto de conclusiones sobre los impactos, la adaptación y la vulnerabilidad de las pequeñas islas al cambio climático. Es probable que el aumento de las temperaturas y la disminución de la disponibilidad de agua a raíz del cambio climático incrementen el peso de las enfermedades infecciosas y diarreicas en algunos de los pequeños territorios insulares (Gitay, 2002).

Actualmente el 50% de la población mundial tiene insuficiente acceso al agua potable de calidad y el 60% de las enfermedades en los países pobres tiene como causa el uso de agua de mala calidad o con saneamiento deficiente que causa la muerte de 2.2 millones de personas al año (Bueno de Mesquita, 2003).

En resumen, el agua es sencillamente demasiado importante para las condiciones de vida y el sustento de la gente y para el medio ambiente global como para que se

descuide por más tiempo. Hay que actuar ahora, y dicha acción debe incluir la protección de todas las fuentes de agua dulce y la conservación del agua dulce en todos sus usos (FoEI, 2003).

Los problemas del Medio Ambiente tienen que ser una preocupación colectiva y la solución de las mismas transita por el trabajo conjunto, por ello es vital la coordinación y cooperación en todos los involucrados. Uno de los objetivos fundamentales del trabajo ambiental cubano, es lograr mediante una adecuada educación ambiental, la participación social y ciudadana de manera dirigente y sistemática (González y col., 1998).

Extensa sería la archifamosa lista de los problemas ambientales que enfrenta la especie humana en el siglo XXI, entre los más recurrentes: la deforestación, la pérdida de la diversidad biológica, la degradación de los suelos, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, el abasto de agua potable, la proliferación de enfermedades infesto-contagiosas producto al deterioro ambiental de los asentamientos humanos, todo resultado de un proceso histórico donde ha prevalecido un modelo consumista, en el que la naturaleza se ha visto de modo utilitarista, como proveedora de recursos y como enorme basurero capaz de absorber todos nuestros desperdicios (Puerta, 2007).

## **2.2 Generalidades del país.**

### **2.2.1 Descripción de Cuba.**

El territorio de la República de Cuba es considerado, desde el punto físico-geográfico como un archipiélago. El país posee mas de 200 ríos, de corto curso, que bajan directamente hasta el mar; entre ellos sobresale: El Cauto, que es el más largo; El Toa, el más caudaloso, el Zaza, el Sagua la grande, el Jatibonico del Sur y del Norte, y el Alabama. El litoral de Cuba, de 3500 Km. de largo, presenta un contorno sinuoso, en el que se destacan al sur: Los Golfos de Guacanayabo y Batabano y las Bahías de Guantánamo, Santiago de Cuba y la de Cienfuegos; al Norte: Las Bahías del Mariel, Bahía Honda, La Habana y Nipe. Cuba tiene una posición estratégica de gran relevancia, puesto que dominan los accesos marítimos importantes: El canal de La Florida (180 Km.), El paso de los vientos (77km) y el estrecho de Yucatán (210 Km.).Esta separada de la Isla de Jamaica por el estrecho de Colón (140 Km.) (González y col., 1998).

### **2.2.2 Recursos hidráulicos.**

Las aguas terrestres transportan sustancias orgánicas e inorgánicas necesarias para los organismos terrestres, fluviales y marinos. Algunas sustancias químicas, la materia orgánica, los nutrientes, minerales en exceso, pueden producir efectos desfavorables a tales organismos y sus hábitats; de ahí la necesidad de tener en cuenta estos aspectos durante el planteamiento, manejo y explotación de los recursos hidráulicos que van a satisfacer las demandas de las necesidades económicas de la población (Arellanos y col., 1998).

La cuenca hidrográfica, como ecosistema complejo con múltiples interacciones,

tienen asociados ecosistemas terrestres y acuáticos que están vinculados, espacial y funcionalmente, con características biofísicas, sociales, económicas y culturales muy específicas. Las cuencas cumplen un rol crítico en el funcionamiento de los ecosistemas, articulando a los ecosistemas terrestres, de aguas continentales y marinas, suministrando el hábitat de la mayor parte de las especies y una amplia gama de servicios ambientales. En ellas ocurren múltiples factores desequilibrantes que generan complicaciones causa-efecto y que, además, se desarrollan de manera acumulativa y sinérgica (Andrade, 2004).

Los recursos hidráulicos potenciales (RHP) del archipiélago cubano se evalúan en un total de 38,1 km<sup>3</sup>, de ellos 6,4 subterráneos en 165 unidades hidrogeológicas y 31,7 superficiales en 632 cuencas hidrográficas (Voluntad Hidráulica, 2002).

### **2.2.2.1 Abasto y saneamiento.**

Las principales fuentes de abasto a las provincias de Pinar del Río, Habana, C. de la Habana, Matanzas, Ciego de Ávila y la Isla de la Juventud están constituidas por un conjunto de fuentes de abasto subterráneas (pozos), y las provincias de Villa Clara, Cienfuegos, Sancti Spíritus, Camagüey, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo utilizan como fuente principal de suministro de agua para consumo humano aguas superficiales, las cuales son sometidas a tratamiento convencional.

En Cuba existe un Programa Nacional de acción para los Sectores de Agua Potable y Saneamiento que reúne los esfuerzos para resolver el serio problema de la población que aún no cuenta con estos servicios. El programa plantea la necesidad de emplear de forma extensa soluciones apropiadas al lugar que se caracterice por un amplio uso de materiales locales y de bajo costo fáciles de construir, operar, mantener, y permitir también la introducción de nuevas tecnologías.

Se cierra el año 2002 con 1728 instalaciones de cloración, 161 de cloro gas y 1567 de hipoclorito, 306 más que el año pasado (CITMA y col., 2003).

Provincias	Plantas potabilizadoras
Pinar del Río	11
La Habana	5
Ciudad Habana	1
Matanzas	0
Cienfuegos	6
Villa Clara	3
Sancti Spíritus	4
Ciego de Ávila	0
Camagüey	6
Las Tunas	5
Holguín	5
Granma	4
Santiago de Cuba	6
Guantánamo	1
Isla de la Juventud	0
Total	57

El concepto de saneamiento puede sintetizarse mediante una definición, exclusivamente cualitativa, el saneamiento es un campo de la Ingeniería cuyo objetivo es la recogida y transporte del agua residual y el tratamiento tanto de estas como de los subproductos generados de forma que su evacuación produzca el mínimo impacto en el Medio Ambiente.

Las labores de mantenimientos para los sistemas de tratamientos de aguas residuales incluyen:

Corte periódico de la vegetación de los taludes y atención a la cobertura vegetal.

-Eliminación de la vegetación del vaso de la laguna (flotante o emergente).

-Limpieza periódica y reparación de las estructuras de entrada y salida y registros de la distribución de flujo.

-Remoción de capas de espumas y natas flotantes.

-Reparación de evidencias o síntomas de erosión en los taludes y coronas del dique.

-Pintura de las instalaciones.

-Limpieza cada cierto numero de años de acuerdo con el grado de asolvamiento que presenta las lagunas (Arellanos y col., 1998).

El tratamiento de aguas albañales alcanzó 227.8 millones de metros cúbicos para un 40.01% de tratamiento, superior al año anterior en 5.4%.

Existen en la actualidad 8 plantas depuradoras de aguas residuales, 2 menos que el pasado año. Se cuenta con 324 sistemas de lagunas de estabilización de un total de 374 lagunas que pertenecen al INRH.

Se trabaja por el logro de la rehabilitación de nuevas lagunas de oxidación. Es necesario señalar que las existentes presentan una situación crítica debido a los años lo que unido a limitaciones por combustible, ha sido la causa principal de que no se alcancen los incrementos deseados en los objetivos propuestos (CITMA y col., 2003).

Plantas depuradoras de aguas residuales.

Provincia	Planta depuradora	Nombre de la Institución	Capacidad(L/s)
La Habana	1	Bejucal	90

Ciudad Habana	2	María del Carmen Quíbu.	600 1500
Matanzas	3	Palmeras Taínos I Siguapa.	11 17 45
Ciego de Ávila	1	Cayo Guillermo	60
Santiago de Cuba	1	La Cuba	40
Total	8	-	1013

Cobertura de tratamiento a nivel nacional (2006).

## Cobertura nacional.

El saneamiento en Cuba se garantiza mediante sistemas públicos de alcantarillado o la evacuación doméstica a través de fosas, tanques sépticos y letrinas. La estrategia que se desarrolla permite incorporar paulatinamente estos afluentes de las fosas de las ciudades y poblaciones importantes al alcantarillado existente o que se construya (RDCAL, 2006).

## Cobertura por tipo de servicio (2000-2005).

### **2.2.3 Calidad.**

La disponibilidad de agua dulce de calidad, agravada por las múltiples formas de contaminación, a generado una situación de deterioro y escasez que impide la satisfacción

de la demanda proveniente de los diferentes tipos de usuarios del agua, tanto urbana como rurales (Bueno de Mesquita, 2003).

Debido al alto costo de beber agua y el hecho que el agua no siempre está disponible, las industrias usan cada vez más el agua de la superficie para su agua del alimento en la planta. Normalmente el agua de la superficie necesita ser tratada antes de que tenga la calidad de agua requerida (Anónimo (a), 2008).

A partir de la comprensión del papel que tiene la observación sistemática de la calidad de las aguas y el control de las descargas contaminantes en relación con la protección de los recursos hidráulicos, se diseña en 1982 la Red Nacional de Observaciones de la Calidad de las Aguas, la cual, desde sus orígenes, tuvo como objetivos:

1. Monitorear el estado de la calidad de las aguas naturales terrestres.
2. Identificar, evaluar y controlar las descargas de fuentes contaminantes, como forma de conocer las causas de la pérdida de calidad de los recursos hídricos y de determinar cuales acciones se deben emprender para remediar tal situación.

Distribuidas convenientemente en todo el país y ubicadas teniendo en cuenta las diferentes cuencas hidrográficas y acuíferos, permiten evaluar los niveles naturales de calidad, el estado de estos cuerpos hídricos, sus tendencias, etc. y, conjuntamente con los inventarios de fuentes contaminantes, identificar las causas del deterioro de los recursos hidráulicos (Anónimo (b), 2008).

Esta red, operada por el INRH, está compuesta por estaciones de diferentes tipos:

Total de Estaciones de la REDCAL -----	2
338	
Estaciones de Aguas Superficiales -----	
778	
Estaciones de Aguas Subterráneas -----	1
560	

Estas 2 338 estaciones pueden ser de:

Básicas de Monitoreo-----	1488
Control y Vigilancia -----	850

En las estaciones se realizan aproximadamente un total de 75 358 determinaciones a diferentes parámetros físico-químicos y bacteriológicos durante el año, para conocer las variaciones en la calidad de las aguas según su uso que

permita tomar medidas necesarias en caso de pérdida de calidad según el uso de dicha fuente (RDCAL, 2006).

### **2.3 Contaminación.**

De manera general, se considera como contaminantes al exceso de materia o energía que provoque daño a los humanos, animales, plantas y bienes, o que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca o dentro del agua (Jiménez, 2001).

El término agua negra, más comúnmente utilizado en plural, aguas negras, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación (Anónimo (c), 2008).

Los contaminantes de las aguas de superficies pueden deteriorar o destruir la vida acuática, amenazar la salud humana, dañar la vida silvestre y perjudicar las operaciones industriales. Estos contaminantes provienen directamente de los asentamientos humanos, las industrias, y las actividades agropecuarias.

Los signos más evidentes de contaminación acuática, los lagos cubiertos de agua, los residuos flotantes, la alteración del color de agua y los malos olores, pueden indicar una tensión de ese medio, los contaminantes químico-tóxicos son un problema menos visible y más persistentes (Abó y col., 1998).

Al cierre del año 2002 el Inventario Nacional de Fuentes Contaminantes identificaba 2047 fuentes contaminantes principales, las cuales en su conjunto disponían alrededor de 203 331 T de materia orgánica biodegradable a las aguas terrestres y zonas marino- costeras.

Del total de cargas reducidas en el año, la mayor contribución (32.3%) correspondió al Ministerio de la Industria Alimenticia, seguido por el Ministerio de la Industria Azucarera (27.8%) y el Ministerio de la Agricultura (27%) (CITMA y col., 2003).

### **2.3.1 Otros contaminantes.**

CEOSS, una ONG capta en Egipto, está dando pasos importantes en el proceso de cambio hacia el incremento de la autonomía de las comunidades con las que se trabaja. Concentrando los desperdicios orgánicos del hogar, el estiércol y la orina en una fosa dentro del establo han podido producir un fertilizante orgánico que posiblemente

tenga mayor contenido de nitrógeno que el estiércol tradicional. El reciclaje de los desperdicios a través de establos mejorados ha permitido a las mujeres un ahorro de tiempo, mejorar sus condiciones de salubridad, así como la oportunidad de obtener ingresos (Sacaria y col., 1998).

Según datos de la oficina de planificación Territorial y Servicios Comunes del Ministerio de Economía y Planificación (MEP), el volumen total de residuos sólidos recolectado durante el año 2002 fue de 23 430 miles de m<sup>3</sup> (mm<sup>3</sup>), 991 más que en el 2001. De ellos 15 770.4 mm cuentan con tratamiento sanitario. Existen un total de 802 vertederos, 432 de los cuáles cuentan con tratamiento sanitario. Por otra parte existen 315 vertedero con relleno sanitario manual y 256 áreas verdes con mantenimiento aplicado (224306 mm<sup>2</sup>) (CITMA y col., 2003).

Se asignan con arreglo a los criterios establecidos en el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, «Infeccioso»: se aplica a sustancias que contienen microorganismos viables, o sus toxinas, de los que se sabe o existen razones fundadas para creer que causan enfermedades en el ser humano o en otros organismos vivos (Real Decreto, 1995).

### **2.3.2 Focos contaminantes.**

La contaminación de las aguas terrestres y marinas esta provocada en gran medida, porque la casi totalidad de las industrias heredadas al triunfo de la Revolución, carecían de sistema de tratamiento de residuales (González y col., 1998).

Entre las principales causas del origen de la contaminación en Cuba se identifican:

1-Estado deficiente de las redes de alcantarillado y su carácter parcial en la mayoría de los casos.

2-Insuficiente cobertura de tratamiento de residuales.

3-Elevado déficit de mantenimiento y atención a la operación de los sistemas de tratamiento existentes.

4-Obsolescencias tecnológicas y baja disciplina.

5-Incumplimiento de la normatividad y la legislación ambiental vigente.

6-Insuficiente utilización de prácticas de producción más limpia y aprovechamiento económico de residuales.

7-Insuficiente ejecución de programas de monitoreo y caracterización de residuales (Abó, 1998).

En la actualidad, persisten problemas localizados de contaminación de aguas superficiales y subterráneas

debido a prácticas inapropiadas de manejo de residuales, fundamentalmente pecuarios y azucareros, todo lo cual ha determinado aumentos excesivos del contenido de nutrientes y materia orgánica en las aguas, con el consiguiente incremento de la vegetación acuática, muerte de peces, ausencia de oxígeno disuelto, malos olores por la descomposición anaeróbica y contaminación de las aguas destinadas al consumo para las diferentes actividades económicas, entre otras afectaciones.

Entre las determinaciones realizadas a los focos contaminantes se encuentran:

PH, DBO5,

Sólidos sedimentables, Gasto líquido, Nitrógeno. Fósforo total. Todos los tipos de sólidos. Oxígeno disuelto. Conductividad eléctrica. Grupo de bacterias, coliformes totales y fecales. Demanda química de oxígeno. Amonio. Nitrito.

En relación con las ocho cuencas hidrográficas de interés nacional y tomando en consideración la carga orgánica estimada como DBO5 en toneladas/día se puede apreciar el nivel de depuración a que están sometidas las aguas residuales vertidas en dichas cuencas hidrográficas. En la actualidad se trabaja en la solución de los sistemas de

depuración de las actividades económicas que constituyen focos contaminantes en dichas cuencas (RDCAL, 2006).

Focos contaminantes que afectan los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas (2006).

Focos contaminantes de acuerdo a la actividad económico-social (2006).

### **2.3.3 Riesgos para la salud.**

En América Latina el 98 % de la población carece de sistemas adecuados de saneamiento de efluentes domiciliarios y la relación de causalidad entre la contaminación de las aguas subterráneas y las enfermedades hídricas ya no es un riesgo, es un problema grave en todo nuestro continente.

Debido a esta situación, que ya se ha transformado en causal de enfermedades de transmisión hídrica y en un riesgo para la salud de poblaciones rurales, el desarrollo de sistemas alternativos de tratamiento que no contaminen las aguas subterráneas, que no afecten la salud pública, que permitan el rehuso de las aguas depuradas y que puedan ser construidos por los vecinos de la zona, es un esfuerzo muy justificable.

Más allá de tratar a las personas enfermas y de desarrollar campañas de educación, romper el círculo vicioso de infección y reinfección exige tomar medidas preventivas donde se inicia el problema: en el tratamiento de las aguas cloacales (Latchinian y col., 2008).

Uno de los aspectos que se impulsó por su importancia sanitaria fue la calidad microbiológica del agua, tanto de consumo como de riego. El código alimentario argentino (CAA) establece como límite para los coliformes totales (CT) en agua para consumo humano un valor igual o inferior a 3 nmp /100 ml y recomiendan un máximo de 500 bacterias mesófilas / ml, ausencia de *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* en 100 ml de agua (De Lucas, 2007).

### **2.3.3.1 Agentes patógenos.**

Son aquellos que ocasionan enfermedades. En general son bacterias, virus, protozoarios y gusanos que entran al agua proveniente del drenaje doméstico y de los desechos animales. Un indicador de la calidad del agua para beber o nadar es el número de bacterias coliformes presentes en una muestra de 100 mililitros de agua. La Organización Mundial de la Salud recomienda una cuenta de 0 colonias de dichas bacterias por 100 mililitros de agua para beber y para nadar un máximo de 200 colonias por 100 mililitros de

agua. Las fuentes de estos agentes pueden ser el excremento tanto humano como animal.

Algunas enfermedades comunes que son transmitidas a los seres humanos por medio de agua contaminada y su clasificación por el tipo de organismo que las provoca; así como sus efectos se presentan a continuación:

Tipo de Organismo	Enfermedad	Efectos
Bacterias	Fiebre Tifoidea	Diarrea, vómito y bazo crecido. Puede ser mortal
	Cólera	Diarrea, vómito y deshidratación. Puede ser mortal
	Disentería bacteriana	Diarrea. Raramente es mortal
	Enteritis	Dolor estomacal severo, náusea y vómito. Rara vez es mortal
Virus	Hepatitis infecciosa	Fiebre, dolor de cabeza, pérdida de apetito, dolor abdominal, temblores y daños permanentes al

		hígado. Puede ser mortal
	Poliomielitis	Fiebre alta, dolor de cabeza, dolores musculares y parálisis en piernas y brazos
Protozoarios parásitos	Disentería amibiana	Diarrea severa y puede causar perforaciones intestinal y muerte
	Guardia	Diarrea, calambres abdominales, fatiga y gases
Gusanos parásitos	Esquistosomiasis	Dolor abdominal, anemia, fatiga crónica y mala salud

(TYLER, 1994).

### **2.3.2.2 La criptosporidiosis.**

La criptosporidiosis es una enfermedad oportunista causada por el parásito *Cryptosporidium parvum*, presente en algunas comidas o en agua contaminada. Se puede transmitir por vía sexual anal u oral, por nadar en aguas contaminadas con heces humanas o por consumir ostras

en mal estado. Suele producir síntomas como náuseas, vómitos, diarrea (Anónimo (d), 2008).

## **2.4 Tratamiento de aguas residuales.**

Una de las principales responsabilidades del gobierno local es proveer el agua potable y el tratamiento de desperdicios.

Hay pocas figuras confiables en la parte de las aguas residuales recogidas en alcantarillas que están siendo tratadas en el mundo. En muchos países en vías de desarrollo el bulto de aguas residuales domésticas e industriales se descarga sin ningún tratamiento o después del tratamiento primario solamente. En América latina cerca del 15% de aguas residuales recogidas pasa a través de las plantas de tratamiento (con niveles que varían del tratamiento real) (Heredia, 2008).

Toda agua servida o residual debe ser tratada tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida debemos conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para que los ingenieros expertos en tratamiento

de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se está produciendo.

Una Planta de tratamiento de Aguas Servidas debe tener como propósito eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna de manera que el agua sea dispuesta en el ambiente en forma segura. El proceso, además, debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta. Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella.

#### **2.4.1 Sustancias químicas (composición).**

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc. Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y

aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones. La concentración de orgánicos en el agua se determina a través de la DBO5, la cual mide material orgánico carbonáceo principalmente, mientras que la DBO20 mide material orgánico carbonáceo y nitrogenado DBO2.

Influencias en el medio receptor.

Vertido de sustancias orgánicas degradables: producen una disminución del oxígeno disuelto, ya que los microorganismos que degradan la materia orgánica consumen oxígeno para su oxidación. Si la demanda de oxígeno es superior a la aireación por disolución de oxígeno atmosférico, se puede llegar a un ciclo anaerobio: se consume oxígeno combinado en lugar de molecular, creándose un ambiente reductor, con la aparición de amoníaco, nitrógeno y ácido sulfhídrico, y la reducción de sulfatos a sulfuros; el agua se torna oscura, de olor desagradable y con gérmenes patógenos. Incorporación de compuestos tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Eliminan los organismos depuradores, o bien inhiben su desarrollo impidiendo reacciones enzimáticas. Intoxican también el pene a varios niveles de la cadena trófica, desde microorganismos hasta animales superiores.

Incorporación de materia en suspensión, que reduce la entrada de luz y atasca los órganos respiratorios y filtros de muchos animales.

Alteración del equilibrio salino (balance en sodio, calcio, etc.) y del pH.

Análisis de aguas residuales.

El método más usado es el de la demanda biológica de oxígeno, que se simboliza DBO. La DBO se define como la cantidad de oxígeno usada por la materia orgánica en la estabilización del agua residual o servida en un período de 5 días a 20° C. El concepto de DBO es muy usado y, por lo tanto, se requiere una especial comprensión del mismo. Aquí vamos a dar un ejemplo:

Oxígeno disuelto al término (60 mg/100ml).

Esto indica que la Oxígeno disuelto al inicio (100 mg/100ml).

DBO del agua en estudio es de 40 mg/100ml. Mientras mayor sea la DBO mayor será la cantidad de materia orgánica disuelta en el agua servida. En general las aguas potables no superan los 5 mg/100ml pero las aguas servidas pueden tener 300 mg/100ml (Anónimo (c), 2008).

## **2.4.2 Tratamiento de ARU con tecnologías convencionales**

### **2.4.2.1 Etapas del tratamiento del agua residual.**

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: preparamiento, primaria, secundaria y terciaria. Algunos autores llaman a las etapas preliminar y primaria unidas como etapa primaria.

Las ARU pueden ser tratadas de forma convencional y no convencional la etapa convencional consta de varias etapas.

#### **Etapas primaria:**

Las estructuras encargadas de esta función son los estanques de sedimentación primarios o clarificadores primarios. Habitualmente están diseñados para suprimir aquellas partículas que tienen tasas de sedimentación de 0,3 a 0,7 mm/s. Asimismo, el período de retención es normalmente corto, 1 a 2 h. Con estos parámetros, la profundidad del estanque fluctúa entre 2 a 5 m.

En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70% de los sólidos en suspensión. En la mayoría de las plantas existen varios sedimentadores primarios y su forma puede ser circular, cuadrada a rectangular.

### **Etapa secundaria:**

Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

### **Etapa terciaria:**

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en curso de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona. No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará (Anónimo (c), 2008).

### **2.4.3 Tratamientos no convencionales**

Tecnologías no convencionales. Los objetivos de los sistemas pequeños y de sistemas de descentralizado son:

- Proteger la salud pública.
- Proteger la degradación o de la contaminación del medio ambiente receptor.

Reducir los costos de tratamientos mediante la retención de agua y a sólidos cerca de su punto reutilizándolo. El sistema de centralizado de manejo de ARU puede definirse como la recolección, tratamiento y vertimiento o reutilización de las misma provenientes de hogares, conjunto habitacionales, comunidades aisladas, industrias o instituciones así como también de sectores existentes cerca del sitio de generación de residuos (Lebrato y col.,(2004).

Según Lebrato y col.,( 2004). Las situaciones en que la gestión descentralizada de ARU debe considerarse o seleccionarse son:

1. Cuando la gestión y la operación de los sistemas locales existentes debe ser mejoradas.
2. Cuando los sistemas individuales locales han fracasado y la comunidad no pueden afrontar el costo de un sistema convencional de manejo de ARU.
3. Cuando la comunidad o las instalaciones están distantes de otro alcantarillado existente.

4. Cuando las oportunidades de reutilización de agua son posible.
5. Cuando el agua fresca para abastecimiento es escasa.
6. Cuando la capacidad de la planta de tratamiento de ARU es limitada y no se dispone de financiación por una ampliación.
7. Cuando, por razones de tipo ambiental, la cantidad de efluentes vertidos debe ser restringido.
8. Cuando la ampliación de las instalaciones de recolección y tratamiento implican una interrupción innecesaria de las actividades de la comunidad.
9. Cuando las condiciones locales y ambientales que exigen un tratamiento adicional de las AR o el transporte de las mismas esta n aisladas de cierta zona.
10. Cuando la densidad residencial es baja.
11. Cuando los constituyentes específicos de las ARU son tratados o alterados en forma más apropiada en el punto de generación.

#### **2.4.4. Las plantas emergentes en la depuración de efluentes.**

En los Sistemas Naturales del tipo de canales con plantas emergentes, la totalidad de las aguas cloacales que entran al sistema se depuran, transformando la materia orgánica del efluente en biomasa vegetal y obteniéndose agua con calidad de riego.

El Sistema Natural desarrollado por los autores para viviendas del área rural, es del tipo Sistema de Flujo Subterráneo (SFS), en los que todo el flujo se canaliza bajo la superficie, por lo que no habrá mal olor ni feo aspecto. Se considera que entre las plantas posibles de ser utilizadas en los SFS, la más adecuada para el caso que nos ocupa es la *Typha sp* (carrizo, enea o totora, entre otros nombres vernáculos), aunque papiros y lirios pueden acompañarla en el diseño del jardín.

##### **2.4.4.1 SFS con plantas emergentes.**

Un sistema natural de depuración de efluentes debe cumplir cuatro condiciones sustanciales:

Prevención de enfermedades: El sistema de depuración debe asegurar la reducción de organismos patógenos a límites seguros.

Protección ambiental: El sistema de depuración debe prevenir la contaminación y proveer agua con calidad de riego.

Autoconstrucción y fácil mantenimiento: Debe ser de fácil construcción y mantenimiento, considerando los límites de la capacidad técnica local y la escasez de recursos económicos.

Aceptable: Se debe integrar estéticamente al entorno, respetando los valores culturales y sociales.

En síntesis, los mecanismos de depuración de las aguas cloacales en un SFS domiciliario se pueden ordenar de la siguiente forma:

Separación física por sedimentación y flotación en la cámara de pretratamiento.

Digestión biológica de la materia orgánica separada, en la cámara de pretratamiento.

Retención física de los sólidos, en el substrato del canal (pedregoso).

Digestión biológica de los sólidos retenidos, por la microflora intersticial del substrato.

Adsorción y absorción de nutrientes por las plantas emergentes.

Eliminación de patógenos por modificaciones del micro-hábitat radicular.

#### **2.4.4.2 Diseño y construcción del Sistema Natural.**

Los autores de este artículo han diseñado e instalado Sistemas Naturales del tipo SFS en distintas localidades de Uruguay, en viviendas, establecimientos de producción lechera, escuelas rurales, complejos turísticos entre otros, consolidándose rápidamente como experiencias exitosas, mejorando la calidad de vida de las poblaciones locales.

Con la finalidad de facilitar la construcción del SFS los autores consideran la DBO<sub>5</sub>, 20° (Demanda Bioquímica de Oxígeno) como único parámetro de diseño ya que el mismo guarda una relación suficientemente estable con los parámetros ambientales y sanitarios de interés.

A la hora de construir un SFS se deben tener en cuenta:

- Orientación geográfica que garantice la mayor cantidad de luz natural por día.
- Permeabilidad y granulometría del suelo para definir el tipo de impermeabilización a realizar en el fondo del canal.

- Existencia de raíces de árboles que puedan perforar el canal.
- Pendientes naturales del terreno para realizar el menor movimiento de tierra posible.
- Integración estética del SFS al entorno.

a) Extracción de plantas emergentes:

- Se extrae la planta en el terrón con una pala, sin dañar rizomas ni cortar raíces.
- Se cortan las hojas dejando solo brotes nuevos y yemas.
- Se cortan los rizomas en trozos de aproximadamente 20 cm.
- Se enjuagan los trozos de rizoma en un recipiente con agua del lugar.
- Se los transporta en ambiente húmedo y sombreado (envueltos en papel periódico mojado).

b) Procedimiento de siembra:

- Se riega abundantemente el pedregullo del canal hasta el encharcado del agua.

- Se plantan los rizomas a razón de 4 plantas por m<sup>2</sup>, en la posición en que se encontraban en su medio natural (arriba y abajo).
- Se cubren los rizomas con una fina capa de pedregullo, dejando yemas y tallos afuera.
- Se agrega agua al canal hasta inundar las raíces que salen de los rizomas.

#### c) Mantenimiento del SFS:

- Una vez que las hojas de las plantas se hayan elevado cerca de 50 cm del nivel del canal se cubrirá la superficie del mismo con 10 cm de arena gruesa y se dejará que las plantas continúen creciendo.
- Se dejará crecer las plantas libremente, sin necesidad de realizar manejo alguno, hasta que se verifique una reducción en el caudal de salida del sistema.
- Al constatarse la reducción del caudal (obstrucción por exceso de raíces) se extraerán algunos rizomas para recuperar caudal.
- Una vez que se establezca la densidad óptima de plantas, el sistema se equilibrará siendo la cosecha muy esporádica

y sólo se deberán considerar los aspectos paisajísticos (Latchinian y Ghislieri, 2008).

#### **2.4.4.3 Plantas acuáticas.**

Distinguimos 4 tipos de plantas acuáticas y un quinto grupo adicional de plantas recomendables para ubicar próximas a un estanque. Estos son los tipos:

1. De aguas profundas.
2. Flotantes.
3. Oxigenadoras.
4. De ribera o palustres.
5. Para cerca del estanque.

#### **Oxigenadoras**

- Estas plantas no tienen una función decorativa en los estanques, aunque sí en los acuarios.
- Sirven para mantener el agua clara. Sus hojas absorben los minerales y el dióxido de carbono y esto dificulta el desarrollo de las algas.

- Permanecen completamente sumergidas excepto las flores, que pueden salir a la superficie.
- Debe colocarse 1 planta oxigenadora por cada 0,3m<sup>2</sup> de superficie de estanque. Lo mejor es una mezcla de varias especies.
- Crecen muy rápidamente por lo que debes controlar su desarrollo (Anónimo (e), 2008).

#### **2.4.4.4 Oxigenadoras, plantas acuáticas sumergidas.**

Pasan casi desapercibidas a la vista y son fundamentales en los estanques, pues son quienes mantienen el equilibrio biológico del ecosistema acuático. Incorporando las sales disueltas en el agua, producen oxígeno en grandes cantidades, de esta manera controlan el crecimiento de las algas. Sirven de refugio a los peces habitantes del estanque y sus raíces se desarrollan en el limo del fondo (Anónimo (f), 2008).

#### **2.4.4.5. Flotantes, plantas acuáticas sumergidas.**

Su función es bloquear la luz que penetra bajo la superficie del agua, estas plantas flotan sobre la superficie

y se desplazan continuamente con la mínima brisa, dando movimiento en el espejo de agua (Anónimo (g), 2008).

#### **2.4.4.6 Macrofitas en flotación.**

Los sistemas que utilizan plantas macrofitas acuáticas se basan en un monocultivo o policultivo de plantas superiores (macrofitas) dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos. Aunque realizan normalmente tratamientos terciarios del agua que reciben, pueden incluso llegar a realizar tratamientos secundarios. Las propias plantas suministran el oxígeno al proceso de depuración que se realiza en el sistema radicular. Las propias plantas degradan, absorben y asimilan en sus tejidos los contaminantes, pero también proporcionan una extensa superficie donde se posibilita el crecimiento bacteriano y se filtran los elementos sólidos en suspensión.

Ventajas del sistema Filtros de Macrofitas en Flotación:

-Economía y facilidad de implantación.

Mayor rendimiento de depuración, ya que todo el sistema radicular está bañado por el efluente y todo el efluente circula por la malla depuradora.

-Facilidad de cosecha de la biomasa, tanto aérea como sumergida. No implica la destrucción del sistema como en el caso de los sistemas con plantas enraizadas.

Por otra parte, una vez estabilizado el sistema, se produce una gran cantidad de biomasa, que debe ser retirada mediante cortes periódicos para que el sistema siga bombeando nutrientes. Esta biomasa alcanza los 2,23 Kg/m<sup>2</sup> de materia seca anual de la parte aérea para el caso de la enea (*Typha latifolia*L.), y puede ser utilizada en alimentación ganadera o con fines energéticos (un metro cuadrado de canal produce igual poder calorífico que un litro de petróleo. También se almacenan anualmente 1 kg/m<sup>2</sup> de azúcares y almidón en los rizomas, que podrían ser utilizados en la producción de etanol (Universidad Politécnica de Madrid, 2008).

#### **2.4.5 Biodigestores (laguna).**

El objetivo primordial de estas lagunas es la reducción de contenidos de sólidos y materia orgánica de aguas residuales, y no la obtención de un efluente de alta calidad. Por esta razón, las lagunas anaerobias operan en serie con lagunas facultativas y de maduración.

La depuración la realizan bacterias anaerobias. Trabajan con muy poco oxígeno o con ninguno (Lebrato y col.,2004)

### **2.4.6 Diagrama de humedal artificial.**

Los Humedales Artificiales se basan en la utilización de plantas emergentes para la depuración de las aguas residuales, reproduciendo artificialmente las condiciones propias de las zonas húmedas naturales.

Las plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.), son plantas anfibas que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo, que presentan una elevada productividad y que toleran bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en suelos encharcados, al poseer canales o zonas de aireación (aerénquima), que facilitan el paso del oxígeno (producido por fotosíntesis) hasta las raíces.

Tecnologías funcionamiento.

El efluente que se aplica a los Humedales Artificiales se somete, generalmente, a un pretratamiento (rejas de desbaste y desengrasado) y un tratamiento primario (habitualmente en Tanques Imhoff).

Ventajas:

Sencillez operativa, al limitarse las labores de explotación a la retirada de residuos del pretratamiento y al corte y retirada de la vegetación una vez seca

Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos

El sistema puede operar sin ningún consumo energético.

El agua residual llega por gravedad a la estación de tratamiento.

Perfecta integración en el medio rural.

En el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial se evita el contacto de personas y animales con las aguas residuales.

Inconvenientes:

Exige una mayor superficie de terreno para su implantación que las Tecnologías Convencionales de depuración (Anónimo (h), 2008).

## **2.5 Biodegradabilidad.**

La biodegradabilidad es la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular) y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos.

La degradación de estos compuestos puede producirse por dos vías:

Degradación aerobia.

Degradación anaerobia.

Plazos de tiempo para la pudrición de varias materias comunes.

Anillas de plástico (de paquetes de latas de aluminio): 450 años.

Bolsas de plástico: 12 a 20 años.

Botella de vidrio: cerca de 4000 años.

Calcetines hechos de lana: 1 a 5 años.

Cáscara de naranja: 6 meses.

Cáscara de plátano o de banana: 2 a 10 días.

Cuerda: 3 a 14 meses.

Envases de leche (Tetra Bricks): 5 años.

Estaca de madera: 2 a 3 años.

Estaca de madera pintada: 12 a 15 años.

Filtros de cigarrillos: 1 a 12 años.

Hierro: 10000 años.

Papel: 2 a 5 meses.

Pañuelos hechos de algodón: 1 a 5 meses.

Telas de nailon: 30 a 40 años.

Vasos de aislante térmico de poliestireno "Styrofoam": 1 a 100 cien años.

Zapatos de cuero: 25 a 40 años (Anónimo (i), 2008).

## **2.6. Legislación cubana.**

Ley no 81. Aprobación, por parte del Gobierno Central, de la Estrategia Nacional Ambiental, y por la Asamblea Nacional del Poder Popular, de la Ley 81 “del Medio Ambiente” (1997). Con ello, se da un intenso impulso al trabajo en la esfera ambiental en Cuba. En sus Artículos 110 y 111, la nueva ley define con claridad los objetivos del manejo integrado en las cuencas hidrográficas, formulando la creación de un Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (CNCH). En estos artículos

se expresa:

CAPÍTULO I, ARTICULO 3.- Es deber del Estado, los ciudadanos y la sociedad en general proteger el medio ambiente mediante:

- a) Su conservación y uso racional;
- b) La lucha sistemática contra las causas que originan su deterioro;
- c) Las acciones de rehabilitación correspondientes;
- d) El constante incremento de los conocimientos de los ciudadanos acerca de las interrelaciones del ser humano, la naturaleza y la sociedad.
- e) La reducción y eliminación de las modalidades de producción y consumo ambientalmente insostenibles;
- f) El fomento de políticas demográficas adecuadas a las condiciones territoriales.

Educación ambiental, proceso continuo y permanente, que constituye una dimensión de la educación integral de todos los ciudadanos, orientada a que en la adquisición de conocimientos, desarrollo de hábitos, habilidades, capacidades y actitudes y en la formación de valores, se armonicen las relaciones entre los seres humanos y de ellos con el resto de la sociedad y la naturaleza,

para propiciar la orientación de los procesos económicos, sociales y culturales hacia el desarrollo sostenible.

Gestión ambiental, conjunto de actividades, mecanismos, acciones e instrumentos, dirigidos a garantizar la administración y uso racional de los recursos naturales mediante la conservación, mejoramiento, rehabilitación y monitoreo del medio ambiente y el control de la actividad del hombre en esta esfera. La gestión ambiental aplica la política ambiental establecida mediante un enfoque multidisciplinario, teniendo en cuenta el acervo cultural, la experiencia nacional acumulada y la participación ciudadana.

Medio ambiente, sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.

Las aguas procedentes de un uso humano normal, pueden ser tratadas eficientemente mediante plantas convencionales basadas en procedimientos biológicos (Asamblea del poder popular, (1997).

### **3. Materiales y métodos.**

#### **3.1 Ubicación Geográfica de la investigación**

El trabajo se realizó en la zona peri urbana del noreste de Sancti Spiritus llamado "Camino de la Habana" que se encuentra entre los 21° 32' 23" y 22° 27' 28" de latitud norte y los 78° 55' 38" y 80° 06' 55" de longitud oeste. Limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con el mar Caribe, al este con la provincia Ciego de Ávila y al oeste con las provincias de Villa Clara y Cienfuegos. Tiene una extensión territorial de 6 736.6 Km. Se caracteriza por un relieve variado, con aproximadamente el 80 % de llanuras y el resto de montañas. Entre los principales ríos están Zaza, Agabama, Jatibonico del Sur e Higuanojo y el Jatibonico del Norte; también tiene cuatro grandes presas entre ellas la Zaza que es la más grande del país con 1020 millones de m<sup>3</sup> de capacidad de embalse y numerosas micropresas, que ubican a la provincia como la de mayor potencial hidráulico de la nación.

### **3.2 Criterio de selección del área a investigar**

Debido a que se generan gran cantidad de ARU sin tratamiento alguno y sin uso productivo, que contaminan el río Yayabo. Se seleccionó este lugar por la posición en la que se descarga esta agua en la parte superior de la cuenca donde está ubicada la Planta Potabilizadora del Yayabo, y existe un interés marcado del gobierno local y la

población del área porque se resuelva este problema sin cambiar drásticamente el entorno, y la falta de financiamiento para la construcción de las obras convencionales que a tal efecto deberían construirse.

### 3.3 Instrumentos de medición.

Instrumentos de medición	Unidades de medidas
Sonda múltipara métrica (O <sub>2</sub> disuelto, conductividad y Temperatura).	mg/l, μS/cm, °C.
Indicador de sales.	%
Nivel de burbujas.	-

Viker	ml
Cinta métrica.	m
Probetas graduadas.	ml
Vertedor Fórmula $0.0138 H^{5/2}$	L/s

### 3.4 Instrumentos de trabajo.

- Guataca.
- Pico.
- Pala.
- Martillo.
- Machete.
- Guantes de nylon.

### 3.5 Mediciones a realizar.

- Parámetros hidráulicos de la cañada. Gasto (Q), Velocidad (V).
- Oxígeno disuelto en las ARU antes y después de cada obra de IAP para determinar la materia orgánica eliminada.
- Contenido de sales en las ARU.
- Temperatura (° C) de la cañada.

- Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).
- Total de sólidos disueltos (TDS).

### **3.6 Instituciones que laboran.**

- Laboratorio de recursos Hidráulicos.
- Centro de Higiene y Epidemiología.
- Empresa Nacional de Proyectos Agrícolas (enpa).
- Departamento de Humanidades.
- Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF).

### **3.7 Organizaciones políticas y de masa que colaboran.**

- CDR.
- FMC.
- Combatientes.
- Partido.

### **3.8 Metodología para tomar datos.**

Se realizó un recorrido por todo el canal abierto de saneamiento para cuantificar todos los puntos emisores de

contaminación. Luego se realizaron varias mediciones en cada punto, antes y después de incorporarse al canal y entre ambos. Los parámetros a medir fueron los que se muestran en la siguiente tabla.

Parámetros a medir.	Principales puntos emisores												
	1	1/2	2	2/3	3	3/4	4	4/5	5	6	7	8	
O <sub>2</sub> (mg/l)													
(%) de O <sub>2</sub>													
Temp (°C)													
Cond. (μS/cm)													
Sal (%).													

### 3.9 Diagnóstico del canal.

Se determino que el lugar más idóneo para la realización de este experimento era al final del CAS ya que existían las condiciones más propicias para la implantación de la tecnología no convencional de tratamiento del agua. Luego se midió en los accidentes naturales que existían en esa parte y se comprobó que el canal se iba depurando de manera natural. Se realizaron mediciones a intervalo de cinco minutos durante dos horas antes y después de cada accidente natural y existía un incremento en los mg/l de O<sub>2</sub> y la disminución del total de sólidos disueltos (TDS) de forma natural. Parámetros medidos en diferentes puntos:

### Puntos posibles para las Obras de IAP.

Parámetros a medir.	Primera medición (11:00)	Segunda medición (11:05)	Tercera medición (11:10)	Cuarta medición (11:15)
O <sub>2</sub> (mg/l)				
(%) de O <sub>2</sub>				
Temp (°C)				
Cond. (μS/cm)				
Sal (%).				
TSD				

### **3.10 Construcción de la obra de IAP.**

Para la construcción de la obra de IAP se realizó una apertura de la sección hidráulica del CAS con un pico para poder poner la plancha de hierro de un tanque que se recogió de las proximidades del lugar. Se puso de forma

horizontal sobre el curso del agua y se impermeabilizo con piedras y sacos de papel y de nylon para que el agua no se fuera por la parte inferior de la plancha, se levanto un borde al final para que cuando el agua pasara por encima realizara un salto y se logro que cayera a una altura de 30cm y a una longitud de 60cm en el ancho del CAS. Delante de la obra donde la sección era más pequeña se introdujo en la tierra un vertedor para medir el caudal

Después de la culminación de la obra se seleccionaron los cuatro días de la semana más representativos y se realizaron un total de 216 mediciones a un intervalo de 15 minutos en los horarios donde existía el mayor número de habitantes en el hogar que comprendieron de: 6:30 a 8:30 AM, 11:00 a 1:00 PM y de 5:00 a 7:00 PM. Se tomaban las muestras antes y se esperaba un tiempo de 10 segundos que era el tiempo que se demoraba el agua para pasar por encima de la plancha y llegar al segundo punto de tomar muestra, para medir el tiempo que demora el agua en transitar por la obra se tomó un flotante y con el cronometro del reloj se midió el tiempo en el que recorrió la distancia entre los dos puntos de tomar muestras antes y después de la obra de IAP).

#### **4. Resultados y discusión.**

#### 4.1 Diagnóstico del canal.

Después de seleccionado todos los materiales y diseñado el experimento, con esta metodología se comenzó a obtener resultados que se someterán a discusión en lo que sigue.

Diagnóstico del Canal Abierto de Saneamiento.											
Parámetros a medir.	1	½	2	⅔	3	¾	4	⁴/₅	5	6	7
O <sub>2</sub> (mg/l)	18	18	9,5	35,6	32	1,5	5,6	3,8	9,5	17	13,9
(%) de O <sub>2</sub>	4,3	4,3	0,8	4	2,53	0,05	0,7	1,42	0,8	4,16	0,88
Temp (°C)	31,5	29,3	32,7	26,6	31	30,9	30,2	30,6	29,9	27,7	30,5
µS/cm	438	438	813	494	487	622	604	767	620	771	683
Sal (%).	0	0	0,2	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabla 1. Diagnóstico de los puntos de emisión de contaminantes más importantes.

Se puede observar la afectación al CAS de la entrada de distintos contaminantes, siendo el más representativo para el parámetro de O<sub>2</sub> disuelto el punto 4,2 y 5 que visualmente coincidieron con el grado de turbidez, se puede destacar también el alto porcentaje de sales del punto 2 corroborado por el aumento de la conductividad que es el más alto 813 µS/cm y 0.2 % de sales disueltas.

#### 4.2 Selección del punto para realizar la obra de IAP.

Después del recorrido realizado por toda el área del canal y haber efectuado un análisis de todos los puntos posibles para la

realización del experimento, se decidió construir la obra de IAP al final del canal, debido a que existían las condiciones topográficas propicias para el trabajo.

Salto natural de agua								
Parámetros a medir.	Primera medición (11:00)		Segunda medición (11:05)		Tercera medición (11:10)		Cuarta medición (11:15)	
	O <sub>2</sub> (mg/l)	3,89	4,2	1,52	2,58	1,86	1,89	1,74
(%) de O <sub>2</sub>	45,8	48,1	19	35,2	22,6	24,6	22,4	30,4
temp (°C)	28,6	30,1	28,7	28,4	28,4	28,7	28,6	28,8
μS/cm	677	668	663	665	657	655	657	654
Sal (%).	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabla 2. Mediciones en un salto natural de agua.

Gráfico 1. Oxígeno disuelto antes y después del accidente natural (mg/l).

Gráfico 2. % de oxígeno disuelto antes y después del accidente natural.

En Cuatro mediciones realizadas en el punto desde las 11.00 AM hasta 11.15 AM se obtuvo como resultado que los parámetros analizados se comportaron como se esperaba con un aumento del % de O<sub>2</sub> disuelto en las cuatro mediciones realizadas que se expresan en la tabla 2 y los gráficos 1 y 2.

### **4.3 Comportamiento del gasto en (L/s).**

Apoyándonos en los datos obtenidos se determinó que el gasto es un parámetro variable, en el cuál influyen directamente los días de la semana y sus horarios respectivamente. A partir de las mediciones realizadas se muestra que el caudal del canal abierto de saneamiento manifiesta un incremento a medida que se aproxima los días del fin de semana, comenzando el viernes en el horario de la tarde hasta el domingo, donde el caudal alcanza los 14,9 l/s y en los horarios del día a medida que va aumentando proporcionalmente, aumenta el caudal con una diferencia significativa entre el horario de la mañana y la tarde.

Hora	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
06:30	10,2	12	12	13,1

06:45	10,2	12	12	14,1
07:00	9,27	12	13,1	14,1
07:15	9,27	12	13,1	15,3
07:30	10,2	12	13,1	14,1
07:45	10,2	12	13	14,1
08:00	10,2	12	13	15,2
08:15	10,2	11	13,1	14,1
08:30	10,2	11	13,1	15,3
Promedio	10,0	11,8	12,8	14,4

Tabla 3 Gasto en horas de la mañana

### Gráfico 3 Caudal en horas de la mañana

En el gráfico se observa como el caudal varía con el día de la semana en una diferencia que alcanza en ocasiones 6,32 l/s, indicando las desigualdades en la emisión de ARU en las muestras que dependen del día de la semana.

Hora	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
11:00	12	8,41	14,1	14,1
11:15	12	8,41	14,1	14,1
11:30	12	8,41	14,1	15,3
11:45	12	8,41	14,1	15,3
12:00	12	8,41	14,1	15,4
12:15	12	8,41	14,1	15,4
12:30	12	9,27	15,3	15,3
12:45	12	10,2	15,3	14,2
01:00	12	10,2	15,3	14,1
Promedio	12	8,9	14,5	14,8

Tabla 4 Caudal en horas del mediodía

En el comportamiento del caudal en este caso del mediodía se observó una disminución en el caudal del viernes con respecto al jueves diferente a los demás horarios muestreados y el caudal del sábado supera en dos mediciones al del domingo y en tres es aproximadamente igual, dado a que el consumo de agua de los sábados es mayor por las actividades domésticas en los emisores de ARU, que en su mayoría son trabajadores y utilizan este día y esta hora para realizar actividades que consumen gran cantidad de agua.

Hora	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
05:00	9,27	12	12	14,1

05:15	9,27	12	12	14,1
05:30	9,27	12	13,1	14,1
05:45	9,27	12	13,1	14,1
06:00	9,27	14,1	13,1	14,1
06:15	9,27	14,3	14,1	14,1
06:30	9,27	15,3	15,2	14,1
06:45	11	15,3	14,1	14,1
07:00	10,2	15,3	15,3	14,1
Promedio	9,6	13,6	13,6	14,1

Tabla 5 Caudal en horas de la tarde

## Gráfico 5 Caudal en horas de la tarde.

El consumo en esta hora de los días muestreados se mantiene inestable alternando los días de mayor consumo entre el viernes y el sábado y manteniéndose el domingo de manera estable e inferior, condicionado por que los emisores al igual que en casos anteriores usan estos días de la semana para actividades que generan gran cantidad de ARU.

## Gráfico 6 Comportamiento del caudal para los días muestreados.

En este gráfico se observa como el gasto medio aumenta hacia el fin de semana lo que indica un mayor consumo de agua para estos días y una mayor emisión de ARU.

El comportamiento del caudal con otros parámetros medidos no tubo diferencias significativas por lo que nos son objeto de

discusión en este trabajo, quedando constancia en los anexo para futuros estudios.

#### **4.4 Comportamiento del O<sub>2</sub> disuelto antes y después de la obra de IAP**

Los resultados obtenidos en las mediciones de la incorporación de oxígeno al ARU se muestran a criterio del autor por orden de importancia.

En el día el incremento medio del % de O<sub>2</sub> disuelto aumenta con el horario del día y el consiguiente aumento del flujo al disminuir las concentraciones de las ARU.

Horario	% de O <sub>2</sub>
Mañana	5,1
Mediodía	6,4
Tarde	7,3

Tabla 6 Incremento en el % de O<sub>2</sub> disuelto en un día (Domingo)

## Gráfico 7. Incremento en el % de O<sub>2</sub> disuelto en un día (Domingo)

En la tabla y el gráfico 7 se representa el comportamiento del % de oxígeno disuelto en un día de la semana y en los distintos horarios, donde manifestaba un aumento en horarios de la tarde coincidiendo con el comportamiento de todos los días muestreados.

Gráfico 8. Incremento del % de O<sub>2</sub> disuelto con la obra de IAP en los días muestreados.

En todos los días que se muestrearon se incrementó el % de oxígeno disuelto significativamente mostrando la estabilidad del proceso de intercambio que se produce en el salto de agua.

El incremento promedio de 0,47 mg/l O<sub>2</sub> disuelto en las observaciones realizadas unido a un caudal promedio de 12,47 l/s, si lo multiplicamos produciría 5,86 mg/s de O<sub>2</sub>, que en un día representa 506,381, 76 g.

#### **4.5 Comportamiento de la conductividad en los distintos horarios del día.**

La conductividad se comportó de forma creciente durante la tarde aumentando desde 657 μS/cm en la mañana hasta 721 μS/cm en la tarde, justificándose este comportamiento por el comienzo de las labores limpieza de los emisores, lo que aumenta el contenido y concentración de sales demostrado en el trabajo anterior (Tabla 7 y Gráfico 7).

Horario	
(total)	$\mu\text{S/cm}$
Mañana	656
Mediodía	677
Tarde	721

Tabla 7. Manifestación de la conductividad con el horario del día.

Gráfico 9. Manifestación de la conductividad con el horario del día.

#### **4.6 Total de Sólidos Disueltos que se descomponen.**

El comportamiento de las mediciones de sólidos disueltos en PPM mostró diferencia significativa a medida que avanzó el día desde la mañana hasta la tarde, Gráfico 8.

### Gráfico 8. Total de sólidos disueltos en distintos horarios del día

La temperatura y la influencia de la luz solar son factores determinantes en la descomposición de la materia orgánica, debido a que influyen directamente de forma estimulante sobre las bacterias aerobias, pues a medida que aumentan dichos factores empiezan las bacterias a descomponer los sólidos disueltos (materia orgánica) que se encuentran en el agua. Como se puede observar en la gráfico 8 en el horario de la mañana el % de descomposición es inferior con respecto a los demás horarios del día, que coincide con la mayor temperatura y la mayor intensidad del la luz solar, ilustrado además en la tabla 8 y los gráficos 9 y 10 que aparecen a continuación.

	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
25,3	0	1	0	1
27,7	12	5	9	4
29,2	9	8	13	2

Tabla 8 TDS disueltos eliminados con la obra de IAP.

Gráfico 9. TDS disueltos eliminados con la obra de IAP.

Los TDS disueltos a temperatura superior a 27 °C disminuyen significativamente comportándose de manera atípica en el jueves y el domingo influenciado por el caudal y la concentración de los mismos.

Gráfico 10. TDS disueltos contra la caudal medio en los días de la muestras.

En el gráfico anterior se puede ver un comportamiento en que el caudal mayor no coincide con la mayor cantidad de TDS disueltos eliminados, ya que en los horario de mayor caudal no son los de mayor temperatura y luz, lo que corrobora la importancia de estos elemento para la estimulación de la actividad bacteriana y el papel que juega esta en la eliminación de la materia orgánica.

Si este proceso de eliminación de materia orgánica ocurre en un tiempo medido de 10 segundos, en el que se eliminan como promedio 8,5 ppm de TSD y con un caudal

medio en el experimento de 12, 475 l/s, en las horas donde el sol y la temperatura son favorables, desde las 11:00 AM hasta las 7:00 PM (8 horas) se descompondrán 2448 ppm por día de TDS en la obra de IAP.

## **5. Conclusiones.**

1. El CAS de aguas residuales urbanas de la zona norte del camino de la Habana en Sancti Spíritus, está caracterizado por emisores de contaminantes que varían con el horario del día y de la semana en Caudal (Q l/s), concentración de sales, y materia orgánica fundamentalmente, causando contaminación de las ARU.
2. La obra de IAP construida demostró que es posible ayudar al río a autodepurarse aprovechando los

accidentes naturales y materiales en desuso, que son de fácil construcción y con resultados alentadores.

3. En la evaluación de los parámetros elegidos para la medición se demostró que el caudal  $Q$  (l/s) aumentó significativamente con el aumento de las horas del día y con el día de la semana acercándose al domingo, y la disminución de los sólidos disueltos totales disminuyó considerablemente al lograr aumentar el  $O_2$  disuelto en las ARU estimulado por la luz solar y el incremento de la temperatura.
4. Se mantuvieron sin diferencia significativa los valores de Salinidad, y los valores de la conductividad aumentando en horas de la tarde por el aumento de la salinidad, sin causar esto influencia sobre los otros resultados del experimento.

## **6. Recomendaciones.**

1. Construir y evaluar otras obras de fácil construcción que se pueden acometer.
2. Evaluar posibles usos para estas ARU que pueden servir como tratamiento con tecnologías no convencionales (cultivo arroz popular, lenteja de agua, carrizos, jacinto de agua...).
3. Evaluar este tipo de obra, aguas abajo donde las condiciones topográficas lo permitan.
4. Generalizar los resultados obtenidos para otros CAS de la ciudad de Sancti Spíritus.



#### **4. Bibliografía.**

Abó B, M.; Almeida M. Del Pilar; Ferrer, L. A.; Espinosa Idalmis; González J. Del Carmen y Junco J. Zoila, H.: Contaminación y gestión de Residuos. pp 9, 1998.

Amigos de la Tierra Internacional (FoEI).: Agua para la vida y el Sustento. 3er. Foro Mundial del Agua (Kyoto) 2003, (Citado el 2 de abril de 2008) Disponible en Internet: <http://www.ecoportel.net>.

Andrade Ángela, P.: Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. Red de Formación Ambiental (PNUMA), México D.F, 2004.

Anónimo (a).: Surface water. Lenntech. (Citado el 25 de abril de 2008) Disponible en Internet: [info@lenntech.com](mailto:info@lenntech.com).

Anónimo (b).: Gestión integral del agua. Cobertura Nacional (Cuba) (Citado el 28 de 2008) Disponible en Internet: <http://www.hidro.cu/saneamiento.htm>.

Anónimo (c).: Aguas negras. Wikipedia, la enciclopedia libre. (Citado el 25 de abril de 2008) Disponible en Internet: [http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas\\_servidas](http://es.wikipedia.org/wiki/Aguas_servidas).

Anónimo (d).: Criptosporidiosis. Wikipedia, la enciclopedia libre. (Citado el 25 de abril de 2008) Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Criptosporidiosi>.

Anónimo (e).: Tipos de plantas acuáticas. (Citado el de marzo de 2008) Disponible en Internet: <http://articulos.infojardin.com/acuaticas/especies-plantas-acuaticas.htm>.

Anónimo (f).: Sumergidas. Plantas acuáticas: lotos y nenúfares. (Citado el 3 de marzo de 2008) Disponible en Internet: [www.sumergidas.com/oxigenadoras/index.htm](http://www.sumergidas.com/oxigenadoras/index.htm).

Anónimo (g).: Sumergidas. Plantas acuáticas: lotos y nenúfares. (Citado el 3 de marzo de 2008) Disponible en Internet: [www.sumergidas.com/flotantes/index.htm](http://www.sumergidas.com/flotantes/index.htm).

Anónimo (h).: Diagrama de humedal artificial. (Citado el 2 de abril de 2008) Disponible en Internet: [http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com\\_tecnologias&func=ver&id=8](http://depuranat.itccanarias.org/index2.php?option=com_tecnologias&func=ver&id=8)

Anónimo (i).: Biodegradabilidad. Wikipedia, la enciclopedia libre. (Citado el 25 de abril de 2008) Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/Biodegradable>.

Arellanos, Daniela M.; Benamor, Odalis; Feíto, Sandra; López, Y.; Ramos, O.V.; Rodríguez, Bárbara; Sánchez, E. y Santos, E.: Manejo de los Recursos hidráulicos. Proyecto: Acciones prioritarias para consolidar la protección de la biodiversidad del ecosistema Sabana-Camaguey. Módulo de formación básico. Cuba. pp 2-21, 1998.

Bueno de Mesquita, M.: No se puede desperdiciar ni una gota de agua. LEISA. Rev. de agroecología. Usando todas las gotas de agua. 19 (2):4, 2003.

De Lucas Laura.: Riego sanitario y agricultura: Cuando beba agua recuerda la fuente (refrán popular). LEISA. Rev. de agroecología. Salud y agricultura. 23(3): pp 38-39. 2007.

EFE.: Desaparece glaciar peruano a causa del calentamiento global. Granma, 2008. Mayo, 12. Sec. Internacional, (col 3), pp 4. 2008.

Fernández Jáuregui, C.: El agua como fuente de conflicto. Una revisión de los focos de conflicto en el mundo. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO,

1998, (Citado el 3 de febrero de 2008) Disponible en:  
<http://www.unesco.org uy/phi/biblioteca/>.

García Angela.: La vertiginosa escasez del agua. (Citado el 2 de abril de 2008) Disponible en Internet:  
<http://www.liberacion.press.se/notas/angela.htm>.

Gitay H.; Suárez A.; Watson R, T. y Dokken D, J.: Cambio climático y diversidad biológica. Reporte Técnico V del IPCC. pp 85, 2002.

JIMÉNEZ Blanca E, C.: La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2001.

Latchinian A. y Ghislieri D.: Autoconstrucción de sistemas de depuración de aguas cloacales (Uruguay), (Citado el 2 de abril de 2008) Disponible en Internet:  
<http://www.ceadu.org.uy/documentos/Sistemas%20naturales.PDF>.

Lebrato M, J.; Gómez Verónica, B.; Pozo Laura, M.; Fernández Luciana, S.; Gavira G, A.; Amadeo R J.; Cañestros María J, L.; Mateo María J, Sánchez y Morón Carmen, R (a).: Tecnologías no convencionales de tratamientos del agua. Diseño y mantenimiento. Colección Ingeniería del agua. Grupo TAR, E.U.P, Universidad de Sevilla, Editorial CEPS.L Madrid España. pp 10-157, 2004.

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente y Agencia de Medio Ambiente.: Situación Ambiental Cubana 2002. Gringos, La Habana, Cuba. pp 21-27, 2003.

Orejarena Viviana.: Cómo con la ayuda de un biodigestor se pueden obtener diversas fuentes de energía a partir de desechos orgánicos. (Citado el 2 de abril de 2008) Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos15/biodigestor/biodigestor.shtml>.

Puerta de Arma, Y.: Día mundial del medio ambiente. Habana, Cuba. 2007.

Real decreto 363/1995 de 10 de marzo. (Citado el 2 de abril de 2008) Disponible en Internet: <http://www.mtas.es/insht/legislación/RD/etiquetado.htm>.

Red de observación de calidad de las aguas (RDCAL).: (Cuba) 2006, (Citado el 18 de marzo del 2008) Disponible en Internet: <http://www.hidro.cu/calidad.htm>.

Sacaria G. y Laban P.: Reciclaje de los desperdicios domésticos para mejorar la fertilidad del suelo. LEISA, Boletín de ILEIA para la agricultura sostenible de bajos insumos externos. Reconstruyendo la pérdida de fertilidad del suelo. 13 (3):22, 1998.

Santana M. S.: El agua. Monografía (Sancti Spíritus) 2006, (Citado el 28 de marzo de 2008) Disponible en Internet: <http://www.tarenelmundo.net>

TYLER M, G.: Ecología y Medio Ambiente: Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra. Grupo Editorial Iberoamérica. 7a Edición. México, 1994.

Universidad Politécnica de Madrid.: Manual en Fitodepuración. Encuentro Internacional sobre Fitodepuración (España) 2005, (Citado el 3 de marzo de 2008) Disponible en Internet: [http://www.mma.s/rec\\_hid/depuracion/index.htm](http://www.mma.s/rec_hid/depuracion/index.htm).

Voluntad Hidráulica. Edición Especial. Año 40, 2002.

Heredia M, A.: Agua municipal y tratamiento de aguas residuales. (Citado el 25 de abril de 2008) Disponible en Internet: <http://www.arqhys.com/articulos/municipal-agua.htm>.

Asamblea Nacional del Poder Popular.: Ley No. 81 del Medio Ambiente. Cuba. Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ed. Extraordinaria. Año 95 (7), pp. 47, 1997.



## 8. Anexos.

### Anexo #1.

Horario	TDS (%)		Eliminados (ppm)
	Antes	Después	
Mañana	324,3	322	2,3
Mediodía	396	390	6
Tarde	340	333	7