

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

# SISTEMA DE CONDUCCIÓN DE AGUAS SERVIDAS Y PREDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ISLA DE SAN ANDRÉS

Ingeniero Ernesto Torres Quintero<sup>1</sup>

Sindy Isabel Fussalbo Carreño<sup>2</sup>, Diana Carolina Téllez Martínez<sup>2</sup>, Liliana Carolina Quintero Delgado<sup>2</sup>

### RESUMEN

En el estudio ambiental del alcantarillado sanitario de la Isla de San Andrés realizado por el grupo Tecnoambiental en el año 2007, cubre el norte de la Isla, se determinó que presenta problemas en las redes por las condiciones topográficas, mediante la revisión de las características hidráulicas del sistema como esfuerzo cortante, velocidad mínima y profundidad de la tubería entre otros; cuyos rangos fueron comparados con los establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS 2000.

Se evaluaron los impactos generados al medio ambiente por la disposición final de las aguas residuales, las cuales son vertidas al mar sin previo tratamiento por medio del emisario submarino; por tal razón se prediseñaron unidades de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales -PTAR- que al ser implementadas disminuirán los impactos a un ecosistema tan frágil como el presentado en el mar.

### PALABRAS CLAVE

Alcantarillado, emisario final, dispersión.

Fecha de recepción del artículo: 28 de febrero de 2008.

Fecha de aceptación del artículo: 28 de marzo de 2008.

<sup>1</sup> Docente investigador de la Universidad Libre. Grupo Tecnoambiental.

<sup>2</sup> Auxiliares de investigación

### ABSTRACT

The environmental study of the sewerage system of the San Andrés Island Realized by the group Tecnoambiental conducted in 2007, covers the north of the Island, it was determined that it presents problems in the networks by the topographical conditions, which were conducted by reviewing the features hydraulic system as shear, minimum speed and depth of the pipeline among others; whose ranks were compared with those set out in the Technical Regulations Sectors drinking water and basic sanitation - RAS 2000.

Likewise assessed the impacts to the environment generated by the disposal of waste water which is discharged into the sea without prior treatment through the undersea outlet, for that reason were are predesigned units Plant Wastewater Treatment which to be implemented will decrease the impacts to an ecosystem as fragile as the one presented at sea.

### KEY WORDS

Sewage, emissary final, dispersal.

## INTRODUCCIÓN

La Isla de San Andrés presenta las siguientes condiciones en el sistema de alcantarillado y entrega al mar:

- Insuficiencia del sistema de alcantarillado: Cobertura de Servicio de alcantarillado (6%) de la Isla.
- Mala disposición de las aguas servidas: No existe un sistema de tratamiento de aguas residuales antes de su disposición final (Ver Foto 1)

## OBJETIVO GENERAL:

Estudiar el sistema de alcantarillado sanitario de la Isla de San Andrés diagnosticando su estado actual, la contaminación al medio ambiente y determinar las características básicas propuestas para la PTAR.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Revisar el diseño del sistema de alcantarillado con el fin de diagnosticar su estado actual.
2. Identificar el impacto producido a la flora y fauna marina en la zona de mezcla generado por el vertimiento directo de aguas residuales al mar.
3. Establecer las unidades de tratamiento de la PTAR según las características de las aguas residuales.
4. Determinar las características básicas propuestas para la PTAR.

Foto 1. Entrega antes de construir el Interceptor antes del año 2007. Fuente: Autores.

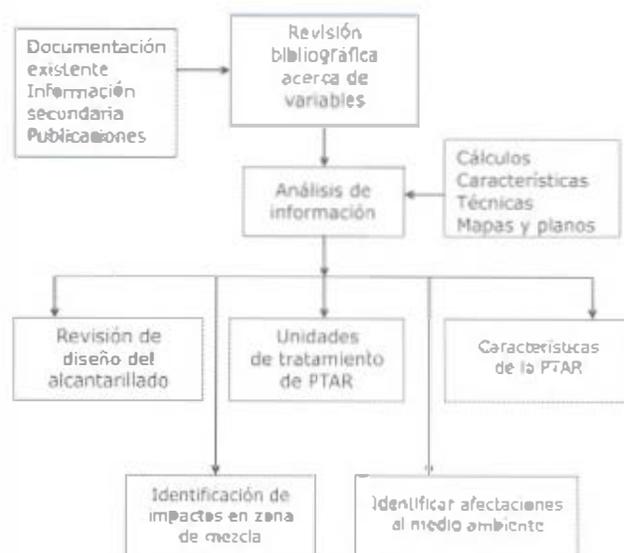


5. Identificar las afectaciones al medio ambiente originadas por el transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales.

## 1. PROCESO METODOLÓGICO

En el gráfico 1 se presenta el Proceso metodológico realizado en la investigación:

Gráfico 1. Proceso Metodológico de la investigación.



## 2. LOCALIZACIÓN Y EXTENSIÓN

“La Isla de San Andrés es la capital del departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, conformado por el Archipiélago del mismo nombre, el cual se encuentra situado al occidente del mar Caribe y comprende además de San Andrés, las islas de Providencia y Santa Catalina, así como los cayos, bancos y bajos existentes dentro del mar territorial. Astronómicamente, el Archipiélago está situado entre los paralelos 12 y 16 de latitud Norte y los meridianos 78 y 82 de longitud al Oeste de Greenwich. La extensión de mar territorial es de 244.898 km<sup>2</sup> y la terrestre de 55.45 km<sup>2</sup>. (Ver Gráfico 2).

### Alcantarillado de San Andrés

Presenta un sistema de alcantarillado de tipo separativo, en el que las aguas residuales domésticas

Gráfico 2. Localización Proyecto.



Foto 2. Tubería de Alcantarillado.



Foto 3. Estación de Bombeo Numero 3.



y las aguas lluvias son recolectadas por sistemas de conducción independientes (ver foto 2).

La configuración del sistema de alcantarillado se hace debido a las condiciones del terreno en la isla, siendo de predominio llano, teniendo que incluir en el sistema estaciones elevadoras (ver foto 3).

Longitud total: 19.985.71 metros de redes construidas

Diámetros nominales: Varían entre 180 mm a 760 mm (8" y 30") con predominio de redes en 200 mm (8").

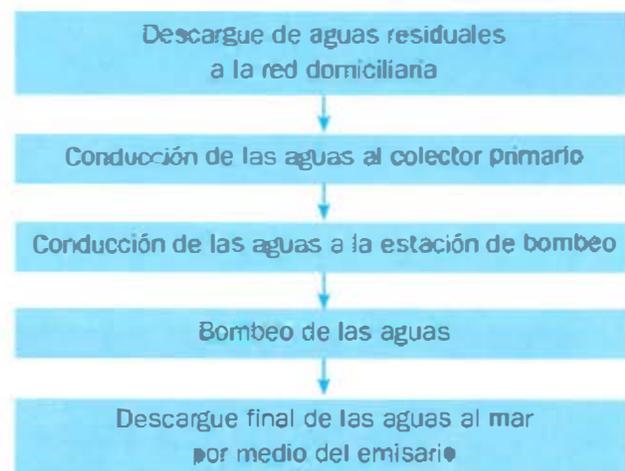
### 3. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA RED DE ALCANTARILLADO

Los cálculos fueron realizados en una tabla del programa Excel, donde se presentan las operaciones realizadas para los 679 tramos que constituyen el Sistema de Alcantarillado de San Andrés Isla, dicha tabla permite realizar una evaluación al diseño, ya que contiene campos que verifican algunas de las condiciones necesarias para el buen desempeño de sistema.

En el presente estudio se mostraran algunos tramos y cálculos, debido a su extenso contenido, los cuales representan el estado actual de las redes.

A continuación en la Tabla 1 se presenta el contenido y descripción de la tabla realizada en Excel con el fin

Gráfico 3. Descripción etapas del sistema de alcantarillado actual



de entender la metodología de diseño, se presenta parte de las columnas y filas analizadas del total de 679 tramos de alcantarillado analizado.

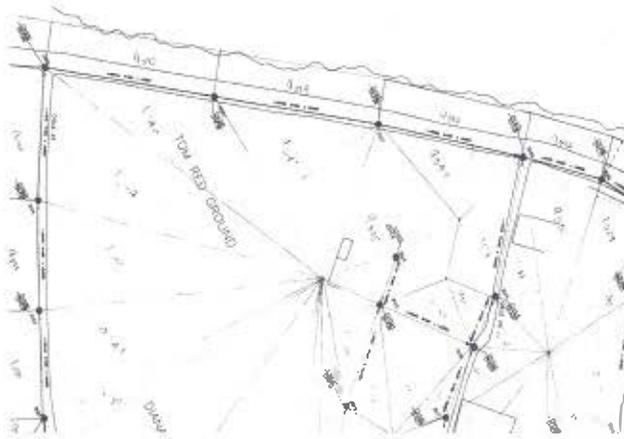
Luego de la revisión del alcantarillado sanitario, el cual se realizó empleando la metodología mencionada en el presente capítulo y la visita realizada en campo (Ver Foto 2). Se pudo establecer que en San Andrés se encuentran en funcionamiento 647 tramos los cuales cubren con el servicio de alcantarillado a la parte norte de la Isla, siendo un porcentaje muy bajo del total de la población que necesita el servicio en esta ciudad.

El alcantarillado se encuentra dividido en cuatro distritos los cuales abarcan el sector comercial y hotelero de la Isla. El estudio permitió establecer que los primeros tramos del alcantarillado no cumplen con la velocidad real recomendada por el RAS 2000 lo cual se debe a los pocos aportes de caudal generados en los tramos iniciales. Además en la revisión del diseño se puede observar que el diámetro calculado según las características del alcantarillado es menor al que se encuentra en la actualidad en funcionamiento, razones

por las cuales se presenta este comportamiento de la velocidad en el alcantarillado de la Isla.

### 3.1 Plano de trazados de la zona

Gráfico 4. Plano zona de estudio parcial.



Tramos totales: 679  
Existentes: 647  
Diseñados: 32

Tabla 1. Cálculo y evaluación alcantarillado.

1. Tramo	Caudal de diseño	Velocidad real	Esfuerzo cortante	Profundidad	
				SUPERIOR	INFERIOR
DE	Q	V	$\tau$	[ Mts. ]	[ Mts. ]
	[L/s]	[ Mts./seg ]	[ N/m <sup>2</sup> ]	[ Mts. ]	[ Mts. ]
0002-1001*	1,8384	0,24	0,47	1,15	1,39
1001-1002	2,2459	0,25	0,50	1,25	1,46
1002-1003	3,2701	0,27	0,57	1,46	1,62
1003-1005	3,8494	0,28	0,61	1,61	1,59
2003-1004	2,4418	0,52	2,48	1,15	1,15
1004-1005	4,0625	0,46	1,66	1,36	1,27
1005-1006	8,7313	0,36	0,90	1,59	2,08
2027-1007	4,3346	0,47	1,69	1,15	1,33
1007-1008	6,2690	0,52	1,88	1,53	1,58

El esfuerzo cortante también es un factor notable a la hora del diseño de redes de alcantarillado, por lo cual también fue evaluado; el esfuerzo debía ser mínimo de  $1N/m^2$ , pero en algunos tramos no se cumple la condición autolimpiante de la tubería; esto es causado por la dificultad de construir con la pendiente necesaria, debido a topografía.

El reglamento RAS 2000 señala que cuando las velocidades son menores a  $0.45m/s$  se debe cumplir con el parámetro mínimo de esfuerzo cortante, para no acarrear problemas en la conducción del agua. Luego de la revisión de los datos se evidencia que en algunos de los tramos no hay un desempeño óptimo dado que no se cumple con los parámetros establecidos, por lo que se debe tener en cuenta un plan de mantenimiento de las redes en dichos tramos. Atendiendo a las características anteriormente mencionadas se recomienda realizar mantenimiento preventivo en dichos sectores con el fin de evitar represamiento del agua residual y acumulación de sedimentos.

## 4. DIAGNÓSTICO DE EMISARIO SUBMARINO

### 4.1 Emisario submarino

La zona de influencia del proyecto se sitúa alrededor del actual vertedero de aguas servidas del alcantarillado de la isla, localizado en la región noroccidental conocida como "la rocosa" y comprende desde el Km. 3 hasta el Km. 5 con una extensión de 2000 metros sobre el litoral; y mar adentro con una profundidad de 100 metros ver grafico 5.

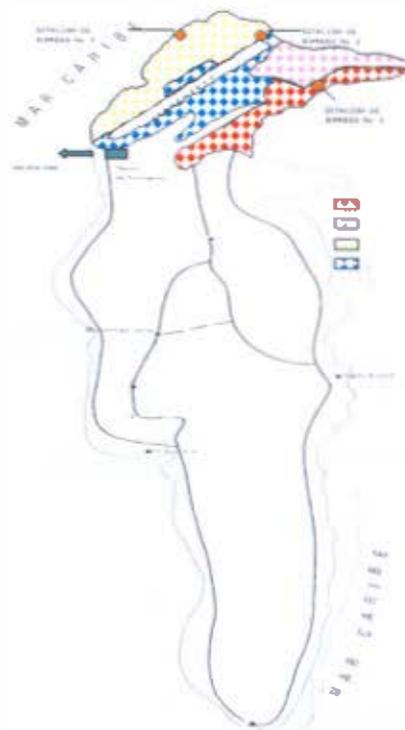
### 4.2 Trazado

La selección del trazado sigue las directrices marcadas por los estudios precedentes, donde la ubicación venía determinada por los vertidos actuales y la verificación de afectación a corales.

### 4.3 Material

Las opciones estudiadas son múltiples y ha resultado ser el polietileno de alta densidad el material que mejor se adapta a las necesidades particulares de esta conducción. La escasa longitud del emisario imposibilita otras soluciones.

Gráfico 5. Plano San Andrés y localización zonas de estudio.



### 4.4 Zanja

Se han estudiado diferentes alternativas para el tendido de la tubería de la parte terrestre y zona de rompimiento del emisario.

Por ello se optó por una solución más robusta y que si permite asegurar su estabilidad a futuro. Esta supone instalar la conducción en una zanja dragada en arena con protección mixta compuesta por un recubrimiento de tela rellena de arenas y una triple capa de sacos terrenos, además de una regularización de la zanja con gravas. Se analizó la posibilidad de emplear sistemas de dragado anti turbidez pero no fue posible debido a su elevado coste.

## 5. DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE LA PLUMA

La elevación máxima de la pluma de aguas residuales en San Andrés se calculó en 12.4 metros sobre la profundidad del difusor. Por consiguiente este cálculo indica que la pluma permanecerá sumergida continuamente alrededor de esta profundidad. Pero es necesario tener en cuenta que la curva de variación

vertical de la densidad puede cambiar con las épocas del año. En su forma influyen varios factores ambientales incluyendo el tipo y longitud de olas marinas presentes, las cuales varían estacionalmente. El oleaje estable, lo que se llama "la capa de mezcla" que es un estrato superficial de densidad casi homogénea y gradiente aproximadamente lineal. La profundidad de la capa de mezcla es influenciada por el sistema de vientos presentes; a mayor oleaje mayor profundidad, ver gráficos 6 y 7.

## 6. COMPORTAMIENTO DE LA PLUMA

### 6.1 Efluente Sumergido

Si se cumplen las condiciones de diseño y los valores determinados, todo indica que la pluma siempre se mantendrá sumergida, a una altura entre 12 y 24 metros por sobre la profundidad del difusor. Si el difusor se ubica a 50 metros de profundidad como dicen las especificaciones, se espera que la pluma se mantenga por debajo de los 26 metros aproximadamente bajo la superficie.

Un escenario menos favorable podría darse en caso de que no se cumplieran las condiciones esperadas y la pluma emergiera a la superficie, contradiciendo los pronósticos anteriores. Suponiendo que la pluma aflorara a la superficie la principal diferencia con la situación óptima anterior es que el campo del efluente se haría visible y expuesto a factores ambientales.

Sin embargo, esto no debe afectar la costa, puesto que ocurriría a una distancia de 300 a 400 metros. Las corrientes siguen siendo dominantes hacia el sur y el oeste; en este caso bajo la influencia mucho más directa de los vientos sobre la capa superficial de agua, que durante el 90% del tiempo ayudarían a alejar el campo del efluente de la costa.

## 7. TIPO DE IMPULSIÓN

Teniendo en cuenta que cualquier diseño suponía la construcción de una estación de bombeo, se analizó la posibilidad de bombear directamente al emisario. Finalmente fue la solución seleccionada puesto que ofrece una serie de ventajas importantes de cara a la futura explotación del sistema como tal.

Debido a que esta solución supone dotar al sistema de unas posibilidades muy grandes de regulación, puesto que se hayan previsto diferentes elementos que permitan manejar cualquier situación futura.

## 8. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL EFLUENTE

Los procesos físicos normales involucrados en el comportamiento de la descarga de un emisario submarino son tres a saber:

1. Mezcla y dilución inicial
2. Transporte y dispersión
3. Degradación

### 8.1 Mezcla y Dilución Inicial

La mezcla y dilución inicial se producen en el sitio mismo del emisario debido a dos factores que trabajan simultáneamente durante los primeros minutos, a saber:

- El impulso de las aguas servidas al salir del emisario submarino, chocar y mezclarse con el agua de mar que las rodea.
- La fuerza ascendente causada por la diferencia de densidades entre las aguas residuales y el agua de mar normalmente más densa, mezclándose al ascender. Esta fuerza ascendente será mayor o menor en la medida de la diferencia de densidades.

### 8.2 Transporte y Dispersión

El siguiente proceso es el transporte y dispersión horizontal físicos causados principalmente por el régimen de corrientes locales y la dispersión turbulenta, que continúan produciendo mezcla lateral de las aguas residuales con el agua de mar más allá del área del emisario. La dispersión horizontal aun en ausencia de corrientes tiende a expandir el campo de las aguas residuales radialmente, lo cual trae una evidente disminución de la concentración de cualquier sustancia contenida en ella. A esto hay que sumar el efecto de transporte de la corriente horizontal que producen la "pluma".

### 8.3 Degradación

El tercer factor determinante en el comportamiento de las aguas servidas en el medio marino es la descomposición con el tiempo de sustancias degradables o de los microorganismos presentes, por efecto de procesos bioquímicos. En el caso de los coliformes, un modelo simple de la mortandad de bacterias al contacto con la salinidad del agua de mar proporciona una predicción adecuada de la desaparición de estos con el tiempo. Comparando este dato con el tiempo que les toma a las aguas residuales trasladarse hasta zonas vulnerables o sensibles (playas o cultivos marinos), se puede evaluar la conveniencia o no de una ubicación específica para un submarino.

Un valor importante para efectos de degradación de coliformes y bacterias es el  $t_{90}$  el cual no es otra cosa que el tiempo (en horas) necesario para la desaparición del 90% de los coliformes presentes inicialmente en el agua del efluente.

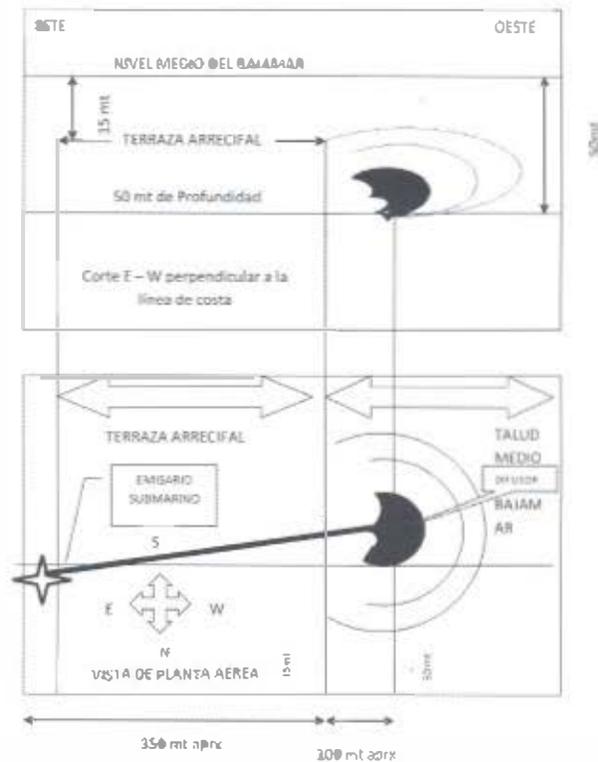
Algunos valores de  $t_{90}$  en aguas tropicales semejantes a la de San Andrés:

- Honolulu Hawái ..... 0.75 horas o menor
- Mayagüez, Puerto Rico ..... 0.7 horas
- Río de Janeiro ..... 1.0 horas
- Niza, Francia ..... 1.1 horas

Actualmente San Andrés utiliza como sistema de tratamiento de aguas residuales un emisario submarino (ver foto 4), el cual consta de una tubería de polietileno de alta densidad, que elimina las aguas residuales a más de 400 metros de la costa, evitando su descarga a la orilla del mar, pero aun así, las aguas llegan directamente sin previo tratamiento, y esto hace que de una u otra manera se provoquen daños sanitarios y/o ecológicos a los ecosistemas marinos y terrestres, a las poblaciones costeras circundantes, playas de recreación pública y a la industria pesquera.

Debido a la problemática anteriormente descrita se recomienda implementar un sistema de tratamiento más efectivo para las aguas residuales, con el fin

Gráfico 6. Comportamiento del efluente sumergido sin corriente horizontal.



Fuente: Proyecto Construcción de Emisario Submarino. Proactiva Aguas del Archipiélago S.A E.S. P.

Gráfico 7. Comportamiento de la pluma de agua.

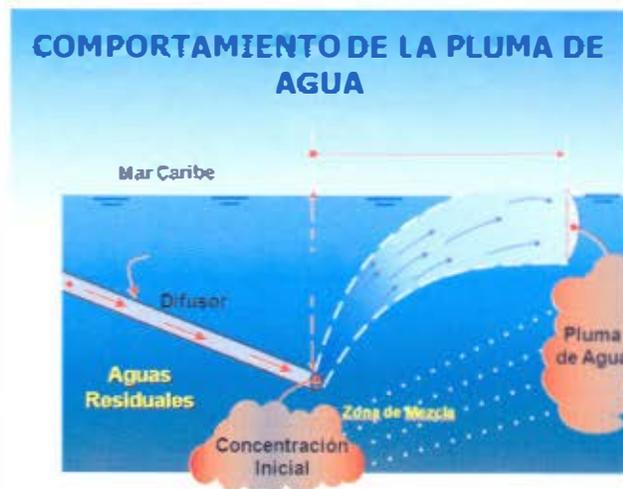


Foto 4. Actual punto de vertido de aguas residuales al mar. Sector noroccidental de la Isla.



de disminuir la carga contaminante que está siendo aportada directamente al mar; para esto se sugiere que antes de que dichas aguas sean vertidas pasen por unas unidades de tratamiento que se escogieron teniendo en cuenta las características físicas y químicas de las aguas residuales de la isla de San Andrés tales como DBO, SST, Grasas y Aceites, entre otras; se recomienda adicional al sistema de tratamiento las unidades siguientes de tratamiento como se observa en el gráfico 8.

Gráfico 8. Unidades de Tratamiento propuestas en la Investigación.



## CONCLUSIONES

La revisión del diseño a los 679 tramos del alcantarillado de San Andrés, determinó que 281 de éstos no cumplen con la velocidad mínima establecida por el RAS 2000 correspondiente a 0.45 m/s, por lo que es probable que se presenten problemas de sedimentación en las tuberías, generando problemas en la red.

El esfuerzo cortante verificado con el fin de establecer la condición de autolimpieza de la tubería, cuyo valor recomendado es 1 N/m<sup>2</sup> no es cumplido por 134 tramos, por lo cual dicha variable debe ser tenida en cuenta para evitar represamientos de sólidos en las tuberías.

La profundidad de enterramiento de la tubería es uno de los factores de mayor importancia que se generan en el diseño del sistema de alcantarillado de la Isla, ya que por las condiciones propias de topografía al igual que el nivel freático, dicho parámetro genera dificultad en su cumplimiento; en total son 132 tramos que no se encuentran a una profundidad mínima de 1.2 m lo que es recomendado por la norma (RAS 2000).

El sistema de alcantarillado de la Isla solo cubre un tercio del área total (North End) lo cual hace que la disposición de las aguas servidas en el resto de la isla sea realizada por la población misma, generando problemas de saneamiento e impactos al ambiente por no contar con una buena disposición.

Las aguas servidas del alcantarillado son vertidas por medio del emisario submarino al mar, sobre la línea de la costa sin la realización de ningún tratamiento, generando de esta manera contaminación inmediata al cuerpo receptor.

La descarga de las aguas servidas se realiza a 50 mts de profundidad, por lo que el efluente del mismo puede presentar dos comportamientos: mantenerse sumergido en la profundidad o en el caso menos favorable emerger a la superficie (el cual traería graves consecuencias, en el caso de que se presentara una alta dispersión del efluente emergido hacia las costas, playas y el paisaje) afectando de esta manera el disfrute estético y recreativo de las mismas.

Según el estudio realizado al proyecto de construcción del emisario submarino, las aguas residuales pueden

ser so-  
tamiza-  
arenas-  
de car-  
existe-  
la esta-

Laelev-  
calculó-  
la prof-  
perma-  
esta p-  
realiza-  
no exis-  
column-  
esta m-  
que se-  
del em-

## RECO

Según  
conduc

## BIBL

DIAGN-  
ANDRÉ

ESTUD-  
Sanea

HIDRÁ

INGEST-  
NORTH-  
y Santa

LAGUN-  
de Inge

PLAN D

RAMAL

RODRÉ

ROMB-  
de Inge

TCHOE-  
Mc Gra

LINDA

ser sometidas a pre tratamiento compuesto por un tamizado con elevada eficiencia en remoción de arenas y grasas; sin embargo al realizar el trabajo de campo se pudo comprobar que en realidad solo existe como pretratamiento un sistema de cribado en la estación número tres.

La elevación de la pluma de aguas servidas en la isla se calculó según estudios realizados en 12.4 mts sobre la profundidad del difusor; según este cálculo la pluma permanecerá sumergida continuamente alrededor de esta profundidad. Sin embargo según el diagnóstico realizado al proyecto de construcción del emisario no existen datos in situ sobre la estratificación de la columna de agua como hubiesen sido deseables. De esta manera se evidencia que muchos de los datos que se tienen respecto a la construcción y operación del emisario no son reales sino empíricos.

## RECOMENDACIONES

Según los resultados del proyecto el sistema de conducción existente en la Isla debe ser sometido

a mantenimiento preventivo, con el fin de evitar los problemas acarreados por las bajas pendientes.

Se recomienda realizar un estudio en la zona de dispersión del emisario submarino, por medio de trazadores, con el fin de establecer las distancias reales de dilución.

Se recomienda realizar monitoreos constantes de parámetros físico – químicos y bacteriológicos en el punto actual de descarga de vertimientos y en la estación de bombeo número 3, para verificar de esta manera la calidad de las aguas residuales.

Teniendo en cuenta que el emisario submarino no es un sistema de tratamiento de aguas residuales, sino un método de disposición final, se recomienda diseñar y construir unidades de tratamiento que garanticen un adecuado tratamiento de las aguas residuales antes de ser vertidas al mar. Las unidades de tratamiento recomendadas para las aguas residuales de la Isla de San Andrés son un tanque de homogeneización, una laguna aerobia y un vertedero de salida.

## BIBLIOGRAFÍA

DIAGNÓSTICO DE SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD) PARA LA ISLA DE SAN ANDRÉS.

ESTUDIOS Y DISEÑOS DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO PARA SAN LUIS Y LA LOMA SAN ANDRÉS ISLA. Sanear Ltda. Ing. Ambiental y Sanitaria. 1996.

HIDRÁULICA GENERAL. Volumen I. Fundamentos de Sotelo. Editorial IMUSA 2002.

INGESTUDIOS S.A. EVALUACIÓN Y AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO EN EL SECTOR NORTH END DE SAN ANDRÉS ISLA. Elaborado para la Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. 1997.

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. Jairo Alberto Romero Rojas. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Marzo del 2005.

PLAN DE SANEAMIENTO Y MANEJO DE VERTIMIENTOS PSMV (planes de saneamiento y manejo de vertimientos). RAMALHO, Rubens. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté.

RODRÍGUEZ Y ÁNGEL INGENIEROS. 1998. EIA para la Isla de San Andrés. CESCO Ltda.

ROMERO, Jairo. 2000. Tratamiento de las Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería.

TCHOBANOGLOUS, George y otros. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Editorial Mc Graw Hill.

UNDA OPAZO, Francisco. 2002. Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública. Editorial Limusa, S.A.