

Informe Final

Análisis de Vulnerabilidad de la Infraestructura al Cambio Climático

Sistema de Recolección, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales

Ciudad de Limón

Costa Rica

Julio, 2011





**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-06'00'

Firma: _____



EQUIPO DE TRABAJO

La realización de este proyecto fue posible gracias al siguiente grupo de personas:

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA):

Dr. Ing. Luis Carlos Vargas Fallas (Coordinador)
Ing. Alejandro Rodríguez Vindas
Ing. Hernán Villalobos Slon
Ing Patricia Zamora Cordero
M.Sc. Ing. Alvaro Araya García

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA):

M.Sc. Ing. Freddy Bolaños Céspedes (Coordinador).
Ing. Laura Solera Bonilla
Ing. Olman Vargas Zeledón

Unión Panamericana de Asociaciones de Ingeniería (UPADI):

Inga. Irene Campos Gómez – Presidenta de UPADI

Instituto Meteorológico Nacional (IMN):

M.Sc. Met. Roberto Villalobos Flores
Ing. Nazareth Rojas Morales

Ingenieros Canadá:

Ing. Jeff O´Driscoll
Ing. Guy Felio
Ing. Roger Rempel
Ing. Darrel Daniluk
Ing. Heather Auld
Ing. David Lapp

Sin el trabajo arduo y desinteresado de este grupo de profesionales, la exitosa culminación de este importante proyecto no hubiese sido posible.

Índice

1. INTRODUCCION	7
1.1 Antecedentes	7
1.2 Detalles del estudio	7
1.2.1 Ubicación del área de estudio	7
1.2.2 Objetivos del estudio	8
1.2.3 Alcances del estudio	8
1.2.4 Estado del conocimiento	10
2. PROTOCOLO PIEVC Y METODOLOGIA DE ANALISIS	11
2.1 Explicación del Protocolo PIEVC	11
2.1.1 Finalidad de Protocolo	11
2.1.2 Descripción de las etapas del Protocolo PIEVC.....	12
2.1.2.1 Etapa 1 – Definición del proyecto.....	12
2.1.2.2 Etapa 2 - Obtención y suficiencia de los datos	12
2.1.2.3 Etapa 3 – Evaluación del riesgo.....	13
2.1.2.4 Etapa 4 -- Estudio técnico	14
2.1.2.5 Etapa 5 – Recomendaciones	15
2.2 Aplicación del protocolo	16
2.2.1 Resumen de los ajustes metodológicos.....	16
2.2.2 Explicación de los ajustes metodológicos	16
2.2.2.1 Selección y tipificación de los parámetros	16
2.2.2.1.1 Criterios para selección.....	16
2.2.2.1.2 Tipificación de los eventos según su ocurrencia.....	17
2.2.2.2 Análisis de la probabilidad de ocurrencia y de la gravedad	18
2.2.2.2.1 Análisis de la probabilidad	18
2.2.2.2.2 Análisis y ajuste de la gravedad del evento	19
2.2.2.3 Suficiencia de la información.....	20
2.2.3 Cálculo de riesgo y umbrales de tolerancia	21
2.2.3.1 Calculo de riesgo	21
2.2.3.2 Umbrales de tolerancia	21
2.3 Equipo y planes de trabajo.....	22
2.3.1 Equipo de trabajo	22
2.3.2 Sesiones de trabajo	24
3. ANALISIS CLIMATICO Y PROYECCIONES	26
3.1 Objetivos del análisis climático	26
3.1.1 Explicación del objetivo	26
3.1.2 Parámetros seleccionados	26
3.2 Métodos y fuentes de información	29
3.2.1 Información histórica para los parámetros climáticos.....	29
3.2.2 Proyecciones climáticas (futuro)	29
3.2.3 Marco temporal usado para el análisis.....	30
3.2.3.1 Período de registro.....	30
3.2.3.2 Período de proyección (futuro).....	30
3.3 Parámetros climáticos.....	31
3.3.1 Parámetros Recurrentes	31
3.3.1.1. Alta temperatura.....	31
3.3.1.1.1 Definición	31
3.3.1.1.2 Historial Climático	32

3.3.1.1.3 Análisis de probabilidad	32
3.3.1.1.4 Tendencia	32
3.3.1.1.5 Proyecciones climáticas	33
3.3.1.2 Oleaje.....	33
3.3.1.2.1. Definición	33
3.3.1.2.2 Historial Climático	36
3.3.1.2.3. Análisis de probabilidad	37
3.3.1.2.4 Tendencia	38
3.3.1.2.5 Proyecciones climáticas	38
3.3.1.3 Brisa marina.....	39
3.3.1.3.1 Definición	39
3.3.1.3.2 Historial climático	40
3.3.1.3.3 Análisis de probabilidad	40
3.3.1.3.4 Tendencia	41
3.3.1.3.5 Proyecciones climáticas	41
3.3.1.4 Descargas atmosféricas (rayería)	42
3.3.1.4.1 Definición	42
3.3.1.4.2 Historial climático	42
3.3.1.4.3 Análisis de probabilidad	43
3.3.1.4.4 Tendencia	44
3.3.1.4. 5. Proyecciones climáticas.....	44
3.3.2 Parámetros extremos.....	44
3.3.2.1 Lluvia de inundación	44
3.3.2.1.1 Definición	44
3.3.2.1.2 Historial Climático	45
3.3.2.1.3Análisis de probabilidad	45
3.3.2.1.4Tendencia	46
3.3.2.1.5 Proyecciones climáticas	47
3.3.2.2 Lluvia de sobrecarga.....	48
3.3.2.2.1Definición	48
3.3.2.2.2 Historial climático	48
3.3.2.2.3 Análisis de probabilidad	48
3.3.2.2.4 Tendencias.....	48
3.3.2.2.5 Proyecciones futuras.....	49
3.3.2.3 Huracanes.....	49
3.3.2.3.1Definición	49
3.3.2.3.2Historial Climático	50
3.3.2.3.3Análisis de probabilidad	52
3.3.2.3.4 Tendencia	52
3.3.2.3.5 Proyecciones climáticas.....	52
3.3.2.4 Viento (velocidad y dirección)	53
3.3.2.4.1 Definición	53
3.3.2.4.2. Historial climático	53
3.3.2.4.3 Análisis de probabilidad	54
3.3.2.4.4 Tendencia	54
3.3.2.4.5 Proyecciones climáticas.....	55
3.4 Resumen de resultados	56
3.4.1 Frecuencia y probabilidad actual para los parámetros de tipo recurrente.....	56
3.4.2 Frecuencia y probabilidad actual para los parámetros extremos	56

3.4.3. Tabla resumen de resultados.....	56
4. COMPONENTES DE INFRAESTRUCTURA	58
4.1 Sistema de recolección del alcantarillado sanitario.....	58
4.1.1. Elementos de Conexión con usuarios.....	58
4.1.2. Elementos de Transporte de Aguas Residuales	58
4.1.3. Elementos de Inspección (Pozos de Registro)	60
4.2 Estaciones de Bombeo	60
4.2.1 Mini estaciones costeras.....	62
4.2.2 Mini estaciones terrestres	63
4.2.3 Estaciones centrífugas.....	63
4.2.4 Estaciones sumergibles	65
4.3 Estación de preacondicionamiento (EPA).....	67
4.3.1 Edificio	69
4.3.2. Sistema ventilación	70
4.3.3 Compuertas, rejillas, canal Parshall, canal Interconexión.....	71
4.3.4 Militamices	72
4.3.5 Tornillo sin fin, canastas, sistema de izaje, transporte.....	73
4.3.6 Tanque cisterna	74
4.3.7 Bombas.....	74
4.3.8 Accesorios de la línea de bombeo	75
4.3.9 Estructura de rebalse	76
4.3.10 Panel de control.....	77
4.3.11 Planta eléctrica	77
4.4. Emisario submarino	78
4.4.1 Tuberías.....	78
4.4.2. Difusores.....	79
4.4.3. Válvula de cierre (flap)	79
4.4.4. Anclajes	80
4.5. Muro de protección contra oleajes	80
4.6. Personal.....	82
4.6.1. En el sistema de recolección de aguas residuales.....	82
4.6.2. En la EPA.....	84
4.6.3. En emisario submarino	85
4.7. Equipo de comunicación	86
4.7.1. Teléfonos en la EPA	86
4.7.2. Telemetría.....	86
4.7.3. Radio.....	86
4.7.4. Mensajería por Internet.....	86
5. ANALISIS DE RESULTADOS.....	87
5.1 Evaluación del Riesgo.....	87
5.1.1 Consideraciones de Desempeño	87
5.1.2 Cálculo de Riesgo	89
5.2. Análisis de Ingeniería.....	92
5.2.1. Lluvia de sobrecarga.....	93
5.2.2. Lluvia de inundación	97
5.2.3 Viento.....	102
5.2.3.1 Falla eléctrica.....	102
5.2.3.2 Disminución en la capacidad de tratamiento.....	104
5.2.3.3 Seguridad del personal	107

5.2.4. Descargas atmosféricas.....	108
5.2.5. Brisa Marina.....	109
5.2.6. Oleaje.....	110
5.2.7. Huracanes.....	111
5.2.8. Alta temperatura.....	112
5.3 Resumen de hallazgos.....	114
6. LIMITACIONES.....	116
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
7.1 Conclusiones	117
7.2 Recomendaciones	118
8- BIBLIOGRAFIA.....	120

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

El impacto de los desastres se ha incrementado considerablemente en las últimas décadas según señalan las estadísticas mundiales. En los países de menor desarrollo, la atención de los desastres se ha centrado en reconstruir la infraestructura dañada, en muchos casos construyendo las obras de reposición en los mismos sitios y con las mismas condiciones antecedentes al desastre, dando paso a ciclos reiterados de daños a las mismas; en lo que se ha denominado popularmente como la *reconstrucción de la vulnerabilidad*.

Respecto al cambio climático, en Costa Rica se cuenta con un trabajo intenso y una amplia divulgación de los efectos esperados a causa del calentamiento global, a partir de estudios desarrollados por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), por medio del Instituto Meteorológico Nacional (IMN); pero se ha carecido de abordajes que permitan entender adecuadamente los mecanismos de interacción entre los cambios en el clima y las posibles afectaciones a la infraestructura nacional.

Los países de avanzada han desarrollado y aplicado modelos matemáticos y probabilísticos para anticipar el conocimiento sobre las implicaciones que tendrían diversos tipos de eventos hidrológicos, sísmicos, geológicos, tecnológicos y de otra naturaleza; para tomarlos en cuenta al evaluar la infraestructura existente o en las obras programadas o a futuro.

El Protocolo PIEVC (Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee, www.pievc.ca) ha sido aplicado en varios países y ha demostrado ser un instrumento adecuado para contar con conocimiento adecuado sobre las implicaciones del cambio climático sobre diversos tipos de infraestructura civil pública; de manera que en este caso es una oportunidad para avanzar en el sector de agua potable y saneamiento. Sin dejar de expresar la necesidad de que sea aplicado a otras infraestructuras del sector y de otros sectores de la economía nacional.

Esta oportunidad surge por iniciativa del Colegio Federado de Ingenieros de Costa Rica que se ha constituido en el Socio de proyecto y Engineers Canada, cuyos compromisos quedaron plasmados en un memorando de acuerdo. AyA es la institución propietaria de la infraestructura que será evaluada, y el equipo de estudio estuvo constituido por funcionarios del AyA, del IMN y del CFIA.

1.2 Detalles del estudio

1.2.1 Ubicación del área de estudio.

La figura 1-1 muestra la zona de estudio del proyecto, ubicado en la Costa Caribe de Costa Rica. La infraestructura objeto del estudio es el sistema recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales de la ciudad de Limón compuesto por: la red de

recolección de aguas residuales y estaciones de bombeo, la estación de preacondicionamiento (EPA) y el emisario submarino.

La Figura 1.1 muestra la zona de estudio del proyecto, ubicado en la Costa Caribe de Costa Rica. El sistema objeto del estudio consiste en el sistemas de aguas residuales de la ciudad de Limón.



Figura 1.1. Área de estudio localizado en la Región del Caribe de Costa Rica.

1.2.2 Objetivos del estudio

El objetivo principal del estudio de caso es identificar los componentes del sistema de Alcantarillado Sanitario de la Ciudad de Limón, que se encuentran en riesgo incremental de fallar o de sufrir deterioro, así como los riesgos de reducciones en la efectividad de operación o en el ciclo de vida; debido a cambios potenciales por efecto del Cambio Climático, cuya determinación se alcanza mediante el uso del Protocolo PIEVC.

1.2.3 Alcances del estudio

Durante la fase inicial del estudio, el equipo de trabajo discutió y adoptó un esquema conceptual para definir los alcances del proyecto, y para orientar las diferentes fases del estudio de vulnerabilidad a partir de un abordaje sistémico.

Este abordaje consiste en que la vulnerabilidad está determinada por la posible afectación respecto al funcionamiento y a la estabilidad, debida a:

- a) Efectos directos: que son los potenciales efectos del cambio climático que inciden sobre la infraestructura en estudio, denominada EPA y sobre el emisario.
- b) Efectos indirectos: que son los potenciales efectos del cambio climático que inciden directamente sobre los otros componentes del sistema y que inducen efectos sobre la EPA y el emisario.

En este estudio, al aplicarlo a la situación de Costa Rica, se encontró que cuando existe infraestructura (otro sistema relacionado) cuya operación interactúa con el sistemas en estudio o cuya falla afectaría a la estructura principal, debe evaluarse en forma paralela, destacándose así las interrelaciones e identificando las medidas que se deben adoptar en ese sistema, para asegurar la adaptación del cambio climático de la infraestructura principal en estudio. Estas relaciones se muestran en el esquema de la Figura 1.2

muestra la conceptualización, donde se considera la existencia de interrelaciones por estar la infraestructura ubicada bajo la influencia de los ambientes terrestre y marino.

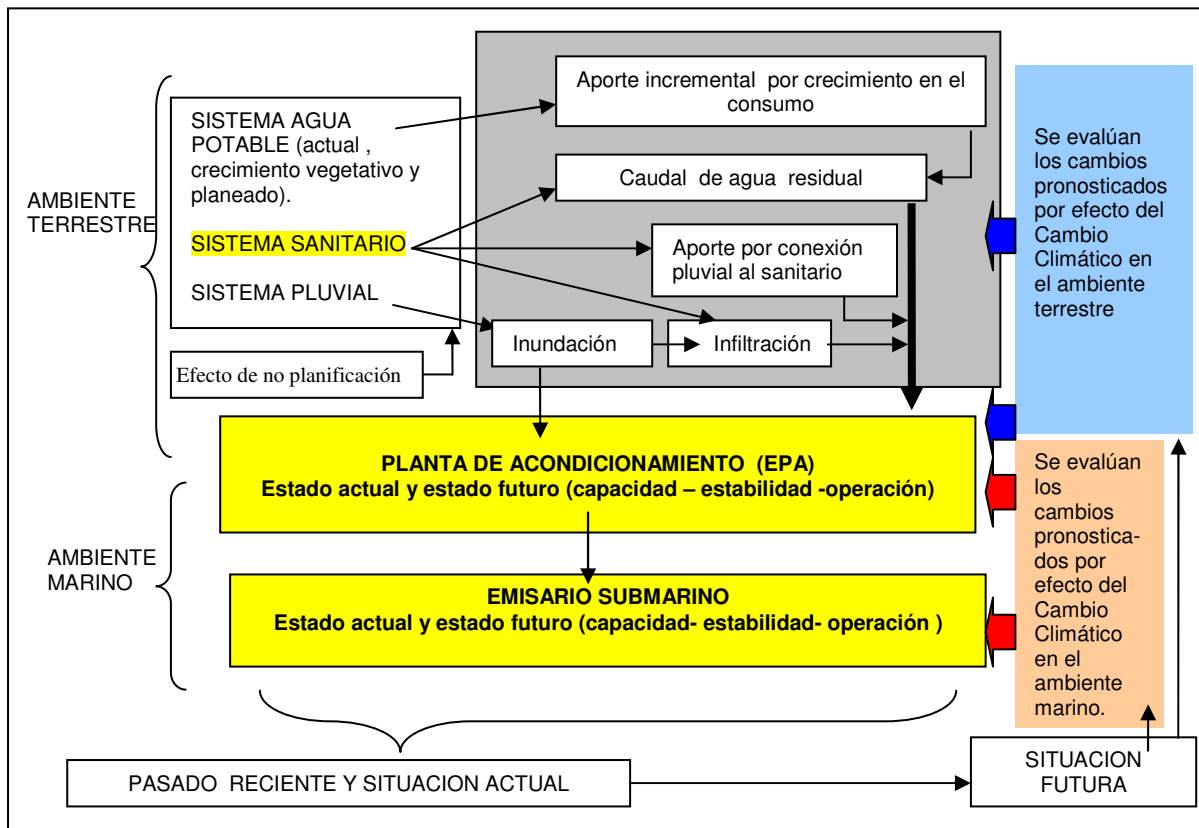


Figura 1.2. Esquema conceptual de los sistemas relacionados para evaluar la vulnerabilidad ante cambio climático de la infraestructura seleccionada.

Para el desarrollo de la evaluación, se requiere desagregar cada una de las infraestructuras civiles en sus componentes que son susceptibles a sufrir el efecto potencial del Cambio Climático, al variar las condiciones del clima histórico conocido, en un plazo definido de 30 años (entre el 2011 y el 2040), plazo que fue propuesto por el AyA como propietaria de la infraestructura y que luego fue aprobado por acuerdo del equipo de trabajo.

En el ambiente terrestre se determinó que existen tres sistemas relacionados (Fig. 1-2) y que aportan agua a la EPA y al emisario submarino y que por lo tanto deben ser analizados para conocer la carga que ocurre sobre los componentes en estudio por el proyecto, dado que determinan salida de operación de la EPA, y la afectación del ciclo de vida de la infraestructura. Esos son:

- Sistemas de agua potable,
- Sistemas de aguas residuales,
- Sistemas pluviales.

Sin embargo solo los dos primeros sistemas están bajo la jurisdicción del AyA y el otro es de administración municipal, lo que limita los alcances del estudio, por acceso a información. Esto incluye limitaciones de acceso a información de tipo hidrológico e hidráulico respecto a las cuencas urbanas que aportan aguas de lluvia a la EPA, subsanadas a partir de criterios cualitativos, cuando ha sido necesario. En todo caso que ocurran situaciones similares, donde exista faltante de información se deja constancia de la necesidad de estudios posteriores cuando sea el caso.

1.2.4 Estado del conocimiento

Con la finalidad de ubicar al propietario de la infraestructura, respecto a la relevancia de este tipo de análisis, y siguiendo el formato y enfoque de uno de los estudios revisados (GENIVAR. 2010); se consideró importante contar con una revisión sobre el estado del conocimiento sobre los impactos en sistemas de agua potable y saneamiento, ocurridos a causa del clima actual y del cambio climático. Dado que es importante conocer como se han abordado los estudios:

- En sistemas de agua potable y saneamiento (APS) en general,
- En sistemas costeros y emisarios submarinos.

Además es conveniente contar con información respecto a cómo enfrentaron la fase de estudio y como se tomarán las medidas de adaptación.

Los documentos analizados se enlistan en la bibliografía, sin embargo se seleccionaron dos estudios como referencia principal.

Estos fueron en orden descendente de importancia:

- Vulnerability Assesment Undertaken for the Claireville and G. Ross Lord Dams and Reservoirs in accordance with the Public Infrastructure Engineering Vulnerability Committee (PIEVC). Draft report. 17 march 2010. Genivar.
- Metro Vulnerability of Vancouver Sewerage Area Infrastructure to Climate Change, Metro Voncouver, Britisth Columbia. Final report. march 2008. KERR WOOD LEIDAL – Associated Engineering.

2. PROTOCOLO PIEVC Y METODOLOGIA DE ANALISIS

2.1 Explicación del Protocolo PIEVC

2.1.1 Finalidad de Protocolo

En esta sección se presenta una revisión del Protocolo PIEVC (Engineering Protocol for Climate Change Infrastructure Vulnerability Assessment - April, 2009), que se denominará en forma abreviada como “Protocolo”, en este documento.

El Protocolo consiste en un proceso paso a paso, diseñado para conducir estudios ingenieriles de vulnerabilidad en infraestructura debido a los efectos esperados como consecuencia del cambio climático; permitiendo identificar las interacciones más relevantes entre clima e infraestructura, en el diseño, la construcción y la gestión de infraestructura ya existentes; con el fin de que se tomen las medidas necesarias para incorporar la adaptación al cambio climático.

Tal aspecto incide en el planeamiento de las inversiones y en la operación de los sistemas.

Para lograr esos resultados, el grupo evaluador debe contar con suficiente y adecuada información para abordar el análisis de:

- La infraestructura (sistema principal) motivo del estudio,
- El clima reciente, histórico y proyectado en la zona de estudio,.
- Las respuestas históricas o pronosticadas sobre la infraestructura ante el cambio climático.

El Protocolo consiste en desarrollar las siguientes 5 etapas:

- Etapa 1 – Definición del proyecto,
- Etapa 2 – Obtención y análisis de la suficiencia de los datos,
- Etapa 3 – Evaluación de Riesgo
- Etapa 4 – Estudio Técnico,
- Etapa 5 – Recomendaciones.

El Protocolo PIEVC ha sido aplicado a:

1. Edificios,
2. Carreteras y estructuras afines (puentes, alcantarillas, otros),
3. Redes de recolección y tratamiento de aguas residuales y pluviales,
4. Redes de recursos hídricos (agua potable, presas de regulación y control de inundaciones,
5. Otras aplicaciones.

A continuación se presenta una breve descripción de los contenidos del Protocolo PIEVC.

2.1.2 Descripción de las etapas del Protocolo PIEVC

A continuación se presentan las etapas que aplica el Protocolo, transcritas del documento de Canadian Council of Professional Engineers, con algunos ajustes menores.

2.1.2.1 Etapa 1 – Definición del proyecto

En la etapa 1, el profesional deberá elaborar una descripción general de:

- La infraestructura
- El lugar
- Los datos climáticos históricos
- La carga involucrada
- La antigüedad
- Otros factores relevantes

En esta etapa, el profesional determina las condiciones límites para la evaluación de la vulnerabilidad y debe identificar las principales fuentes de información. Al final de esta etapa, la cantidad y calidad de los datos es revisada, a partir de los supuestos adoptados y de su razonabilidad.

Si se determina que las condiciones de frontera de los sistemas en estudio no fueron definidas adecuadamente, o que los datos son insuficientes, se debe replantear y mejorar el proceso para buscar e incorporar la información faltante.

Si la información no puede ser desarrollada, se debe indicar en la Etapa 5 – Recomendaciones, como un hallazgo.

2.1.2.2 Etapa 2 - Obtención y suficiencia de los datos

En la etapa 2, el profesional deberá proporcionar una información más detallada acerca de:

1. Qué partes de la infraestructura serán evaluadas
2. Qué factores climáticos específicos serán considerados

La etapa 2 comprende dos actividades clave:

1. La delimitación de las características de la infraestructura que serán tomadas en cuenta en la evaluación considerando:
 - a) los elementos físicos de la infraestructura,
 - b) la cantidad de elementos físicos,
 - c) el lugar o lugares donde se ubican.

Otras consideraciones importantes de carácter técnico o de ingeniería a tomar en cuenta son:

- Los materiales de la construcción
- Antigüedad de la infraestructura
- Importancia dentro de la región
- La condición física
- Las operaciones y las prácticas de mantenimiento
- Operación y gestión de la infraestructura:
- Consideraciones relativas a los seguros

- Políticas
- Directrices
- Reglamentos
- Consideraciones de índole legal

2. Identificación de los datos climáticos aplicables cuyas fuentes son, entre otras:

- Códigos de construcción del país donde se aplica el Protocolo.
- Curvas de intensidad, duración y frecuencia (curva IDF)
- Cartografía de la zona de estudio.
- Modelos climáticos específicos según la región
- Otras fuentes, según corresponda

El profesional deberá ejercer su buen criterio basado en su experiencia y formación. La etapa 2 abarca un proceso interdisciplinario que requiere conocimientos especializados en materia de ingeniería, climatología, operaciones, mantenimiento y gestión. El profesional debe asegurar que se cuenta con la correcta combinación de conocimientos especializados tanto por parte del equipo de evaluación como mediante los servicios de consultoría brindados por otros profesionales durante la evaluación.

En la etapa 2, se debe además determinar si la información es adecuada; puesto que si los datos obtenidos son de pobre calidad, tienen altos niveles de incertidumbre, o están faltando datos importantes; la información será insuficiente.

Esta etapa permite a los evaluadores reevaluar las fuentes de datos, los métodos para obtener la información, rellenar datos faltantes y conducir las actividades necesarias para obtener la información faltante, si se determina que faltan datos o que los existentes son insuficientes. Si los datos no pueden ser desarrollados o obtenidos, se debe indicar en el Punto 5 – Recomendaciones, como un hallazgo.

2.1.2.3 Etapa 3 – Evaluación del riesgo

En la etapa 3, el profesional deberá identificar las interacciones entre la infraestructura, el clima y otros factores que podrían provocar la vulnerabilidad, entre ellos:

- Elementos específicos de la infraestructura
- Valores de parámetros específicos relativos al cambio climático
- Objetivos específicos de rendimiento

El Protocolo exige que el profesional identifique los elementos de la infraestructura que serán sensibles a los cambios bajo ciertos parámetros climáticos. El profesional deberá evaluar esta sensibilidad en el contexto de las expectativas en materia de rendimiento y de otras exigencias impuestas a la infraestructura. El rendimiento de la infraestructura puede verse influenciado por una serie de factores. El Protocolo recomienda al profesional considerar el ambiente global que abarca la infraestructura.

En este punto del Protocolo, el profesional, con el acuerdo del socio de proyecto, del personal de gestión, de ingeniería y de operaciones, realizará una evaluación del riesgo de la vulnerabilidad de la infraestructura debido al cambio climático. Las interacciones identificadas serán evaluadas basadas en el criterio profesional del equipo de evaluación. La evaluación del riesgo servirá para identificar las áreas de mayor preocupación.

El profesional precisará aquellas interacciones que necesiten una evaluación adicional. El proceso de evaluación no requiere que todas las interacciones se sometan a un análisis particular.

De hecho, en la mayoría de las evaluaciones la mayor parte de las interacciones consideradas, será finalmente descartadas. Ciertas interacciones pueden presentar explícitamente un riesgo nulo o insignificante. Algunas interacciones pueden indicar claramente un alto riesgo y la necesidad de una intervención inmediata. Aquellas interacciones que no establezcan una respuesta clara con respecto a la vulnerabilidad pueden estar sujetas a un estudio técnico adicional, tal como se señala en la Sección 8.4. del documento del Protocolo.

En esta etapa, el profesional debe igualmente evaluar la disponibilidad y calidad de los datos. Si, según su criterio se identifica un riesgo potencial de vulnerabilidad que requiere información a la que el equipo de evaluación no tiene acceso, el Protocolo exige que el profesional revise cada etapa, a fin de recabar y mejorar los datos para permitir la ejecución de una evaluación de los riesgos o un estudio técnico.

El profesional puede determinar si ese proceso necesita otros trabajos que vayan más allá del alcance de la evaluación. Esta circunstancia debe indicarse en el punto relativo a las recomendaciones en la etapa 5, lo que representa una decisión clave en el Protocolo.

El profesional debe determinar lo siguiente:

- a) Las interacciones que requieren una evaluación adicional
- b) Los aspectos que necesitan una mejora de los datos
- c) Las recomendaciones iniciales relativas a:
 - Nuevos estudios
 - Medidas correctivas inmediatas
 - Infraestructura no vulnerable

2.1.2.4 Etapa 4 -- Estudio técnico

En la etapa 4, el profesional efectuará un estudio técnico enfocado en las interacciones que requieran una evaluación adicional, según se indica en la etapa 3. Se debe evaluar el impacto en la infraestructura y su capacidad considerando las cargas proyectadas a causa de cambio climático.

El Protocolo define las ecuaciones que guían al profesional en la evaluación numérica de:

- a) La carga total de la infraestructura que abarca:
 - La carga actual puesta en la infraestructura
 - El cambio de carga proyectada proveniente de los efectos del cambio climático sobre la infraestructura
 - El cambio de carga proyectada proveniente de los efectos de otros cambios en la infraestructura.

- b) La capacidad total de la infraestructura que abarca:
 - La capacidad actual,
 - Cambio de capacidad proyectada proveniente de la antigüedad y el uso dado a la infraestructura
 - Otros factores que pueden afectar la capacidad de la infraestructura.

Basados en los análisis numéricos, podemos afirmar que: existe vulnerabilidad si la carga total proyectada excede la capacidad total proyectada y existe una capacidad de adaptación si la carga total proyectada resulta menor que la capacidad total proyectada.

En esta etapa, el profesional debe proceder a efectuar una última evaluación acerca de la disponibilidad y calidad de los datos. Si, siguiendo su criterio profesional, la calidad de los datos o el error aleatorio no permite la obtención de conclusiones claras del estudio técnico, el Protocolo indica al profesional que revise la etapa 1 y/o etapa 2 con el fin de recabar y mejorar los datos a un nivel suficiente que permita un estudio técnico riguroso. El profesional puede determinar que este proceso requiere un trabajo adicional que está fuera del alcance de la evaluación. En ese caso, esto debe ser indicado en las recomendaciones que aparecen en la etapa 5.

Una vez que el profesional tenga la confianza suficiente en los resultados del estudio técnico, el Protocolo alcanza otro punto de decisión clave. El profesional debe decidir entre:

- Hacer recomendaciones basado en su análisis (etapa 5)
- Revisar el proceso de la evaluación del riesgo basado en los nuevos datos mejorados obtenidos del estudio técnico (etapa 3).

2.1.2.5 Etapa 5 – Recomendaciones

En la etapa 5, el profesional debe formular las recomendaciones basado en el trabajo realizado en las etapas 1 a 4. Generalmente, las recomendaciones se dividirán en cinco categorías principales:

1. Se requiere de medidas correctivas para mejorar la infraestructura
2. Se necesita una acción de gestión para responder a los cambios en la capacidad de la infraestructura
3. Se debe continuar supervisando el rendimiento de la infraestructura y reevaluarla en el futuro

4. Existen vacíos en cuanto a la disponibilidad y calidad de los datos lo que requiere un trabajo adicional.
5. No se requiere de una intervención adicional

El profesional puede identificar conclusiones o recomendaciones adicionales con respecto a la veracidad de la evaluación, la necesidad de realizar otras evaluaciones o sectores que fueron excluidos de la presente evaluación.

2.2 Aplicación del protocolo

2.2.1 Resumen de los ajustes metodológicos

Durante el proceso desarrollado, se aplicó íntegramente la metodología aportada por el Protocolo PIEVC (Canadian Council of Professional Engineers – abril 2009) , salvo en los siguientes aspectos:

- a) El caso de la diferenciación sobre las cargas que se generan y que puedan afectar y ponen en riesgo la infraestructura. En este caso se establece la posibilidad de diferenciar entre eventos que ocurren en un año dado y cuyo efecto depende más de la persistencia del mismo que de la ocurrencia del evento; de los eventos en los que se depende de la carga que se genera sobre el componente de la infraestructura por un evento extremo o extraordinario en un año dado. Lo anterior fue adoptado por el equipo de trabajo de Costa Rica, con base en el análisis del estudio realizado por Genivar, realizado para los embalses G. Roos y Clairville.
- b) Inicialmente los factores de la escala de gravedad se tomaron de la pag 47 de 76 del Protocolo PIEVC, sin embargo el equipo de trabajo encontró dificultades al aplicarlos porque al referirse a la gravedad contenían a su vez aspectos relacionados con la probabilidad de ocurrencia. En consecuencia se introdujo los cambios que se explica posteriormente en el apartado correspondiente.
- c) El equipo de trabajo consideró adecuado establecer criterios de selección de la información para poder asegurar la calidad del proceso de asignación del riesgo, para esto se aplicaron las categorías, los criterios y las decisiones que se indican en este capítulo.

2.2.2 Explicación de los ajustes metodológicos

2.2.2.1 Selección y tipificación de los parámetros

2.2.2.1.1 Criterios para selección

Para establecer las definiciones de los parámetros previamente indicados, el grupo de trabajo, siguiendo los procedimientos utilizados en los estudios consultados (GENIVAR. 2010; ¹) hizo varias aproximaciones y finalmente estableció los siguientes criterios:

- a) la disponibilidad de información sobre eventos ocurridos (umbrales de carga que ocurrieron en fechas registradas en bitácoras) que afectaron los componentes de la infraestructura objeto del análisis,

¹ GENIVAR. 2010. Flood control Dam Water Resources Infrastructure Assessment.

- b) La posibilidad de contar con información sobre el parámetro climático relacionándolo con los eventos ocurridos, indicados previamente, para eventos en análisis de clima actual.
- c) La posibilidad de contar con información sobre el parámetro climático relacionándolo con eventos en análisis de clima futuro,
- d) la posibilidad del equipo de relacionar esa información con una frecuencia de ocurrencia y con una probabilidad de acuerdo a escalas prefijadas.
- e) Como resultado de la experiencia de este proceso se encontró muy relevante contar con información (umbrales) de carga y de un adecuado proceso de preparación de la información climatológica.

2.2.2.1.2 Tipificación de los eventos según su ocurrencia

De los parámetros que sean seleccionados, se considera conveniente tipificar los parámetros dependiendo de la naturaleza de los mismos, y para analizar como las cargas que se generan y que puedan afectar y ponen en riesgo la infraestructura.

En el estudio de Genivar, realizado para los embalses G. Roos y Clairville al designar las clase "Tier 1 y Tier 2" en su pag 3-2. (Punto 3.1.3), y en pag 3-4 y 3-5 (Punto 3.1.6), establece la posibilidad de diferenciar entre eventos que ocurren en un año dado y cuyo efecto depende más de la persistencia del mismo que de la ocurrencia del evento; de los eventos en los que se depende de la carga que se genera sobre el componente de la infraestructura por un evento extremo o extraordinario en un año dado.

Tales aspectos no se consignan en el Protocolo PIEVC en la versión utilizada en estudio realizado en el período 2010-2011.

Debido a la separación anterior realizada a los parámetros el cálculo de las probabilidades para cada uno de los grupos de parámetros se realizará de manera distinta, debido a la naturaleza de los mismos y como estos afectan a la infraestructura, siempre que se disponga de datos sobre las cargas de diseño de la infraestructura a evaluar.

El grupo separó los parámetros que tienen una alta recurrencia anual (**Recurrente**) y los parámetros extremos (**Extremo**). **Ver Cuadro 2-1**

Cuadro 2-1 Tipificación de eventos según su ocurrencia.

Tipo de parámetro	Descripción
Recurrente	En este caso el efecto de la carga sobre los componentes de la infraestructura analizada, depende más de la persistencia del mismo que de la ocurrencia del evento en un año dado.
Extremo	En este caso el efecto de la carga sobre los componentes de la infraestructura analizada, depende de un evento de tipo extremo o extraordinario en un año dado.

Para los parámetros de tipo extremo se tiene un período de retorno más amplio y por lo tanto están más asociados a las cargas de diseño de la infraestructura a evaluar.

2.2.2.2 Análisis de la probabilidad de ocurrencia y de la gravedad

2.2.2.2.1 Análisis de la probabilidad

El proceso para determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento, se llevó a cabo tomando en consideración las ocurrencias históricas y luego calculando la probabilidad, para efecto de calcular las probabilidades se utilizó el método desarrollado en el Protocolo y el estudio de Genivar y se realizaron ajustes según se explica en este apartado.

De acuerdo como lo establecido por el Protocolo PIEVC, los factores de la escala de probabilidad están definidos de 0 a 7, los analistas deben expresar su opinión profesional con respecto a la probabilidad de que ocurra un evento climático, lo cual no debe de ser confundido con las consecuencias del referido evento. (CVIIP, 2009).

Se requiere una relación numérica para definir la posibilidad de que se genere un evento climático como tal en un período definido, para ello se inicia con el proceso de discriminación a partir de la pregunta ¿Cuál es la probabilidad de que un evento ocurra en un período de tiempo definido? Este período de tiempo puede ser una vez por año.

Para utilizar los métodos B o C se requiere información histórica para poder definir la probabilidad en un año definido, en vista de que no todos los parámetros climáticos tienen un amplio registro histórico.

Para efectos de la selección de la probabilidad para parámetros de tipo recurrente o extremo se utilizó el criterio desarrollado para este estudio (Bolaños, F; Rodríguez, A; Zamora, P; Villalobos, H. 2011) y que se incorpora en el **Anexo 2** de este documento.

En el Cuadro 2-2 se muestran los rangos para definir el valor de la probabilidad a partir de la ocurrencia del evento, ya se trate del análisis de clima actual o de clima futuro.

Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos.

Escala de probabilidad	Términos descriptivos	Eventos recurrentes (1)	Eventos extremos (2)
0	Poco significativo o no se aplica	<0.1	0
1	Improbable / muy poco probable	5%	>0 a 0.05
2	Remota	20%	0.05 a 0.1
3	Ocasional	35%	0.1 a 0.25
4	Moderada/posible	50%	0.25 a 0.75
5	A menudo	65%	0.75 a 1.25
6	Probable	80%	1.25 a 2
7	Con certeza/muy probable	>95%	> 2

Fuente.

(1) Método B de la Figura 8 de Pag 46 del Protocolo PIEVC

(2) Tabla 3-1 de la pag. 3-4 del documento de Genivar para los embalses de regulación de Claireville y G. Ross.

Los rangos indicados y los términos utilizados en el Cuadro 2-2 provienen de la Tabla 3-1 de la pag. 3-4 del documento de Genivar para los embalses de regulación de Claireville y G. Ross. Para desarrollarlos, el equipo Genivar consideró el número de ocurrencias por año, según rangos asignados completando muchos ejemplos donde se relacionaron las probabilidades con los términos descriptivos.

2.2.2.2.2 Análisis y ajuste de la gravedad del evento

Según establece el Protocolo PIEVC (pag 45 de 76) , el equipo profesional debe asignar un valor de riesgo para cada una de las interacciones entre los componentes de la infraestructura que fueron enlistados en la Matriz 3 facilitada como parte del Protocolo.

Los factores de la escala de gravedad se tomaron de la pag 47 de 76 del Protocolo PIEVC, sin embargo el equipo de trabajo encontró dificultades al aplicarlos porque contenían aspectos relacionados con la probabilidad de ocurrencia. En consecuencia se introdujo los cambios que se explica.

El grupo consideró necesario excluir de esta tabla los términos que se utilizan simultáneamente: en el cuadro descriptivo de las probabilidades (Figura 8 , por ejemplo: probable, ocasional) y en el cuadro de escala de gravedad (Figura 9). Igual se consideró necesario excluir términos que son sinónimos; por ejemplo frecuente que significa a menudo y probablemente regulares que significa que puede suceder (ambos términos utilizado en el cuadro de Figura 9). Se aclara que las figuras indicadas son del documento de Protocolo PIEVC.

La tabla resultante se muestra en el Cuadro 2-3.

Cuadro 2-3 Factores de escala de gravedad.(Método E)

Escala	Calificación de la gravedad de las consecuencias y efectos
0	poco significativa o no se aplica
1	cambio medible muy bajo/ escaso
2	cambio en la capacidad de servicio Baja / poca / mínima
3	pérdida parcial de ciertas capacidades
4	Pérdida moderada de cierta capacidad
5	Pérdida de capacidad y pérdida parcial de función
6	Pérdida de función considerable/crítica
7	Pérdida de activos extrema/continua

FUENTE: modificado de protocolo PIEVC . Figura 9 de página 47 de 76.

2.2.2.3 Suficiencia de la información

En el proceso de estudio, se considero conveniente establecer criterios para determinar la suficiencia de la información de tipo climático:

- a) Realizar el análisis de todos los fenómenos o parámetros de tipo climático para conocer las condiciones imperantes en la zona.
- b) Enfocarse en el estudio del clima actual y del clima futuro en la zona.
- c) Asegurar que no se den redundancias por cargas originadas por diferentes parámetros.
- d) Categorizar la suficiencia de la información climática y de umbrales de carga ocurridos, respecto a los componentes de infraestructura, para seleccionar los parámetros que se utilizan en la fase de valoración del riesgo.

A partir de un primer análisis mediante el cual se establecieron conclusiones respecto a: los efectos esperados a partir de tendencias históricas, y proyecciones climáticas del IMN (Rojas, N. 2010); se establecieron criterios de selección de la información que se explican en el **Anexo 1** (Vargas, C; Rodríguez, A; Zamora, P; Villalobos, H; Araya, A. 2011).

Para asegurar la calidad del proceso de asignación del riesgo, se aplicaron las categorías, los criterios y las decisiones que se indican en el Cuadro 2.4.

Cuadro 2-4 Definición de suficiencia de la información.

Categoría	Criterios	Decisión
A	Existe un umbral para el parámetro analizado -basado en afectación a la infraestructura que se está evaluado. No existe redundancia entre el parámetro y otros parámetros incluidos en el estudio respecto a la carga sobre la infraestructura. La información meteorológica está disponible en unidades temporales comparables.	Se utiliza el parámetro en el análisis de riesgo (Matriz 3) a partir de la asignación de probabilidad y de gravedad. Se aplica el criterio de análisis de umbrales de tolerancia. Se realiza el estudio de ingeniería. Se pasa el Capítulo 7 de recomendaciones.
B	NO existe un umbral para el parámetro analizado - basado en afectación a la infraestructura que se está evaluado. Existe redundancia entre el parámetro y otros parámetros incluidos en el estudio respecto a la carga sobre la infraestructura. La información meteorológica NO está procesada en unidades temporales comparables.	Se estudia el parámetro analizado desde la perspectiva climática y se incluye en el informe. NO se utiliza el parámetro en el análisis de riesgo (Matriz 3) a partir de la asignación de probabilidad y de gravedad. NO se aplica el criterio de análisis de umbrales de tolerancia. NO se realiza el estudio de ingeniería. Se pasa al Capítulo 7 de recomendaciones.

Para este estudio, respecto al concepto de carga: si dos fenómenos climáticos tales como huracanes y ondas tropicales inducen aumento de lluvias (carga de lluvia en mm/día en ese caso) se excluye uno de los dos; previo análisis de las otras cargas que no son coincidente y de la importancia de la carga adicional que se genere (tormentas eléctricas)

2.2.3 Cálculo de riesgo y umbrales de tolerancia

En esta parte del protocolo se considero que no era necesario realizar ningún ajuste y por tanto se utilizó lo indicado por el documento guía. No obstante el grupo de trabajo tiene claro que se deberán desarrollar a futuro criterios más adecuados a Costa Rica, sin excluir que se validen los valores y criterios utilizados en este primer estudio.

2.2.3.1 Calculo de riesgo

Siguiendo el procedimiento indicado por el Protocolo PIEVC se presentan las etapas que comprenden el cálculo de riesgo para lo que se hace uso de la Matriz 3 del protocolo PIEVC:

- a) el equipo de trabajo (ver apartado 2.3.1) selecciona los componentes de la infraestructura que está siendo analizada.
- b) Se analiza con criterio experto la existencia o no de interacciones entre parámetros climáticos y las cargas generadas sobre los componentes de las infraestructura, (ver apartado 2.3.1)
- c) Se consigna un sí o no dependiendo de que exista o no interacción, que determine o no la necesidad de una evaluación adicional.
- d) Se asigna el valor de la probabilidad de ocurrencia del evento (P) según se indica en Cuadro 2-2.
- e) Se asigna el valor de la gravedad (G) de la carga originada por el parámetro estudiado sobre el componente de infraestructura que está siendo analizado según se indica en Cuadro 2-3.
- f) Se calcula el riesgo (R) a partir de el uso de la ecuación

$$R = P \times G$$

Este proceso se realiza para:

- a) las condiciones de clima histórico y actual (para valores de P y de G seleccionados)
- b) para las condiciones de clima futuro. (para valores de P para condiciones de clima futuro y el mismo valor de G seleccionados en el paso anterior)

2.2.3.2 Umbrales de tolerancia

Los umbrales de tolerancia al riesgo fueron revisados por el equipo de trabajo y se adoptaron los intervalos de riesgo provistos en el protocolo PIEVC (Figura 10 pag 51 del Protocolo PIEVC) En esa fase, se discutió la posibilidad de modificar estos umbrales, sin embargo al final se decidió que se utilizarían los valores y el tipo de respuesta incluidos en el protocolo y que se muestran en el Cuadro 2-5.

Cuadro 2-5 Umbrales de Tolerancia al Riesgo

Rango de Riesgo	Tolerancia	Respuesta
< 12	Riesgo Bajo	No es necesaria una acción inmediata
12 – 36	Riesgo Medio	Acción puede ser requerida Análisis de ingeniería puede ser requerido
> 36	Riesgo Alto	Requiere acción inmediata

La explicación de la tolerancia es la siguiente:

Riesgo bajo: Interacciones de riesgo bajo representan vulnerabilidad no inmediata. Basado en criterio experto, la vulnerabilidad potencial al cambio climático asociada con el componente de infraestructura es muy bajo. Por lo tanto no son necesarias acciones posteriores.

Riesgo medio: Interacciones de riesgo medio caracterizan una vulnerabilidad potencial. Basado en criterio experto, la vulnerabilidad asociada al potencial cambio climático asociada con el componente de infraestructura existe, y el análisis de ingeniería podría ser necesario para proveer una clara determinación de la vulnerabilidad.

Riesgo alto: Interacciones de riesgo alto caracterizan e identifican vulnerabilidad. Basado en criterio experto, la potencial vulnerabilidad asociada a cambio climático con el componente de infraestructura es identificada, y una acción inmediata puede ser requerida.

2.3 Equipo y planes de trabajo

2.3.1 Equipo de trabajo

Un aspecto relevante que se observa en la conformación del equipos de trabajo que realizó los estudios analizados es que se contó con:

- a) la organización dueña de la infraestructura,
- b) el operador de la infraestructura evaluada
- c) organizaciones que obtienen y procesan la información climática,
- d) una empresa consultora,
- e) una organización auspiciadora del proceso,
- f) y la organización propietaria del Protocolo PIEVC.

Para el presente estudio, se contó con las organizaciones indicadas exceptuando que no se hizo la contratación de una empresa consultora, en consecuencia el desarrollo del estudio se debió realizar por funcionarios de las instituciones, los cuales tenían ya otras tareas asignadas en sus propios programas de trabajo tanto de oficina como de campo. Esto causó que debieran negociarse espacios para cumplir todas las tareas que surgen con la aplicación de protocolo.

Finalmente, aunque se presentaron retrasos en las etapas intermedias, se cumplieron los plazos finales.

El grupo de trabajo se constituyó mediante un equipo de ingenieros y profesionales con formación y experiencia en:

- a) Operación de los sistemas de agua potable y saneamiento, sistemas pluviales.
- b) Diseño y operación de sistemas de agua potable y saneamiento,
- c) Experiencia en desarrollo físico,
- d) Gestión ambiental y Gestión de riesgo ante desastres,
- e) Tratamiento de aguas residuales.

Es fundamental destacar que el personal que conformó el equipo de trabajo, conoce la zona de estudio muy detalladamente ya sea por ser funcionarios radicados en la zona y con funciones de operación y mantenimiento de los sistemas objeto del estudio o por haber realizado estudios para el AyA en la zona.

Entre los aspectos positivos se debe destacar que AyA como organización propietaria de infraestructura evaluada, logró:

- a) una adecuada interacción con el Protocolo PIEVC para el caso en estudio como parte del proceso de aprendizaje y adopción de la metodología,
- b) se genera la posibilidad de poder aplicar este protocolo a otras infraestructuras de agua potable y saneamiento, siempre que se cuente con información.
- c) Se tiene más claridad sobre la información que el propietario de la infraestructura (AyA en este caso), debe recopilar para poder lograr una adecuada selección de los umbrales críticos para los componentes de la infraestructura evaluada. Esto es imprescindible para poder dimensionar y definir los parámetros climáticos a estudiar.

En esta etapa es conveniente trabajar en forma integrada entre el personal de la organización propietaria de la infraestructura evaluada, con el personal de la organización que elaboró el estudio climático.

El equipo de trabajo estuvo compuesto por:

AyA

Dr. Ing. Luis Carlos Vargas Fallas. Ingeniero civil, con posgrado en Manejo de Cuencas Hidrográficas Tropicales, Posgrado en Ciencia Naturales para el Desarrollo; experiencia de más de 25 años en operación y mantenimiento de sistemas de agua potable y aguas residuales, gestión ambiental, desarrollo y aplicación de modelos matemáticos de flujo de agua. Ha sido docente de la Escuela de Salud Pública de la UCR. Ex Director de Gestión Ambiental y Director actual de la UEN de Investigación y Desarrollo. Coordinador del estudio por AyA.

Ing Alejandro Rodríguez Vindas; Ingeniero civil, con experiencia de 8 años en operación y mantenimiento de sistemas de agua potable y saneamiento, Jefe de ingeniería de la Región Huetar Atlántica.

Ing Hernán Villalobos Slon Ingeniero civil, con experiencia de 3 años en aplicación de modelos matemáticos para estudio de calidad de agua en cuencas hidrográficas, desarrollo de sistemas digitales de datos meteorológicos e hidrológicos. Miembro del grupo de la Dirección de la UEN Investigación y Desarrollo.

Ing Patricia Zamora Cordero, Ingeniera civil, con experiencia de 25 años en planificación y desarrollo físico de sistemas de agua potable y saneamiento, desarrollo de planes maestros y diseño de sistemas. Forma parte del personal de la UEN de Programación y Control.

M.Sc Ing. Alvaro Araya García. Ingeniero civil, con posgrado en Ingeniería Sanitaria, con experiencia de más de 10 años en estudios y diseños, operación y mantenimiento de sistemas de aguas residuales, estudios ambientales. Director de la UEN de Aguas residuales de la Subgerencia de Gestión de Sistemas Periféricos.

IMN

M.Sc. Met. Roberto Villalobos Flores, Sub director del IMN, Meteorólogo, con posgrado en Meteorología Agrícola, ha dirigido numerosos estudios sobre cambio climático y recurso hídrico y respecto a cambio climático y salud, entre 2003-2008 fue el coordinador de la 2a Comunicación Nacional de la Convención de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Ing Nazareth Rojas Morales Ingeniera Agrícola, investigadora del Departamento de Climatología e Investigaciones Aplicadas del Instituto Meteorológico Nacional

CFIA

M.Sc. Ing. Freddy Bolaños Céspedes, Ingeniero civil, con posgrado en Ingeniería Sanitaria; Docente de la Escuela de Ingeniería Civil de la UCR, Coordinador del estudio por CFIA y enlace con Ingenieros Canadá.

M.B.A Laura Solera Bonilla; Ingeniera civil, con Posgrado en Administración de Empresas. Funge como enlace en la coordinación con UPADI.

Como equipo asesor participaron los siguientes ingenieros:

Ing. Jeff O´Driscoll
 Ing. Guy Felio
 Ing. Roger Rempel
 Ing. Darrel Daniluk
 Ing. Heather Auld
 Ing. David Lapp

2.3.2 Sesiones de trabajo

Para efectos del estudio se realizaron las tareas principales que se indican en el Cuadro 2-6, con la asignación de tiempo y características indicada a continuación.

Cuadro 2-6 Descripción de las sesiones realizadas por el equipo

Tipo	Cantidad de sesiones (personas involucradas)	Tiempo total asignado (días de 8 horas)	Descripción
Talleres de capacitación sobre el Protocolo PIEVC.	3 (14)	42	Sesiones de trabajo práctico con funcionarios de Ingenieros Canadá para conocer el Protocolo PIEV y su aplicación.
Talleres de estudio y análisis de información.	14 (8)	112	Sesiones de trabajo de equipo para desarrollo del estudio.
Trabajo de campo en grupo.	3 (12)	36	Sesiones de trabajo en análisis de la infraestructura motivo del estudio, realizadas en Limón.
Trabajo de campo individual	4 (1)	4	Comprobación de datos obtenidos
Apoyo logístico	13(5)	13	Personal de apoyo durante visitas a instalaciones estudiadas, reproducción de información, obtención de documentos y fotografía.
Trabajo de escritorio en forma individual.	24 (8)	192	Obtención y estudio de documentación, cálculo y análisis de resultados
Presentación de resultados	2 (8)	16	Presentación de resultados en Taller realizado en el CFIA y en la ciudad de Limón.
Sistematización bibliografica	1 (2)	2	Revisión y sistematización de la documentación bibliográfica
Preparación del informe final	8 (5)	40	Sesiones de trabajo del equipo redactor y editor del documento final.

El total de días de 8 horas asignado a este estudio se estimó con base en la contabilización de eventos realizados y de duración de los eventos y cantidad de personal involucradas.

Se estiman 457 días de 8 horas de los profesionales nacionales e internacionales involucrados y que incluye 13 días de personal de apoyo no profesional.

El estudio inició en fecha 16 de agosto del 2010 y el informe se entregó en julio del 2011.

3. ANALISIS CLIMATICO Y PROYECCIONES

3.1 Objetivos del análisis climático

3.1.1 Explicación del objetivo

El objetivo del análisis climático y de las proyecciones en estudios de este tipo, es establecer un juego de parámetros de tipo climático que describan el clima y los eventos meteorológicos que caracterizan a la zona geográfica donde se ubica el proyecto analizado. En este caso el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Limón (Costa Rica) compuesto de la red de alcantarillado sanitario, la Estación de Pre-Acondicionamiento (EPA) y el emisario submarino; el estudio se centra específicamente en los efectos sobre la infraestructura indicada, ya sean estos directos e indirectos.

A partir de esa información, mediante la aplicación del Protocolo PIEV; se espera conducir el estudio hacia la determinación de la probabilidad general de ocurrencia de cada uno de los fenómenos que miden los parámetros seleccionados, en un análisis histórico y a futuro. Para fines de este estudio, el término “histórico” abarca al clima actual y en el pasado reciente, mientras que el clima “futuro” es definido como un plazo fijado a un horizonte temporal prospectivo. Este horizonte ha sido establecido por el grupo de trabajo a partir de criterios respecto al número de años que comprende el ciclo de vida de la infraestructura civil.

Este es el mismo período en el cual se debe contar con información sobre los cambios esperados en el clima como consecuencia del cambio climático. Esta información debe ser obtenida a partir de modelos de circulación global de la atmósfera (MCG), para escenarios de emisiones predefinidos. Los plazos utilizados fueron discutidos por el grupo de trabajo y los criterios y condiciones para análisis de datos se presentan en el apartado 2.2.

3.1.2 Parámetros seleccionados

El grupo de trabajo de realizó varias sesiones y realizó visitas al campo; posteriormente, a partir de un listado inicial definió un listado de parámetros seleccionados. Posteriormente, para asegurar la máxima concordancia entre los procesos de obtención de la información meteorológica necesaria respecto a los componentes de la infraestructura en proceso de evaluación, desarrolló y aplicó una matriz.

La matriz se muestra en el Cuadro 3-1, la que se discutió para determinar los parámetros climáticos que serían considerados en fase siguiente. En ese cuadro se observan tres de los parámetros que fueron descartados desde el inicio del proceso, por no ocurrir en la zona de estudio.

Otros parámetros fueron analizados inicialmente y luego de una discusión se determinó que tanto la radiación solar como la humedad relativa no son parámetros que afecten directamente a la infraestructura ni al proceso en general, por otro lado, no se consideraron los tornados, neblina ni granizos, ya que no son eventos que se presentan en la zona en estudio.

Cuadro 3-1 Matriz de análisis preliminar para seleccionar los parámetros

Parámetro o fenómeno analizado.	Relevancia del evento	Duplicidad del efecto de carga ⁽²⁾	Posibilidad de ocurrencia del fenómeno en el sitio.	Disponibilidad de información	Descartado
Altas temperaturas	Alta	No	Alta	Alta	
Bajas temperaturas	Baja	-	No	Alta	√
Oscilación de temperatura diaria.	Baja	-	No	Baja	√
Ondas de calor	Media	-	No	No Hay	√
Frentes fríos	Alta	Si	Si	Alta	
Brisa marina	Alta	No	Si	Media	
Lluvias de sobrecarga	Alta	No	Si	Alta	
Lluvias de inundación en EPA	Alta	No	Si	Alta	
Rayería	Alta	No	Si	Media	
Viento (velocidad y dirección)	Alta	No	Si	Alta	
Corrientes marinas (velocidad y dirección)	Alta	No	Si	Baja	
Ondas tropicales	Alta	No	Si	Alta	√
Oleaje	Alta	No	Si	Baja	
Sequías	Media	No	Si	Alta	√
Inundación	Media	Si	Si	Media	√
Huracanes	Media	Si	Si	Media	

Los parámetros climáticos seleccionados finalmente para iniciar el estudio, se enlistan en el Cuadro 3-2, en el que se explica la aplicación del parámetro para fines de la evaluación de la vulnerabilidad, a partir de los efectos que el equipo consideró relevantes.

² Se refiere a si la carga que genera este parámetro (por ejemplo: lluvia, viento) ya está considerada en otro de los parámetros enlistados.

Cuadro 3-2. Explicación de los parámetros meteorológicos seleccionados.

Parámetro	Aplicación en el estudio	Efecto relevante sobre la infraestructura.
Alta Temperatura	Determinar variación en consumos de agua, dado que a mayor consumo mayor retorno.	Reducir capacidad de tratamiento del sistema al alcanzar anticipadamente el valor de diseño.
	Afectación de condiciones de trabajo en la EPA.	Riesgos de accidentes y salidas de operación de la EPA.
Frentes fríos	Pueden provocar fuertes lluvias e inundaciones en la zona de estudio.	Salidas de operación de la EPA y del emisario submarino. Riesgo de daños a equipo, infraestructura y operadores.
Brisa marina	La brisa contiene salinidad que puede afectar los equipos e instalaciones eléctricas, telemétricas, de control y de comunicación, al aumentar la corrosión.	Falla de sistemas de control causando salidas de operación de la EPA y del emisario submarino.
Lluvias de sobrecarga	Se incrementan los caudales de entrada a la EPA debido a conexiones del pluvial.	Salidas de operación de la EPA y del emisario submarino.
Lluvias de inundación	Inundación del área urbana al superarse la capacidad hidráulica del sistema pluvial y afectación al inundar la instalación de la EPA.	Salidas de operación de la EPA y del emisario submarino. Riesgo de daños a equipo, infraestructura y operadores.
Rayería.	Afectación por daños en equipos electromecánicos y posible afectación al personal de la EPA. Falla de suministro de energía en EPA y las estaciones de bombeo.	Falla de sistemas de control causando salidas de operación de la EPA y del emisario submarino.
Viento: velocidad, dirección	Componente de velocidad y dirección de viento que determina la dirección de las corrientes marinas en la zona de descarga de los difusores del emisario.	En forma conjunta determinan el desplazamiento de la pluma contaminante desde su punto de descarga alejándola de la costa o llevándola hacia la costa de la ciudad.
Corrientes marinas: velocidad y dirección.	Dirección y velocidad de las corrientes marinas en el canal en la zona de descarga de los difusores del emisario.	
Ondas tropicales	Pueden provocar fuertes lluvias e inundaciones en la zona de estudio.	Salidas de operación de la EPA y del emisario submarino. Riesgo de daños a equipo, infraestructura y operadores.
Mareas (oleaje)	Posibilidad de eventos extremos de vientos huracanados y oleajes en la zona de estudio donde se ubica la EPA y el emisario submarino.	Salida de operación por efecto del oleaje que alcance el nivel de la EPA e inunde la zona de operación. Daños a la infraestructura de la edificación. Riesgos de estabilidad de la tubería y anclajes del emisario submarino.
Sequías	Determina incremento en consumos de agua y un mayor retorno.	Reducir capacidad de tratamiento del sistema al alcanzar anticipadamente el valor de diseño.
Inundaciones	Determinar posible afectación de infraestructura y sobrecarga – aunque depende de condiciones hidráulicas de la zona de drenaje.	Eventual afectación de infraestructura en zonas bajas o en caso de exposición extrema de estaciones de bombeo,
Huracanes	Determinar posible afectación de infraestructura y sobrecarga – lluvias intensas y efecto de oleaje y vientos .	Eventual afectación de infraestructura en condiciones de drenaje urbano deficiente, altura de estaciones y de equipos ante efectos las cargas.

3.2 Métodos y fuentes de información

3.2.1 Información histórica para los parámetros climáticos

El análisis y la descripción climática para la ciudad de Limón se realizó considerando información de diferentes fuentes. La información meteorológica así como la descripción climática se obtuvo por parte del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), tanto de la Base de Datos de la Estación Limón 81-003, así como de literatura publicada por el IMN.

La información de rayería se obtuvo del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). La información de inundaciones se obtuvo de la Base de Datos del Proyecto Desinventar (Sistema de inventario de efectos de desastres), para huracanes se utilizó la información de ECAPRA (Evaluación Probabilística de Riesgo para América Central). La información de oleaje se obtuvo de las simulaciones del modelo WAVEWATCH III Versión 2.22 de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos de América)

3.2.2 Proyecciones climáticas (futuro)

Las proyecciones climáticas futuras fueron analizadas mediante los resultados de los modelos climáticos realizados mediante el modelo de reducción de escala (downscaling) dinámico, por medio del modelo regional PRECIS. Este es un modelo que tiene una alta resolución espacial y temporal. Fue desarrollado por el Centro Hadley de la oficina de Meteorología del Reino Unido y representa la versión más actualizada para el modelo regional HADRM3P. Para los resultados obtenidos las resoluciones espacial y temporal seleccionadas fueron de 50 km y anual.

Los resultados del modelo PRECIS para Costa Rica fueron alimentados con los resultados del modelo global atmosférico de baja resolución HadAM3H y las anomalías de la superficie del mar del modelo acoplado HadCM3. Para la simulación del clima se usó el período 1961-1990 considerado la línea base de la IPCC. (IMN, 2008)

En los casos en que no se contaba con resultados de los modelos regionales, se consultaron los modelos climáticos globales generados por Environment Canada's Canadian Climate Change Scenario Network (CCCSN), basados en los resultados del Cuarto Reporte de Evaluación (Assesment Report 4th) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), para los escenarios A2 (escenario de emisiones de gases efecto invernadero alto), corridos bajo el Modelo HADCM3. Los modelos globales se utilizaron en los casos en los que el modelo no estaba disponible a escala regional. Es importante aclarar que para algunos parámetros climáticos los modelos de predicción no están disponibles, por lo que se realizó un análisis con los datos históricos para determinar la tendencia o la probabilidad de esta tendencia a mantenerse en el futuro, relacionándolos a la vez con la tendencia de otros parámetros.

3.2.3 Marco temporal usado para el análisis

3.2.3.1 Período de registro

La información meteorológica se obtuvo de los registros de la Estación Limón 81-003, la cual cuenta con diferentes períodos de análisis según el parámetro a analizar. De los datos de precipitación se encuentran disponibles registros desde 1941 a 2009, los datos de temperatura están para el período 1970-2009, para determinar la velocidad y dirección que generan la brisa marina, se utilizaron registros de 1970 a 1997.

Para los eventos extremos lluviosos (frente frío y onda tropical) el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) tiene registros que van desde 1980 a 2006.

La información de oleajes se obtuvo de las simulaciones realizadas por la NOAA para eventos de huracanes en el Atlántico norte que afectan el mar Caribe debido a mar de fondo. Estos registros se encuentran para el período 2000-2010.

La información histórica correspondiente a la frecuencia de inundaciones para la región climática del Caribe, está documentada por parte del IMN para el período 1949-1999, las inundaciones se concentran en la franja costera central y sur de la región Caribe. Las localidades más afectadas son Turrialba, Limón centro, Bananito y Valle de la Estrella. (IMN, 2008)

En lo correspondiente a registros de sequía, para la zona de estudio, el IMN cuenta con información de los eventos presentados en el período 1960 a 2005.

Para el análisis de la incidencia de rayería en la zona de estudio, se utilizaron registros del período 2005 a 2009.

Cómo puede notarse, los períodos históricos para cada parámetro son diferentes, sin embargo en consenso se decidió realizar el análisis con la mayor información disponible por parámetro.

3.2.3.2 Período de proyección (futuro)

En la medida de lo posible, el período de análisis usado para las proyecciones futuras es de 30 años o bien para 2011 a 2040.

Este plazo se fijó a partir del ciclo de vida de la infraestructura por el equipo de AyA y posteriormente se analizó en el Grupo de trabajo del Proyecto. Como resultado, se considera que ese período, sobrepasa la vida útil de algunos componentes de la infraestructura que normalmente es sustituida en períodos cortos por aspectos de mantenimiento.

Para otra infraestructura de mayores dimensiones (edificaciones, tubería y anclaje del emisario) es de esperar que se requiera la reconstrucción o la rehabilitación en ese período aún sin el efecto de cambio climático.

3.3 Parámetros climáticos

Para el desarrollo de este capítulo, se tomo en cuenta la caracterización de los parámetros explicada en el apartado 2.2.2.1.2, respecto a la naturaleza de los fenómenos según sean recurrentes o extremos.

Adicionalmente en el mes de febrero del 2011, se realizaron tres talleres de trabajo para discutir la información que había sido elaborada (ver Anexos 1 y 2) y asegurar la mayor consistencia entre los aspectos climáticos y las características de los componentes de la infraestructura a ser evaluada.

Lo anterior busca:

- a) contar con unidades de análisis de frecuencia uniformes,
- b) mayor comprensión de la posible afectación de los parámetros sobre los componentes,
- c) seleccionar los parámetros que cuentan con valoración numérica en cuanto a su magnitud, para poder realizar el análisis ingenieril.
- d) lograr asociar las magnitudes de los valores de parámetros climáticos con las cargas de diseño de los componentes estudiados.

Dado que la tipificación agrupa los parámetros en: recurrentes y extremos, se consideró conveniente que la información climática y su análisis fuera presentada en forma separada.

3.3.1 Parámetros Recurrentes

En este caso el efecto de la carga sobre los componentes de la infraestructura analizada, depende más de la persistencia del mismo que de la ocurrencia del evento en un año dado.

Los parámetros recurrentes son:

- Altas temperaturas
- Oleaje
- Brisa marina
- Rayería

3.3.1.1. Alta temperatura

3.3.1.1.1 Definición

Para los propósitos de este estudio, la definición del parámetro alta temperatura se consignó como el número de días en los que la temperatura haya igualado o excedido los 30°C.

Este umbral se determinó con base en la máxima temperatura registrada para la Estación Limón (81-003) en el período 1970-2009, correspondiente a 35°C, de todo el registro se determinaron dos datos con este valor, el primero en junio de 1975 y el segundo en mayo de 1978. De acuerdo con los registros de promedio de máxima temperatura, este valor corresponde a un evento extremo representativo de alta temperatura.

3.3.1.1.2 Historial Climático

Para determinar la información de temperatura para el área de estudio se utilizó la Estación Limón (81-003). En la Tabla 3.1 se muestran los datos de los promedios mensuales de temperaturas máximas para el período 1970-2009.

Tabla 3.1. Promedios mensuales de temperatura máxima (°C) Limón. Período 1970-2009

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
28,9	29,0	29,7	30,2	30,4	30,3	29,6	30,0	30,6	30,4	29,5	29,0

3.3.1.1.3 Análisis de probabilidad

Con base en los registros históricos para la Estación Limón, se obtuvo el número de registros en los que la temperatura máxima diaria para el período comprendido entre 1970 y octubre de 2010, fueran iguales o mayores a 30°C. Se obtuvo un total de 7935 datos en 40 años de registro; de manera que la frecuencia calculada es 198,38. La frecuencia corregida es 54,3% (Anexo 2) para una probabilidad actual de **4**, que se describe como **moderada/posible**, utilizando el **Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos**, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.1.1.4 Tendencia

La temperatura promedio mensual (1970-2009) en Limón presenta poca variación de un mes a otro, pero sí ocurre una apreciable oscilación en cualquier mes entre la temperatura máxima y la mínima del día. En promedio, durante el mes de marzo la oscilación llega a ser máxima con un valor de 8,4°C, mientras que durante julio llega a ser mínima con un valor promedio de 7,1°C. En promedio, la oscilación anual es de aproximadamente 7,9°C. El mes más cálido es mayo y el menos cálido, enero.

De acuerdo con un análisis realizado por el IMN (2008), respecto de la variabilidad y los eventos extremos (secos y lluviosos) según la línea base de la IPCC (1961-1990), para la zona en estudio, durante un evento extremo lluvioso las temperaturas máximas promedio pueden disminuir en 1 °C, mientras que durante un evento extremo seco estas temperaturas pueden aumentar hasta en 1 °C.

En la Figura 3.1 se presenta la comparación entre los promedios de la temperatura máxima y el promedio de la temperatura de la muestra para el período 1970-2009.

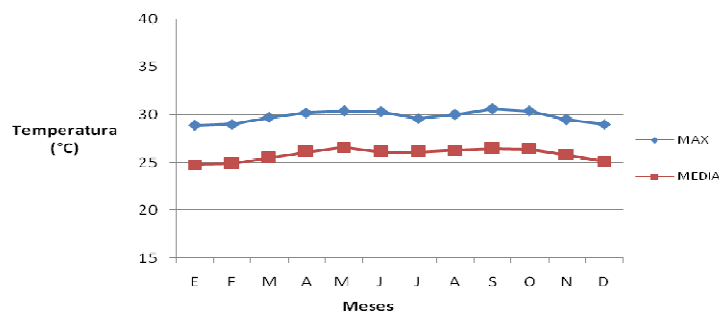


Figura 3.1 Promedios mensuales de temperatura máxima y media (°C) Estación Limón, período 1970-2009

3.3.1.1.5 Proyecciones climáticas

De acuerdo con los resultados del Modelo Climático Regional (MCR) PRECIS escenario A2, para el período 2011-2040, se tiene que la temperatura promedio anual para la región donde se ubica la ciudad de Limón, va a aumentar hasta en 1 °C. Si se considera este aumento en la temperatura máxima promedio se podría asumir que este aumento sería suficiente para aumentar en un cierto porcentaje las temperaturas que exceden los 30 °C.

En la Figura 3.2 se muestran los resultados del MCR de las anomalías de la temperatura media anual para Costa Rica.

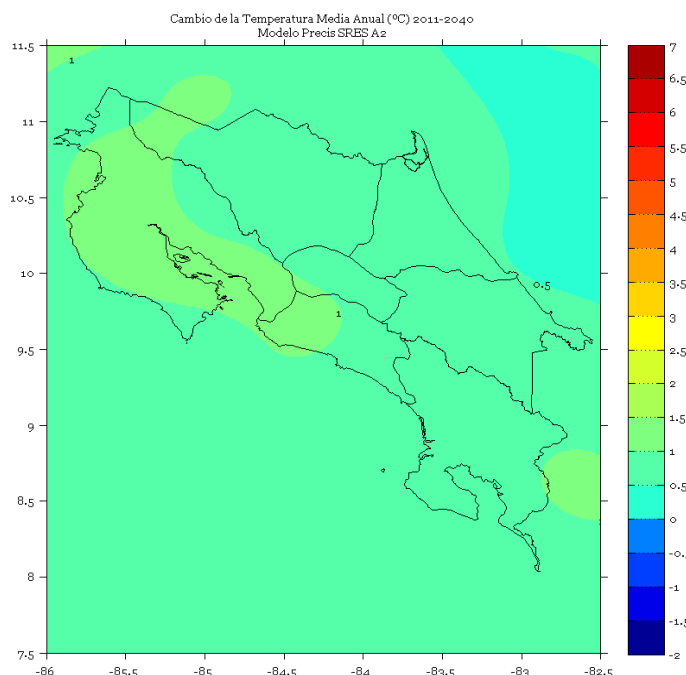


Figura 3.2. Resultados del MCR- PRECIS para la temperatura media anual. Período 2011-2040

Considerando el aumento descrito se determina que la escala de probabilidad aumentaría en un grado. La probabilidad futura se eleva en un punto, siendo una probabilidad de 5 ; que se describe como a menudo, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.1.2 Oleaje

3.3.1.2.1. Definición

Para los propósitos de este estudio, la definición del parámetro oleaje se consigna como el número de días en los que el oleaje alcanzó alturas de entre los 2 y 3 m.

Las olas o series de ondulaciones que aparecen sobre la superficie de las aguas, son la consecuencia de una interacción entre mar y aire. En su formación y características influyen numerosos factores: el valor y la variación de la presión atmosférica, la

configuración y profundidad del fondo marino, la salinidad y la temperatura del agua pero, sobre todo la fuerza generatriz del viento; excepto los oleajes que son causados por las erupciones volcánicas, rupturas de la corteza producidas en el fondo marino (tsunamis) y los producidas por efecto de las mareas.³

Los huracanes son fenómenos meteorológicos que generan condiciones extremas de oleaje sobre la superficie del océano. Bajo estas condiciones pocos instrumentos pueden desplegarse en aguas profundas o poco profundas por lo cual poca información real de altura y dirección de esas olas puede obtenerse. Por lo tanto una información amplia de la distribución de estos parámetros sólo puede lograrse mediante modelos numéricos que simulan las condiciones de oleaje durante un huracán. (Lizano, S.F)

Un modelo de generación de olas debe estar acoplado a un modelo de viento que pueda dar una descripción completa de la variación espacial del campo de viento durante un huracán. (Lizano, S.F)

Respecto a mareas: Las estaciones desde Puerto Limón en Costa Rica hasta la estación en Bahía de Caledonia en Panamá muestran una onda de marea similar entre ellas, diferenciándose solo en la magnitud del ámbito de marea. Estas estaciones presentan algunas veces una marea mixta y semidiurna otras. Alrededor de los cuartos de luna se genera una marea mixta cuya desigualdad diurna apenas se manifiesta con una pequeña subida o bajada de la marea. Los días siguientes a la luna llena y nueva, ocurre una marea más bien semidiurna pura. El valor de forma para clasificar la marea sitúa a esta estación de Puerto Limón como una marea mixta predominantemente diurna. (Lizano, 2006)

En vista de que la información respecto a mareas está incluida dentro de los resultados del Modelo WAVEWATCH III para altura de ola, no se realizó un análisis específico para mareas, pero no se debe descartar la conveniencia de realizar estudios en la fase siguiente al estudio.

Respecto a corrientes marinas: Como se indicó, en la fase de estudio, no fue posible realizar un análisis de las proyecciones histórica y futura de las corrientes marinas, para la zona donde se encuentran los difusores del emisario submarino, esto con el fin de determinar la afectación futura de la difusión y transporte de la pluma con contaminación fecal. Solamente se cuenta con los resultados del modelo matemático de la contaminación fecal evacuada al medio marino a través del emisario. (U. Cantabria, 2000).

Este cálculo se realizó empleando el modelo de transporte de contaminantes AD2D, para 12 situaciones de cálculo resultantes de la combinación de una marea astronómica viva (semidiurna con una carrera de 0.5 m) y diferentes situaciones de viento y corrientes marinas. Esta modelación se realizó en 4 instantes de tiempo distribuidos a lo largo de un período de 1 día de simulación.

³<http://www.mailxmail.com/curso-meteorologia-general/mar-viento-fondo>

De los resultados de este modelo matemático, se determinó que para una concentración de efluente de 5.10^7 CF/100 ml, las condiciones que generan un transporte del efluente hacia la costa, están asociados a una marea astronómica de 0.50 m. con una corriente de 0 m/s dirección sureste y viento calma, es decir el oleaje como tal será el encargado del transporte de este efluente. Otra condición corresponde a la misma altura de marea, con corriente de 0 m/s dirección sureste y una dirección del viento de 10 m/s dirección noreste, en este caso la velocidad de transporte es mayor en un plazo de 24 horas. Por último si se tiene una marea astronómica de 0.50 m., corriente de 0 m/s dirección sureste y un viento de 10 m/s dirección predominante este, también se tiene un transporte directo hacia la costa.

Si se mantienen corrientes marinas mayores o iguales a 0.25 m/s con dirección sureste, incluso si se mantiene viento calma, el efluente se traslada lejos de la costa con dirección sureste incluso con vientos predominantes del noreste y este.

En la Figura 3-3 se muestra el mapa con la dirección de las corrientes marinas para el área de estudio, se puede observar como en efecto la dirección predominante es sureste.



Fuente: http://www.hawksbillwwf.org/mapas_datos/mapas

Figura 3-3. Mapa de corrientes marinas en la zona de estudio

Las mareas producen corrientes por sí mismas, las mareas son producidas por la fuerza gravitacional entre la luna, el sol y la tierra, siendo la luna la que mayor fuerza produce por estar más cerca. Las corrientes son más fuertes según mayor son los ámbitos de la marea (diferencia de altura de la marea entre marea baja y marea alta). (Lizano, SF²)

Según Lizano, S.F², varias son las corrientes marinas que podemos encontrar cerca de la costa. Entre ellas se pueden mencionar las corrientes generadas por la marea, corrientes generadas por el viento, corrientes generadas por cambios de densidad (salinidad y/o temperatura), corrientes generadas por las descargas de ríos y las corrientes generadas por el oleaje. El oleaje genera varios tipos de corrientes. Las olas al romper pueden generar corrientes a lo largo de la costa, corrientes hacia la costa y corrientes de retorno hacia mar adentro. Estas últimas son las conocidas como corrientes de resaca.

Tal como se indicó anteriormente, para determinar la frecuencia de ocurrencia corrientes marinas con velocidad 0 m/s y dirección predominante sureste, se requiere realizar un análisis mediante simulaciones, basados en oleajes, mareas, salinidad, temperatura del mar, entre otros. Para este proyecto no se cuenta con el financiamiento para realizar estudios de frecuencia histórica y el análisis de proyección a futuro (año 2040) de las corrientes marinas en la zona de interés.

En razón de lo anterior el parámetro de corriente marina no se tomará en cuenta para definir la vulnerabilidad de la infraestructura del emisario debido a la ineficiencia en el arrastre del efluente fuera de la línea de la costa, así como por la obstaculización de la salida de los difusores debido al depósito de sedimento cerca de los anclajes y sobre la tubería del mismo.

3.3.1.2.2 Historial Climático

El análisis climatológico del viento en Costa Rica indica que en los meses de la llamada estación seca en Costa Rica (diciembre a abril), el viento se acelera en el Caribe, generando oleaje de gran energía sobre esa zona.⁴

La dirección del viento en el Caribe es típica de los vientos alisios, con componente noreste (28,84°). El oleaje también va hacia el suroeste, lo que refuerza el carácter local de este mismo. (Lizano, 2007)

De acuerdo con Lizano, 2007, se analizaron las series históricas de oleaje y viento de los pronósticos de oleaje del Modelo WAVEWATCH III de la NCEP-NOAA, para el período 1997-2004. El promedio de la velocidad del viento se obtuvo promediando las magnitudes del viento cada 3 horas. El promedio de la dirección del viento se obtuvo promediando las respectivas componentes zonal y meridional de estas series.

En LA Tabla 3-3, se muestran las características generales de las series de datos.

Tabla 3-3 Características generales de las series de viento y ola de los datos de NOAA-NCEP

Parámetro	Min	Med	Max
H _{1/3} (m)	0,08	1,37	3,87
Tp (seg)	2,55	7,28	13,29
ΘH (°)	-	241,34	-
W (m/seg)	0,03	3,92	16,57
ΘW (°)	-	28,84	-

Fuente:Lizano,2007

Donde;

H1/3: altura significativa (o significativa) de ola, definida como el promedio de la tercera parte más alta en un registro de olas.

Tp: período de pico de la ola.

ΘH: dirección respecto al norte de la ola hacia donde van (convención oceanográfica).

W: magnitud de la velocidad del viento.

ΘW: dirección respecto al norte del viento desde donde viene (convención meteorológica).

⁴ <http://www.imn.ac.cr/educacion/oceanografia.PDF>

Los períodos promedio de ola del Caribe (7.38 seg) refleja el carácter local de este oleaje. En esta región se pueden alcanzar la máximas alturas de ola significativa, cuyos valores pueden alcanzar hasta los 4 m.

Cuando se tiene una altura significativa, la altura máxima de ola puede ser $1.5 \times H_{1/3}$, obteniéndose la probabilidad de tener una ola de 6 m de altura en el Caribe. En esta zona solo hay un tipo de oleaje cuya altura crece en promedio linealmente con el período. Un pequeño porcentaje de las olas tienen un período largo (12-13 seg.) (Lizano, 2007)

3.3.1.2.3. Análisis de probabilidad

Dentro de los documentos de análisis del diseño del emisario submarino, se encuentra el estudio realizado por la Universidad de Cantabria (España) para el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados a través de la Universidad de Costa Rica, el cual se denomina: Resumen de los estudios realizados sobre el emisario submarino de Puerto Limón, donde se confirmó a partir de un análisis de frecuencia de altura de ola, que hay muy poca probabilidad de que la altura de ola supere los 6 m.

Para los fines de este estudio se definió como oleaje extremo el presentado el día 19 de agosto de 2007, fecha en la cual se presentó una altura de ola que sobrepasó el muro del malecón que protege a la EPA. A partir de investigaciones se determinó que el oleaje generado durante esa fecha se debe a mar de fondo producto del recorrido del Huracán Dean que generó muertes en México durante su paso.

Para realizar el análisis de frecuencia se utilizaron los resultados de las simulaciones de altura de ola ejecutados por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos de América)⁵. Estas simulaciones se realizaron con el modelo WAVEWATCH III Versión 2.22, en intervalos de 3 horas de simulación.

Este modelo WAVEWATCH III incluye la refracción y el esfuerzo del campo de onda debido a las variaciones temporales y espaciales de la profundidad media del agua y de la corriente media (mareas, marejadas, etc). Parametrizaciones de los procesos físicos incluyen el crecimiento de las olas y la decadencia debido a la acción del viento, las interacciones no lineales de resonancia, la disipación, la fricción del fondo y la dispersión de la ola por las interacciones en la parte inferior.

De acuerdo con los resultados de este modelo, para el 19 de agosto de 2007 en la zona de estudio, se simularon olas con alturas máximas entre los 2 y 3 m., con este parámetro se procedió a realizar un conteo de los días en los que se presentó esta condición. Se realizó el análisis de las modelaciones durante la presencia de huracanes en el Atlántico norte y los que afectaron el Caribe entre el año 2000 y setiembre de 2010.

En el citado período se contabilizó un total de 132 días en los que se tuvieron alturas de oleaje de entre los 2 y los 3 m en 9,75 años de registro, para una frecuencia de 13,54 y una frecuencia corregida de 3,7% (Anexo 2).

⁵ <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/historic.html>

La probabilidad es **1**, descrita como **Improbable / muy poco probable** de acuerdo con el **Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos**, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.1.2.4 Tendencia

La costa del Caribe de Costa Rica durante todo el año mantiene un oleaje que viene desde el noreste. Es de mayor energía durante los últimos y los primeros meses del año, asociado a la intensificación de los vientos alisios durante esta época. Disminuye para mayo y aumenta para julio, cuando de nuevo, vuelve a acelerarse el viento alisio en esta región. El mínimo valor lo tienen en setiembre octubre, cuando también el viento alisio en esta región es mínimo.(Lizano,2007).

El comportamiento mensual de la altura de oleaje en el Caribe es contrario al del Pacífico de Costa Rica, pues es mayor durante los vientos alisios fuertes (diciembre-abril) y menor durante el debilitamiento del mismo (setiembre-octubre).

3.3.1.2.5 Proyecciones climáticas

Según el Informe de Síntesis (AR4) de 2007, del IPCC, la tasa promedio de aumento del nivel del mar es de 4,2 mm/año entre 2000 y 2080. Para nuestro caso se requiere la proyección del aumento del nivel del mar para 2040, considerando la razón anterior, se determinó un aumento de 0,13 m. Cabe destacar que este dato corresponde a una tendencia global.

Por otro lado, el oleaje de gran altura es generada por el viento sobre la superficie del mar, adicionalmente a ello los frentes fríos que descienden del norte del Atlántico también se asocian a la generación de oleaje de gran energía. (Lizano, 2007). Tomando en cuenta estas consideraciones se realizó un análisis de las proyecciones en la velocidad de los vientos alisios que afectan el Caribe de nuestro país, así como de la futura ocurrencia de frentes fríos, análisis que fue elaborado anteriormente en este estudio.

De los resultados se determinó que la tendencia de los vientos alisios para los últimos y los primeros meses del año, según el Modelo Global del CCCSN, en promedio tiende a la **disminución** (período de frentes fríos), solamente hay un aumento en los meses de abril a noviembre, siendo los límites máximos del período correspondiente a los meses en los que en las costas del Caribe de Costa Rica se presentan las mayores alturas de oleaje, esto en parte se debe a la generación de mar de fondo, ya que esta es la temporada de huracanes.

Si bien se analizó que la tendencia es hacia la **disminución** de Frentes Fríos para el período 2011-2040, existe la tendencia al **aumento** de los vientos alisios durante los meses de abril a noviembre, dentro de este período se encuentra la temporada de huracanes en el Atlántico norte y el Caribe. En el análisis realizado para huracanes, se estableció que la tendencia hasta 2040 es un aumento en la generación de este tipo de eventos. Partiendo de estas teorías y de los análisis realizados por el IPCC respecto al

aumento proyectado para el nivel del mar, es evidente que se generará un aumento de las alturas medias del oleaje.

La altura de oleaje que se pueda alcanzar está en función de la velocidad del viento a nivel local cuando se genera mar de viento, también está en función de la presencia de huracanes en el Atlántico norte y el Caribe que provocan el mar de fondo, otro factor importante a considerar es la marea, sin embargo para entrar a analizar cuál es la afectación de este parámetro con la altura de ola, se requiere la realización de simulaciones y modelos numéricos, no disponibles al momento del estudio.

Se destaca la necesidad de realizar estudios sobre este aspecto, en etapas siguientes de este proyecto.

Con base en lo indicado se considera que la Escala de probabilidad para el parámetro de oleaje aumentará en un punto, por consiguiente se proyecta a un valor de probabilidad de **2** que se describe como **Remota**, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.1.3 Brisa marina

3.3.1.3.1 Definición

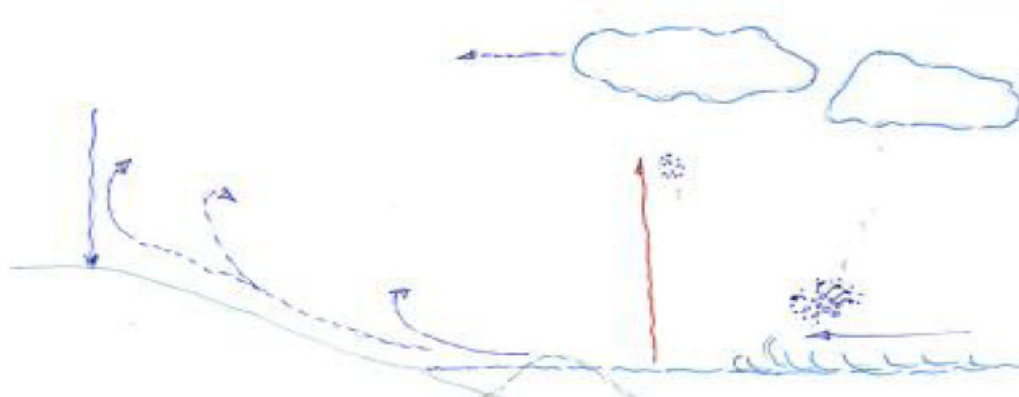
Para efectos de este estudio, se define como brisa marina la cantidad de días del registro en que se generan vientos entre los 2 y 7 m/s con direcciones noreste y este, desde el mar hacia la EPA.

Las brisas marinas se localizan en las costas y se producen por el efecto de las diferencias de calentamiento y enfriamiento que experimenta la Tierra y las masas de agua, siendo responsables de la corrosión en los metales y equipos de la EPA si se dirigen a la ubicación de dicha infraestructura.

Las regiones marinas están compuestas casi exclusivamente de sales marinas, y son fuertemente dependiente de la velocidad del viento. Los principales componentes son: - sal marina (la mayor parte), - sulfato no marino (NSS: non sea - salt sulfate), - polvo mineral, - nitratos.

Se ve a la superficie marina como una fuente importante de estos núcleos, en la forma de gotas de agua marina concentrada, formada a partir de un spray que se genera una vez que se presenta el estallido de las burbujas que genera la ola (interacción océano-atmósfera). Una de las funciones del núcleo de sal en el ciclo natural, es absorber y transportar agua. La gotícula es capaz de dar paso a una transformación de fase de vapor a líquido, con lo cual se libera o se almacena entalpía latente. Trabaja en las transferencias de calor y masa en sitios preferenciales: las nubes, y el espacio entre las mismas en donde sufre por ejemplo procesos de evaporación. En el caso de la bruma marina el espacio en la vertical está ocupado por una suspensión de gotículas generadas por evaporación oceánica, arrastre de sal y captación de aguda de hidratación. También se observa este fenómeno en sitios muy cercanos a la costa al atardecer en los eventos de brisa marina donde existen intercambios de calor y de masa.(Rivero, S.F.)

En la Figura 3-4, se observan las interacciones entre viento-mar y suelo.



Fuente: Rivero, (S.F)

Figura 3-4. Interacción viento-mar-suelo, formación y transporte de aerosol marino

Existe una relación directa entre la fuerza del viento y la producción de burbujas, otros fenómenos productores de burbujas son la precipitación de lluvia sobre la superficie del mar.

Para complicar aún más el panorama, se tiene que los núcleos salinos ganan o pierden agua con relación al marco de humedad relativa (HR) en el cual se desplazan o yacen, y esto modifica la concentración salina que las partículas tienen. En condiciones equilibradas o de saturación, la HR de deliquesencia para cada tipo de sustancia es específica, eso implica que si una partícula se traslada en el aire, se debate entre los procesos de captación de humedad y los de evaporación de la misma. (Rivero, SF)

3.3.1.3.2 Historial climático

Para determinar la frecuencia de vientos con velocidades entre los 2 y los 7 m/s con direcciones predominantes del noreste y este, se consultaron los registros de la Estación Limón 81-003 correspondiente a los años 1970-1997.

Para los meses comprendidos entre noviembre y abril, se ha encontrado que el valor promedio de la velocidad del viento es de 2,13 m/s, mientras que de mayo a octubre éste es en promedio 2,00 m/s. Entre junio y agosto se dan las velocidades promedio mensuales más bajas: 1,94 m/s respectivamente. Los valores máximos promedio que se han registrado son del orden de los 2,19 y 2,22 m/s en los meses menos lluviosos.

3.3.1.3.3 Análisis de probabilidad

Para determinar la frecuencia de probabilidad se obtuvieron los casos diarios en los cuales el viento tuviera direcciones predominantes de rumbo noreste o este, con velocidad entre los 2 y los 7 m/s.

De los resultados se obtuvo una frecuencia de 13,3 % en la escala de probabilidades esto corresponde a un valor de 2 que se describe como **Remota**, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe

3.3.1.3.4 Tendencia

Los frentes del norte y los sistemas de alta presión en el Atlántico Norte hacen que en esta región soplen los alisios intensamente desde noviembre hasta abril. Sobre el Caribe es claro que para todo el año el viento tiene componente noreste.

Aumenta significativamente el viento en julio coincidiendo con el “veranillo de San Juan”. Sus mínimos valores los presenta en setiembre octubre cuando los oestes ecuatoriales están bien establecidos en Costa Rica. (Lizano, 2007)

3.3.1.3.5 Proyecciones climáticas

Para determinar la proyección futura de la brisa marina, es necesario realizar un análisis integral de los vientos y de la precipitación, ya que son los parámetros que se encuentran relacionados con el transporte de núcleos de sal.

Con respecto al viento, según los modelos globales del CCCSN, se determinó que la velocidad media anual del viento dentro del área de estudio, tiende al aumento de los vientos del este hasta en 0.1 m/s.

Este resultado se puede observar en la Figura 3-5.

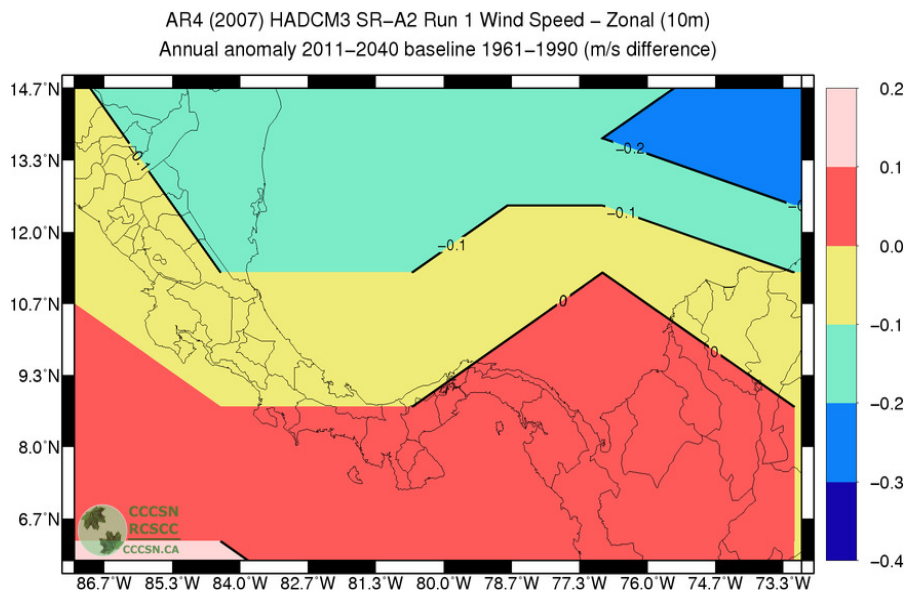


Figura 3-5. Modelo Global de anomalías en la velocidad del viento anual.
Período 2011-2040

Por otro lado, de acuerdo con los resultados del análisis de precipitación, se determinó que para el período 2011-2040, según las modelaciones climáticas regionales, la precipitación media anual podría presentar un aumento de hasta un 25%.

En vista de que la tendencia promedio es el aumento de la velocidad de los vientos del este y de la precipitación en la zona de estudio, se determina que la proyección de la probabilidad de la brisa marina que genera corrosión en los materiales y equipo de la EPA, tiende al aumento.

Por consiguiente el valor de la escala de probabilidad cambiaría en un futuro a 3 que se describe como **Ocasional**, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe”.

3.3.1.4 Descargas atmosféricas (rayería)

3.3.1.4.1 Definición

Se define el parámetro descargas atmosféricas, como la densidad de descargas atmosféricas anuales que se registran en un radio de 5 km alrededor de un punto centrado en la zona del emisario submarino, respecto a la máxima densidad de descargas anuales medida en el territorio nacional.

La descarga atmosférica conocida como rayo, es la igualación violenta de cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o, entre nubes.

Los rayos que nos interesan por su efecto, son los de nube a tierra, y en éstos se pueden encontrar 4 tipos: 2 iniciados en las nubes, y 2 iniciados en tierra, ya que pueden ser positivos o negativos. Los más comunes, siendo el 90 % de los rayos detectados, son de una nube negativa hacia tierra.

Las descargas atmosféricas pueden causar grandes diferencias de potencial en sistemas eléctricos distribuidos fuera de edificios o de estructuras protegidas. A consecuencia de ello, pueden circular grandes corrientes en las canalizaciones metálicas, y entre conductores que conectan dos zonas aisladas. Pero, aún sin la descarga, una nube cargada electrostáticamente crea diferencias de potencial en la tierra directamente debajo de ella.⁶

3.3.1.4.2 Historial climático

Se analiza la incidencia de descargas atmosféricas en el área donde se ubica el Emisario Submarino, este reporte incluye información sobre la densidad de descargas atmosféricas para los años 2005 a julio de 2010. El análisis se realizó para un radio de 5 km ubicando el epicentro en el tramo final de la tubería del emisario.

En la Tabla 3-3 se muestra la cantidad de descargas atmosféricas que el sistema detectó en la zona de estudio durante el periodo de análisis.

Tabla 3-3 Cantidad Anual de Descargas Atmosféricas Detectadas en un radio de 5km alrededor del sitio donde se ubica el Emisario Submarino.

<i>Año</i>	<i>2004</i>	<i>2005</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010 (E-J)</i>
<i>Cantidad</i>	114	5	0	144	46	311	358

⁶ <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe50.html>

3.3.1.4.3 Análisis de probabilidad

De acuerdo a la información registrada (Tabla 3-3), el sistema ha detectado un total de 978 impactos a tierra en el periodo de estudio, las intensidades registradas en polaridad negativa están en el rango de -3 kA a -142 kA y de 10 kA las de polaridad positiva. El 99% de las descargas son de polaridad negativa y solo un 1% es de polaridad positiva.

En la Figura 3-6 se muestra la distribución espacial de las descargas atmosféricas en un radio de 5 km alrededor de la Zona del Emisario Submarino para el período Enero del 2005 a Noviembre del 2010.

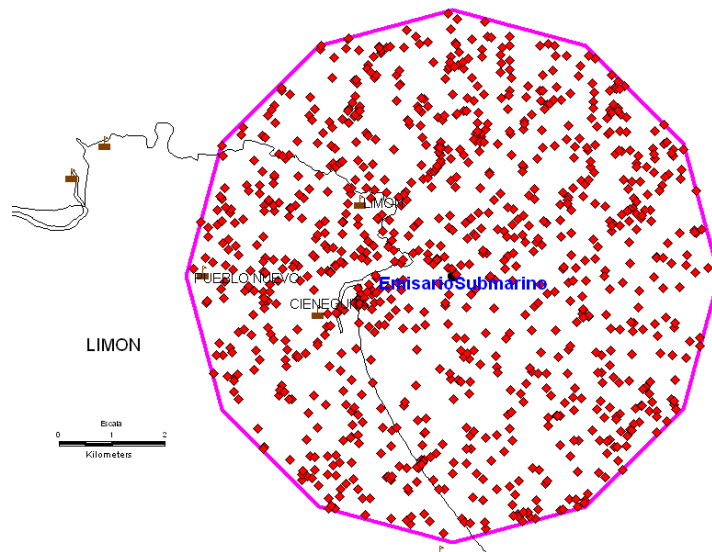


Figura 3-6. Distribución Espacial de las descargas atmosféricas en un radio de 5km alrededor de la Zona del Emisario Submarino. Período 2005-2010 . Fuente: registros e informe del ICE.

Para calcular la frecuencia de ocurrencia de descargas atmosféricas en la zona de estudio, se realizó una comparación de cuanto representa la densidad de la ciudad de Limón con respecto a la máxima densidad del país, esto para obtener una relación porcentual que permita categorizar el parámetro según el método seleccionado del protocolo y a la vez para que se refleje el contexto de de la situación de Limón con respecto al país.

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Densidad anual Limón}}{\text{Máxima densidad País}} = 9.19 \%$$

$$\text{Densidad anual Limón} = 978 \text{ rayos} / 78 \text{ km}^2 / 6.5 \text{ años} = 1.93 \text{ rayos/ km}^2 / \text{año}$$

$$\text{Máxima densidad País} = 21 \text{ rayos/ km}^2 / \text{año}$$

De los resultados se obtuvo una frecuencia de 11,1 % en la escala de probabilidades esto corresponde a un valor de 2 que se describe como **Remota**, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.1.4.4 Tendencia

No es práctico analizar el comportamiento puntual de las descargas en un área tan reducida como un círculo de 5 km de radio, ya que la variabilidad de los resultados resulta muy grande, se concluye que la zona de Limón ha mostrado un comportamiento relativamente benigno en cuanto a descargas con un promedio de unas 5 descargas por km² por año (hay zonas que tienen una densidad de más de 20 descargas/km² año).

En cuanto a la variación mensual en la zona donde se ubica el submarino, de acuerdo con la información suministrada, se observa que en los meses de Noviembre del 2010 y Julio del 2009 corresponden a los máximos absoluto y relativo con más de 276 y 256 respectivamente. En el resto de los meses los máximos suman ligeramente más de 50 impactos por mes y la mayor parte de estos no supera más de 30 descargas atmosféricas durante un mes.

3.3.1.4. 5. Proyecciones climáticas

No se encontró información que relacione la influencia que podría tener el cambio climático con las descargas atmosféricas, por consiguiente se mantiene la probabilidad obtenida a partir de datos históricos, correspondiente a un valor de 2 que se describe como **Remota**, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe

3.3.2 Parámetros extremos

En este caso el efecto de la carga sobre los componentes de la infraestructura está determinado por la ocurrencia de eventos de tipo extremo o extraordinario en un año dado. Los parámetros extremos seleccionados son:

- Lluvia de inundación
- Lluvia de sobrecarga
- Huracán
- Viento (velocidad y dirección)

Para los parámetros de tipo extremo se tiene un período de retorno más amplio y por lo tanto están más asociados a las cargas de diseño de la infraestructura a evaluar.

3.3.2.1 Lluvia de inundación

3.3.2.1.1 Definición

El parámetro lluvia de inundación se define como la ocurrencia de eventos de precipitación en la zona de estudio cuyo valor sea mayor o igual a 213,6 mm en 24 horas.

Esta definición se tomó a partir del acumulado de precipitación del día 29 de marzo de 2006. Este evento provocó la inundación de la EPA debido a que el sistema de recolección de aguas pluviales en las cercanías de esta infraestructura colapsó, por lo

cual el nivel de agua ingresó en la planta de preacondicionamiento afectando de esta manera el equipo y el proceso.

3.3.2.1.2 Historial Climático

De acuerdo con IMN, 2008, los eventos extremos lluviosos registrados en la Estación Limón (81-003) para la línea base 1961-1990, corresponden hasta un 49% de aumento en la precipitación anual o el equivalente a 1.637 mm sobre este valor.

Para el área de estudio, los eventos lluviosos pueden provocar aumentos en la precipitación sobre todo en los meses de noviembre y febrero, cuando la influencia de los frentes fríos es determinante. Durante el mes de mayo se puede presentar un nuevo máximo de lluvia. Un 93% de los eventos lluviosos han coincidido con eventos El Niño. En la Tabla 3-4 se muestran los valores máximos y medios de precipitación mensual para el período 1941-2009.

3.3.2.1.3 Análisis de probabilidad

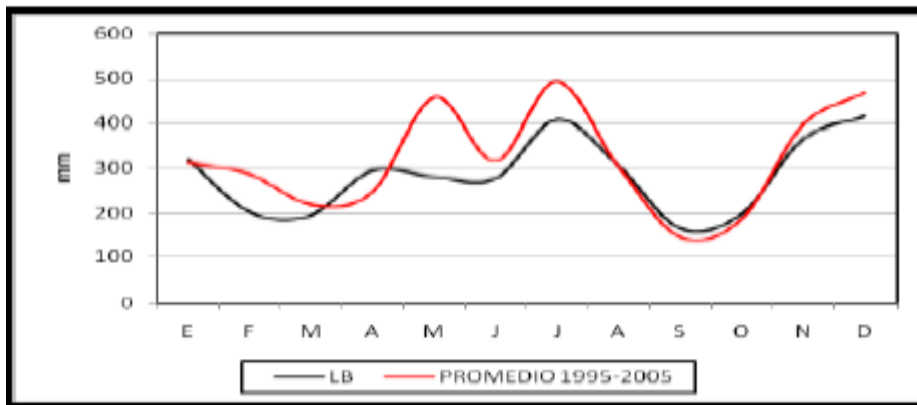
Con base en los registros históricos para la Estación Limón, de los valores máximos diarios de precipitación para el período 1941-2010, se determinó que la frecuencia de los registros que han excedido o igualado el umbral de 213.6 mm es de 0,31 , lo que corresponde a una escala de 4 es decir una probabilidad "**Moderada posible**". de acuerdo con el Cuadro 2.2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe

Tabla 3.4 Valores máximos y medios de precipitación mensual para el período 1941-2009.

Mes Limón y valores máximos históricos (1941-2009).MES	Valores Medios (mm)	Valores Máximos (mm)
Enero	315,6	907,0 (2005)
Febrero	233,8	796,1 (1997)
Marzo	205,9	698,3 (2006)
Abril	267,2	925,1 (1970)
Mayo	333,8	1055,9 (1997)
Junio	294,3	877,2 (1946)
Julio	432,2	1139,5 (1982)
Agosto	311,6	691,5 (1990)
Septiembre	143,9	495,6 (1976)
Octubre	208,9	1266,5 (1944)
Noviembre	380,3	1008,9 (1944)
Diciembre	446,3	1299,8 (1944)
Promedio Anual	3.565,3	

3.3.2.1.4 Tendencia

El Instituto Meteorológico Nacional realizó un análisis de las variaciones entre los períodos 1961-1990 y 1991-2005, determinándose que para la región Caribe la lluvia mensual aumenta durante febrero, mayo y julio principalmente. A nivel anual, desaparece el grupo extremo lluvioso pero se vuelven más frecuentes las lluvias sobre el promedio. En la Figura 3.7 se muestra las variaciones en la lluvia mensual para la región Caribe entre los períodos 1961-1990 y 1991-2005.



Fuente:IMN, 2008

Figura 3.7. Variaciones en la lluvia mensual entre los períodos 1961-1990 (Línea Base) y 1991-2005

Según IPCC en los resultados del Grupo de Trabajo I del AR4 (Figura 39) (IPCC, 2008) se establecen las tendencias en los cambios en las precipitaciones extremas para el período 1961-1990, en efecto se determina que para la región centroamericana se han tenido cambios desproporcionados de la precipitación intensa y muy intensa con respecto al cambio de la precipitación anual y/o estacional, es decir presenta una tendencia al aumento de estos extremos. En la Figura 3.8 se muestran estos resultados.

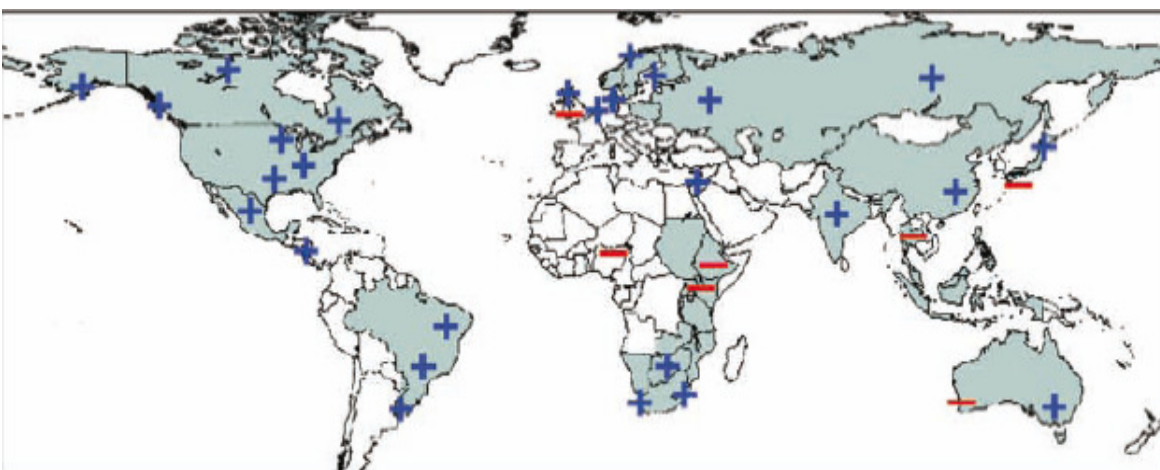


Figura 3.8 Cambios desproporcionales entre las precipitaciones intensas y muy intensas comparadas con los cambios en la precipitación anual (Período 1961-1990)

3.3.2.1.5 Proyecciones climáticas

De acuerdo con los resultados del Modelo Climático Regional PRECIS escenario A2, para el período 2011-2040, se determinó que para la zona de estudio en el período 2011-2040 se proyecta un aumento en la precipitación anual hasta de un 25%.

En la Figura 3.9 se muestran los resultados de la modelación.

De acuerdo con los resultados de la modelación regional, la precipitación media anual para el año 2040 podría presentar un aumento de hasta un 25%, por otro lado, según IPCC (2008) con base en modelos climáticos globales, ha estimado que los eventos de precipitaciones extremas serán más frecuentes, particularmente en las regiones tropicales y altas latitudes en las que se proyecta un aumento en la precipitación media, incluso se indica que las precipitaciones intensas incrementarán más que la media de la precipitación. (WGI, AR4. 10.3.5, 10.3.6)

Con base en la información indicada anteriormente respecto de las proyecciones climáticas. Aunque no se muestran las tendencias al incremento de las precipitaciones intensas, algunas proyecciones futuras sugieren un incremento en la frecuencia de este tipo de eventos.

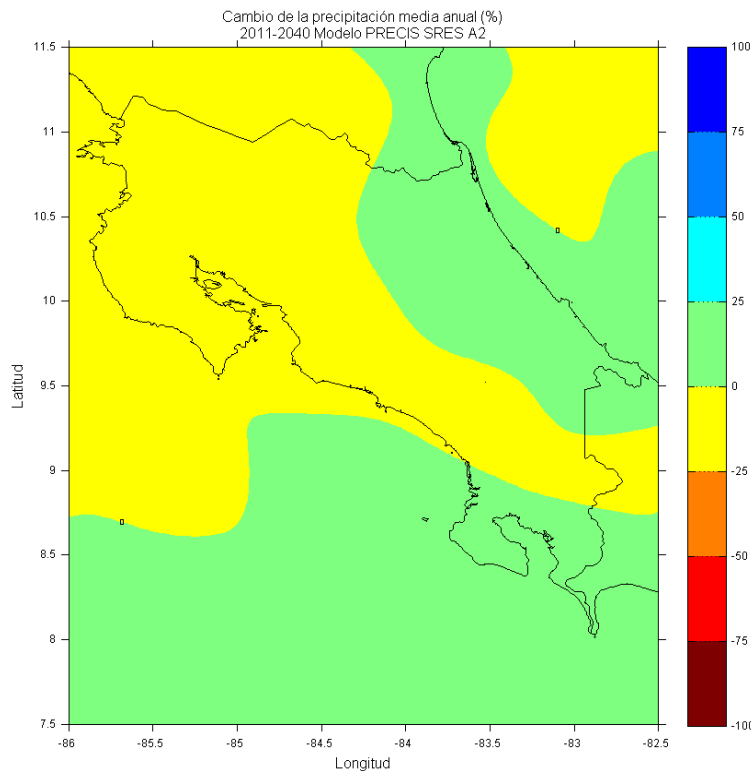


Figura 3.9 Resultados del MCR- PRECIS para la precipitación media anual. Período 2011-2040

La probabilidad en el futuro fue ajustada del valor histórico de **4** a un valor de **5**, descrito como **“A menudo”**, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe

3.3.2.2 Lluvia de sobrecarga

3.3.2.2.1 Definición

Se define lluvia de sobrecarga como la precipitación que alcanza una intensidad mayor o igual a 64,9 mm en 24 horas, en la zona de estudio.

La probabilidad de ocurrencia de este parámetro se calcula como el número de días del período de registro en los cuales la precipitación alcanza la intensidad indicada, dividido por el número de años del registro.

Este es un parámetro que se considera extremo dado que se ha comprobado que compromete la funcionalidad de la infraestructura, debido a que las conexiones de aguas de lluvia de las viviendas que aportan agua al alcantarillado sanitario al ingresar a la EPA, superan los caudales de diseño para aguas residuales, a partir de que se alcanza ese valor de intensidad.

En consecuencia, se debe accionar las compuertas de entrada y descargar las aguas directas al mar.

3.3.2.2.2 Historial climático

Con base en el registro de precipitación de IMN, que abarca del año 1941 al 2010, se determinó que se presentan 709 días en los cuales la precipitación alcanza una intensidad mayor o igual a 64,9 mm en 24 horas.

3.3.2.2.3 Análisis de probabilidad

Con la información anterior, se determina que la frecuencia de probabilidad histórica es de 9,94 (número de eventos por año que generaron afectación en la EPA con respecto al número de años del período de estudio), lo que corresponde con la escala establecida a un valor de **7** es decir una probabilidad “**Con certeza/muy probable**”, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.2.2.4 Tendencias

Como se indica en el apartado 3.3.2.1.5 Proyecciones climáticas para el parámetro lluvias de inundación, según IPCC en los resultados del Grupo de Trabajo I del AR4 (Figura 39) (IPCC, 2008) se establecen las tendencias en los cambios en las precipitaciones extremas para el período 1961-1990, en efecto se determina que para la región centroamericana se han tenido cambios desproporcionados de la precipitación intensa y muy intensa con respecto al cambio de la precipitación anual y/o estacional, es decir presenta una tendencia al aumento de estos extremos.

3.3.2.2.5 Proyecciones futuras

Con la información anterior, se determinó una probabilidad de **7** es decir una probabilidad **“Con certeza/muy probable”**, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe-

Como se indica en el apartado 3.3.2.1.5 Proyecciones climáticas para el parámetro Lluvias de inundación, la precipitación media anual para el año 2040 podría presentar un aumento de hasta un 25% y los eventos de precipitaciones extremas serán más frecuentes, particularmente en las regiones tropicales en las que se proyecta un aumento en la precipitación media, incluso se indica que las precipitaciones intensas incrementarán más que la media de la precipitación.

Para conservar el objetivo del protocolo y basado en las proyecciones climáticas entregadas por el IMN, en las cuales se indica que los eventos de precipitación aumentarán en el futuro debido a cambio climático se decide colocar una probabilidad de 6 para el escenario actual y 7 para el escenario futuro con cambio climático.

Lo anterior para poder reflejar los efectos que se producirán con el cambio climático y dado que los riesgos sobre los componentes de infraestructura aumentarán si no se toman medidas de mitigación.

3.3.2.3 Huracanes

3.3.2.3.1 Definición

Se define el parámetro huracán, como el número de eventos que generaron afectación en la zona de estudio con respecto al número de años del período de estudio.

Los huracanes corresponden a una depresión tropical, que se considera una anomalía atmosférica violenta que gira a modo de torbellino caracterizado por fuertes vientos, acompañados por lluvia. Ocurren en el Mar Caribe y en el Océano Pacífico Tropical (Desinventar, 2009).

De acuerdo con IMN (2008), el aporte de los huracanes al total de lluvia anual es del 1% para la región Caribe.

Dentro de los efectos que están asociados a los huracanes, están el aumento en las marejadas, en los vientos y en las lluvias.

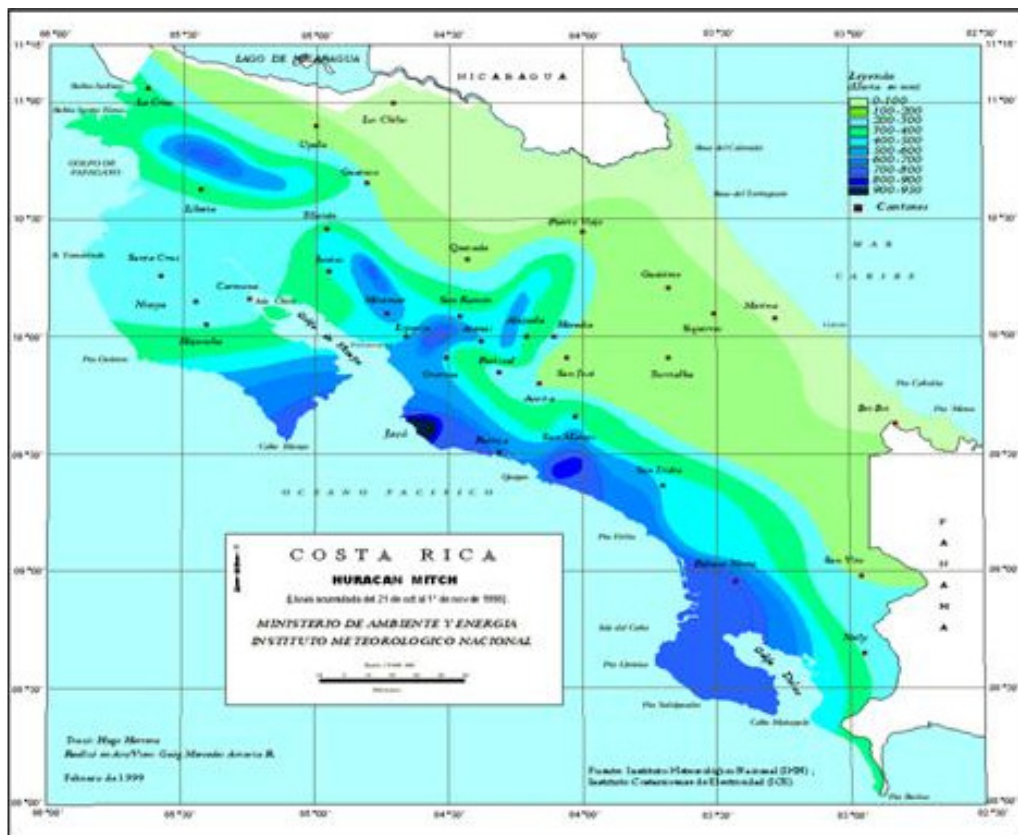
Si el huracán se encuentra en el mar Caribe, generará una marejada que afectará los alrededores del huracán, es decir, afectará esencialmente el estado del mar (oleaje, lluvias, vientos). Por lo general las costas costarricenses no se ven afectadas por la marejada, sin embargo, cuando un huracán pasa muy cerca de las costas caribeñas del país, al noreste de Barra del Colorado, el efecto se hace sentir frente a dicho lugar. Por otro lado, un huracán genera, en promedio, entre 150 y 300 mm de lluvia, con respecto a

los vientos asociados con un huracán suelen causar efectos devastadores en grandes zonas, especialmente en aquellas en las que el fenómeno afecta directamente.⁷

3.3.2.3.2 Historial Climático

A pesar de que los huracanes se forman en el mar Caribe afectan el litoral del Pacífico costarricense, debido a la circulación de los vientos y del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el país.

Para ilustrar esta afectación se tomará como ejemplo al huracán Mitch que afectó nuestro país del 21 de octubre al 01 de noviembre de 1998, el cual ha sido considerado el huracán más devastador en la historia centroamericana. En la Figura 3-10 se observa que este evento generó una cantidad significativa de lluvia en la vertiente pacífica, contrariamente a la vertiente caribeña, en donde la lluvia fue escasa.



Fuente: IMN

Figura 3.10 Mapa de lluvia acumulada en Costa Rica relacionada con el huracán Mitch del 21 de octubre al 1 de noviembre de 1998.

Nótese el máximo de lluvia en el Pacífico central (Jacó, Quepos), alrededor de 900 mm. En el Pacífico sur (Palmar Norte) los valores de lluvia acumulada rondan los 500 mm o más, así como en la Península de Nicoya, particularmente en su sector sureste y al norte

⁷

<http://www.imn.ac.cr/educacion/huracanes/huracan05.html>

de Liberia, en donde se acumularon cantidades muy significativas. En las llanuras de la Zona Norte los valores no alcanzaron los 250 mm. En las partes montañosas, por el contrario, los acumulados de lluvia oscilaron alrededor de 250 mm. La vertiente caribeña fue la región más seca del país con valores acumulados de 100 mm o menores. La cantidad de lluvia acumulada por el huracán Mitch fue muy superior a la lluvia acumulada por el efecto tanto del huracán César (1996) como del huracán Joan (1988).⁸

De acuerdo con el National Hurricane Center, de la agencia estadounidense NOAA, para el Océano Atlántico, la base de datos cuenta con 1377 ciclones tropicales del año 1851 a 2007, mientras que para el Océano Pacífico la base de datos cuenta con 833 ciclones tropicales de 1949 a 2007.

En la Figura 3-11 se muestran las trayectorias de los ciclones tropicales para los Océanos Atlántico y Pacífico contenidas en la base de datos HURDAT hasta el año 2007, mientras que en la Figura 3-12 se muestran los eventos que han afectado el territorio nacional, debido a que tienen la condición de que en algún momento de la trayectoria el ojo del huracán se localizó a menos de 200 km. de las costas costarricenses, así como eventos con una categoría \geq (119 km/h) en la escala de Saffir-Simpson (SS).

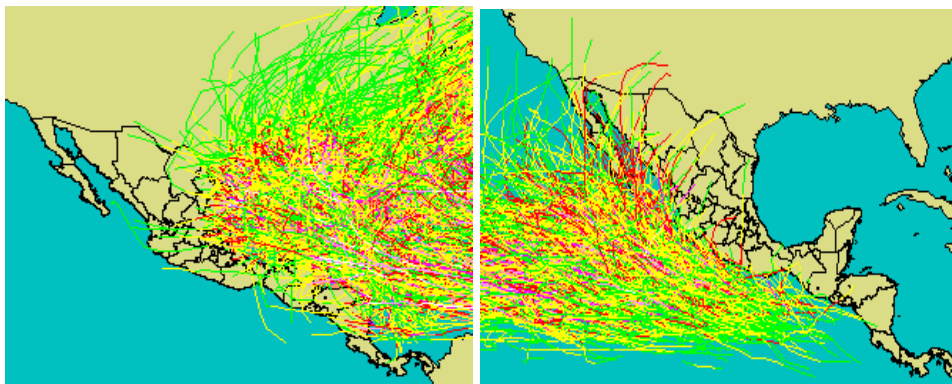


Figura 3-11. Trayectoria de huracanes para los Océanos Atlántico (izq.) y Pacífico (der.) hasta el año 2007. Fuente: Base de datos HURDAT de la NOAA.

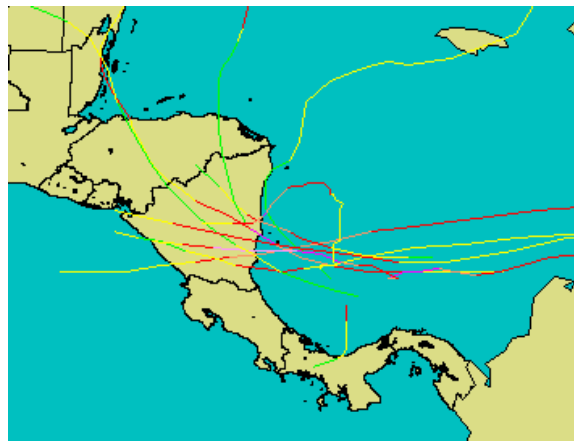


Figura 3-12. Huracanes que han afectado el territorio nacional

8

<http://www.imn.ac.cr/educacion/huracanes/huracan06.html>

3.3.2.3 Análisis de probabilidad

De acuerdo con ECAPRA (Evaluación Probabilística de Riesgo para América Central)⁹ para el período 1970-2005 se registraron 15 eventos de huracanes que afectaron nuestro país, de ellos solamente 2 generaron afectación en la zona de estudio, con lluvias, inundaciones y vientos de gran magnitud.

Con base en la información anterior, se determina que la frecuencia de probabilidad histórica es de 0.06 (número de eventos que generaron afectación en la zona de estudio con respecto al número de años del período de estudio), lo que corresponde con la escala establecida a un valor de **1** es decir una probabilidad “**Improbable / Muy poco probable**”, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.2.3.4 Tendencia

La temporada de huracanes se extiende cada año entre los meses de junio a noviembre, si bien como se demostró anteriormente la mayoría se originan en la región del Caribe, esto afecta debido a los sistemas de baja presión a la región central del país y a las regiones del Pacífico.

Es muy difícil analizar los cambios en eventos climáticos extremos como huracanes, inundaciones y sequías, debido a que estos eventos necesariamente no ocurren en el mismo tiempo y en la misma localización, sin embargo se tiene que considerar la posición del IPCC, el cual indica en el Cuarto Informe de Síntesis (2007), que de acuerdo con una gama de modelos, es probable que en el futuro los ciclones tropicales (tifones y huracanes) **sean más intensos**, con máximos más acentuados de la velocidad del viento y mayor abundancia de precipitaciones intensas, todo ello vinculado al constante aumento de la temperatura superficial de los mares tropicales. Con un menor grado de confianza, las proyecciones indican una disminución mundial del número de ciclones tropicales.

3.3.2.3.5 Proyecciones climáticas

La mayoría de las proyecciones de los modelos de circulación general indican anomalías de precipitaciones relativamente grandes (positivas y negativas) para las zonas tropicales de América Latina, además, es probable que en el futuro aumente la frecuencia de ocurrencia de eventos climáticos extremos, sobre todo la frecuencia e intensidad de los huracanes en la cuenca del Golfo de México y el Caribe.¹⁰

Si bien los huracanes están asociados a aumentos en la temperatura del mar, de los vientos, de la precipitación e incluso de aumentos en el nivel del mar, se podría indicar que de acuerdo con las proyecciones climáticas existe una tendencia al aumento en el número e intensidad de este tipo de evento extremo (IPCC, 2007).

⁹ http://www.ecapra.org/capra_amenaza_por_huracanes_en_Costa_Rica

¹⁰ http://www.lariocc.net/riocc_principal/es/cc_iberoamerica/impactos_vulnerabilidad.htm

Sin embargo, no se puede definir con certeza si este tipo de eventos se generarían a menos de 200 km de la costa del Caribe costarricense, de tal forma que afecten directamente al área de estudio, pues como se indicó anteriormente, la afectación de un huracán que se desarrolla en el Caribe es directamente en la línea de la costa del océano Pacífico y el valle central de nuestro país.

Considerando la tendencia de las proyecciones al aumento en la generación de este tipo de eventos para el futuro, se aumenta en un grado la probabilidad asociado al historial climático, siendo que esta aumentaría a un valor de 2, es decir una probabilidad “**Remota**”, de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe.

3.3.2.4 Viento (velocidad y dirección)

3.3.2.4.1 Definición

Para los propósitos de este estudio, el parámetro de viento, se define como el número de días en los que la velocidad iguale o supere 10 m/s y con dirección noreste o este hacia el sitio de estudio, respecto al número de años de registro.

El viento es el aire en movimiento, y como tal tiene dirección y velocidad. La dirección se indica por el punto de donde procede; la velocidad es la distancia recorrida por una partícula de aire en la unidad de tiempo (m/s; km/h; nudo). La velocidad del viento se mide por medio de instrumentos llamados anemómetros y la dirección del mismo se observa con la ayuda de la veleta (Chacón,1985).

Para los propósitos de este estudio, el parámetro de viento se define con base en la modelaciones realizadas por la Universidad de Cantabria en el estudio denominado Resumen de las estudios realizados sobre el emisario submarino de Puerto Limón, Costa Rica, estas son condiciones de viento desfavorables para la dilución de la pluma de contaminantes dispersadas por el emisario submarino. El emisario, al igual que la infraestructura evaluada se explica en detalle en el Capítulo 4 de este documento.

3.3.2.4.2. Historial climático

Para el área de estudio, la dirección predominante del viento es del sureste con una intensidad promedio de 2.05 m/s medido a 5 m de altura sobre el suelo, esto para el período comprendido entre 1970 y 2009.

En la Figura 3-13 se muestran los valores promedio mensuales de velocidad del viento para la ciudad de Limón.

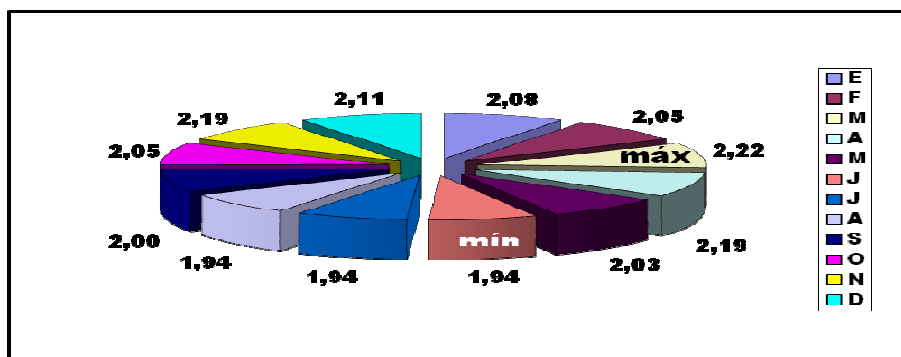


Figura 3.13. Valores promedio mensuales de velocidad del viento (m/s), Estación Limón 81-003. Período 1970-2009.

Para los meses comprendidos entre noviembre y abril, se ha encontrado que el valor promedio de la velocidad del viento es de 2,14 m/s, mientras que de mayo a octubre éste es en promedio 2,00 m/s. Entre junio y agosto se dan las velocidades promedio mensuales más bajas: 1,94 m/s respectivamente. Los valores máximos promedio que se han registrado son del orden de los 2,19 y 2,22 m/s en los meses menos lluviosos.

3.3.2.4.3 Análisis de probabilidad

Para determinar la frecuencia de probabilidad se obtuvo el número de eventos en los que la estación meteorológica haya registrado vientos con velocidades iguales o mayores a los 10 m/s con direcciones predominantes noreste y este. El período de análisis se extiende desde 1970 a 1997.

Solamente en 4 casos se registraron las condiciones anteriores, de un total de 42.848 casos en los que el viento tuvo direcciones del noreste y este. Se tomó el número de casos ya que en un día de registro es posible que las condiciones de velocidad del viento cambiaran de una a otra dirección.

De los resultados se obtuvo una frecuencia de 0,15 (número de casos del total de la muestra en los que la velocidad superara o igualara los 10 m/s con direcciones predominantes del noreste y este, entre el número total de años de registro que va de 1970 a 1997). Este valor de frecuencia corresponde a un valor de **3** en la probabilidad, es decir una probabilidad "**Ocasional**", de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe

3.3.2.4.4 Tendencia

Los frentes del norte y los sistemas de alta presión en el Atlántico Norte hacen que en la región de estudio soplen los alisios intensamente desde noviembre hasta abril. Sobre el Caribe es claro que para todo el año el viento tiene componente noreste. Aumenta significativamente el viento en julio coincidiendo con el "veranillo de San Juan". Sus mínimos valores los presenta en setiembre octubre cuando los oestes ecuatoriales están bien establecidos en Costa Rica. (Lizano, 2007)

3.3.2.4.5 Proyecciones climáticas

De acuerdo con los modelos globales del CCCSN, se determinó que la velocidad media del viento para los meses comprendidos entre noviembre y abril, en el área de influencia o afectación de la velocidad del viento en la ciudad de Limón, tiende a la disminución de la velocidad. Los resultados del modelo son para datos sobre los 10 m. de altura, mientras que los datos de la estación Limón se han tomado para 5 m. de altura.

Con base en lo anterior, considerando que los datos con los que se ha realizado el análisis son los valores medios pero para una altura diferente, se considera que estos resultados no proyectan la verdadera tendencia de la velocidad de los vientos en la zona de interés, por consiguiente se mantiene el valor de la escala de probabilidad.

De , este valor de frecuencia corresponde a un valor de **3** en la probabilidad, es decir una probabilidad "**Ocasional**" , de acuerdo con el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe

3.4 Resumen de resultados

3.4.1 Frecuencia y probabilidad actual para los parámetros de tipo recurrente

Para estos parámetros se utilizará el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe, que aplica el cálculo de la frecuencia de manera porcentual, lo cual se ajusta más a la realidad del parámetro y sus efectos sobre la infraestructura. Ver tabla 3-5.

Tabla 3-5 Frecuencia y probabilidad actual para los parámetros recurrentes

Parámetro	Frecuencia	Probabilidad actual
Altas temperaturas	54,3%	4
Oleaje	3,7%	1
Brisa marina	13,3%	2
Rayería	9,2%	2

3.4.2 Frecuencia y probabilidad actual para los parámetros extremos

Para estos parámetros se utilizará el Cuadro 2-2 Factores de la escala de probabilidad para eventos recurrentes y extremos, del apartado 2.2.2.2 de este informe. Ver la Tabla 3-6.

Tabla 3-6 Frecuencia y probabilidad actual para los parámetros extremos

Parámetro	Frecuencia	Probabilidad actual
Lluvia de inundación	0,31	4
Lluvia de sobrecarga	9,94	6
Huracán	0,06	1
Viento	0,15	3

3.4.3. Tabla resumen de resultados

La Tabla 3-7 presentan un resumen de datos y sobre la forma como se asignaron las probabilidades para los parámetros para las condiciones de clima actual y futuro, en el análisis de riesgo por cambio climático.

Esta información es la base para poder avanzar a la Etapa 3 Evaluación de riesgo, una vez se complete la Etapa 2. La Etapa 2 está enfocada a la obtención y suficiencia de los datos, etapa en la cual se estudia detalladamente la infraestructura evaluada.

El Capítulo 4 se enfoca en los componentes de la infraestructura evaluada.

Tabla 3-7(a) Resumen de datos resultante para los parámetros recurrentes para clima actual y futuro

Parámetro	Período de registro	Umbral	Datos A	Unidad	Datos B	Unidad	Espacio temporal	Frecuencia		Probabilidad	
								Calculada	Porcentual	Actual	Futura
Altas temperaturas	1970-2010	≥30 °C	7935	día	40	años	días	198,38	54,3%	4	5
Oleaje	2000-Set 2010	2-3 m	132	días	9,75	años	días	13,54	3,7%	1	2
Brisa marina	1970-1997	2-7 m/s NE-E	31501	días	27	años	días	1166,70	13,3%	2	3
Descargas atmosféricas	2005-Jul 2010		978	Descargas	6,5	años	Descargas	1.93	9.2%	2	2

Cuadro 3-7(b) Resumen de datos resultante para los parámetros extremos para clima actual y futuro

Parámetro	Período de registro	Umbral	Datos A	Unidad	Datos B	Unidad	Espacio temporal	Frecuencia	Probabilidad	
									Actual	Futura
Lluvia de inundación	1941-2009	≥ 213,6 mm en 24 horas	21	días	68	años	días	0,31	4	5
Lluvia de sobrecarga	1941-2009	≥ 64,9 mm en 24 horas	676	días	68	años	días	9,94	6	7
Huracán	1970-2005		2	eventos	35	años	eventos	0,06	1	2
Viento	1970-1997	10 m/s NE-E	4	días	27	años	días	0,15	3	3

4. COMPONENTES DE INFRAESTRUCTURA

En este apartado se presentan los componentes de infraestructura que se desean evaluar mediante el protocolo PIEVC.

4.1 Sistema de recolección del alcantarillado sanitario

4.1.1. Elementos de Conexión con usuarios

El sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Limón cubre 7.164, de los 17.101 servicios de agua potable que tiene actualmente el acueducto, lo que representa un 42% de cobertura del total.

Se establecen como elementos específicos de la infraestructura que se pueden ver afectados ante los eventos climáticos en las conexiones con los servicios, los siguientes:

- Las Acometidas
- Los Sifones

Estos dos elementos se agrupan como un solo componente en el análisis mediante el Protocolo.

Cabe destacar que la cobertura de alcantarillado con tratamiento de aguas residuales es del 40%, esto dado a que existen unos 275 servicios en las comunidades de Los Almendros, Decar y Cangrejos que descargan sus aguas sin tratamiento a los cuerpos de agua receptores.

Para indicar los sectores donde se cuenta con alcantarillado sanitario, de acuerdo al sistema Comercial de AyA e identificar las comunidades y la cantidad de servicios prestados, se adjunta la Tabla 4.1, en la que se muestran los sectores según sistema comercial de AyA y comunidades que cuentan con servicio de alcantarillado sanitario.

El alcantarillado sanitario de la ciudad de Limón, fue reconstruido en 1976, se instalaron colectores nuevos de asbesto cemento que iban desde los 200 mm hasta los 400 mm de diámetro, el resto de la red existente consistía en tubería de 150 mm de diámetro de arcilla vitrificada, este sistema abarcaba solamente el casco central de la ciudad, y algunos barrios aledaños, sin embargo este alcantarillado sanitario colapso como consecuencia del terremoto que afectó la ciudad de Limón el 22 de abril de 1991, motivo por el cual tuvo que ser reconstruido nuevamente.

4.1.2. Elementos de Transporte de Aguas Residuales

Los elementos específicos de la infraestructura que se pueden ver afectados ante los eventos climáticos en el transporte de las aguas residuales del sistema de recolección son los siguientes:

- Redes
- Subcolectores
- Colectores

Estos tres elementos se agrupan como un solo componente en el análisis mediante el Protocolo.

La red de alcantarillado sanitario tiene longitud de unos 67,15 km de longitud y un área de recolección de 290 hectáreas, tal y como se muestra en la Figura 4.1.

Tabla 4.1. Sectores según sistema comercial de AyA y comunidades que cuentan con servicio de alcantarillado sanitario.

Sector	Barrio	Cantidad de Servicios
1	Limón Centro	653
2	Limón Centro	653
3	B° Roosevelt	623
4	Cangrejos (sin tratamiento)	127
5	Bella Vista, Triunfo y Laureles	508
6	Margarita Garrón, Urb. Lomas, Siglo XXI, Coopeutba San Juan	1172
7	Corales 1 (Algunos Sectores) Corales 2 y Corales 3	792
13	Cristóbal Colón	535
14	Cristóbal Colón	283
18	Pacuare	1629
21-22	Urb. Los Almendros y Coopedecar (sin tratamiento)	146
23	Siglo XXI II y IV Etapa	43
TOTAL		7164

Figura 4.1. Área de cobertura de la red de Alcantarillado Sanitario con tratamiento de la Ciudad de Limón.



4.1.3. Elementos de Inspección (Pozos de Registro)

La principal actividad de operación y mantenimiento en los sistemas de transporte de aguas residuales, corresponde a las desobstrucciones de las redes, subcolectores y colectores; estos trabajos se realizan mediante el acceso que se tiene por medio de los pozos de registro, los cuales se analizan como un componente de infraestructura con el protocolo.

Las redes no cuentan con un programa de limpieza, en realidad porque la Región no cuenta con equipo para esta actividad (Hidrovaciador). Esta actividad es importante en la ciudad, dadas las bajas pendientes en la mayor parte de la red y colectores, que favorecen la sedimentación, lo que provoca una disminución en la capacidad de las tuberías.

4.2 Estaciones de Bombeo

El sistema de recolección de aguas residuales funciona de manera tal que las aguas residuales de las diferentes cuencas se orientan hacia la Estación de Preacondicionamiento del Emisario Submarino (EPA), las cuales son redirigidas desde microcuencas que vierten a distintas estaciones de bombeo.

Cada cuatro o tres meses, se realizan revisiones periódicas de las estaciones de bombeo, donde se miden las diferentes variables hidráulicas y eléctricas, para detectar de forma preventiva posibles daños. De estas revisiones se tiene un registro de más de 10 años.

Adicionalmente, se lleva un registro de todos los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de cada equipo de bombeo, así como el control de los consumos de energía eléctrica de cada estación, para identificar patrones de consumo, ineficiencias en los sistemas, entre otros.

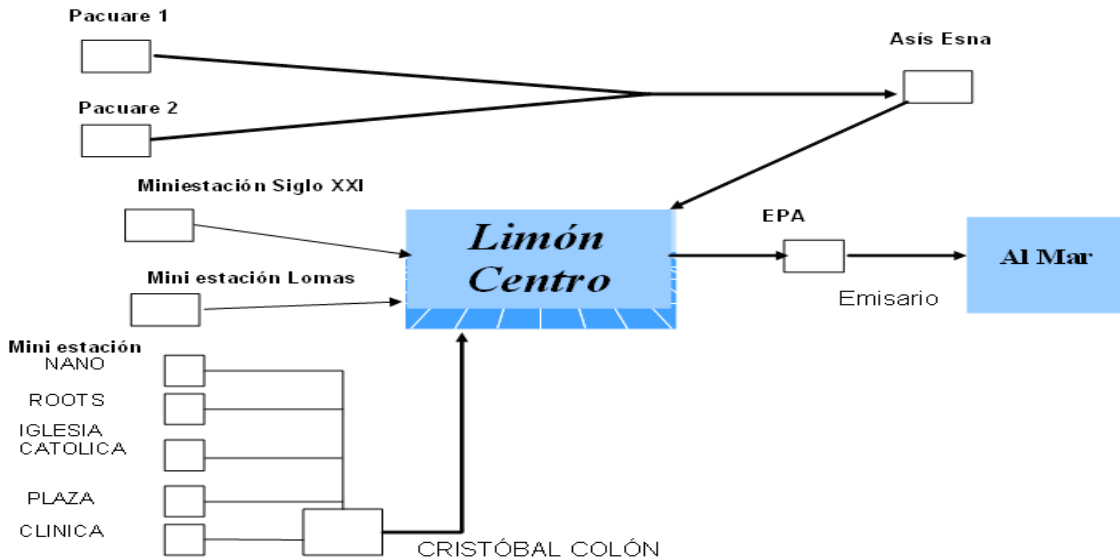
Para resumir las características y estado de las Estaciones de Bombeo, se adjunta la Tabla 4.2.

Cuadro 4.2. Muestra las características de las Estaciones de Bombeo de Aguas Residuales de la Ciudad de Limón.

Estación de Bombeo	Cantidad de Equipos	Potencia de cada equipo (Hp)	Generador Eléctrico	Condición de la estación
Asis Esna	3 (Centrífuga de eje horizontal)	40	SI	Funcionando
Cristóbal Colón	3 (Centrífuga de eje horizontal)	20	SI	Funcionando
Pacuare 1	1 (sumergible)	30	NO	Funcionando
Pacuare 2	1 (sumergible)	30	NO	Fuera de Operación
Miniestaciones (7)	1(sumergible)	1,5	NO	Funcionando

Para esquematizar la forma en como las diferentes estaciones de bombeo y microcuencas, convergen a la Estación de Preacondicionamiento del Emisario Submarino, se adjunta la Figura 4.2.

Figura 4.2 Esquema de bombeo del sistema de recolección de aguas residuales



Para ubicar espacialmente las distintas estaciones de bombeo, se adjuntan las Figuras 4.3 y 4.4.

Figura 4.3. Ubicación Espacial Estaciones de Bombeo de la zona Norte de Limón.

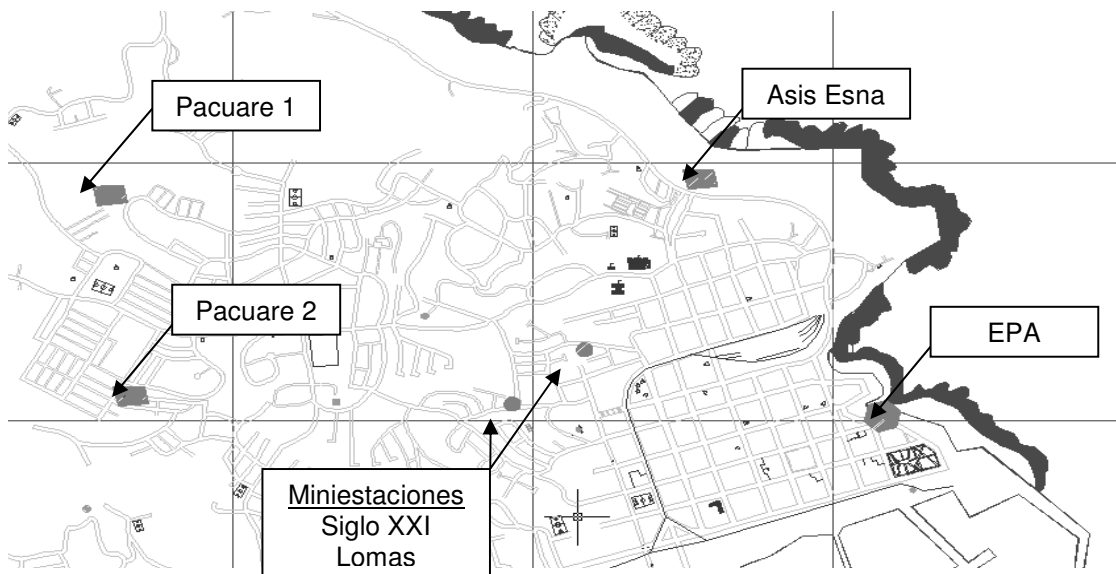
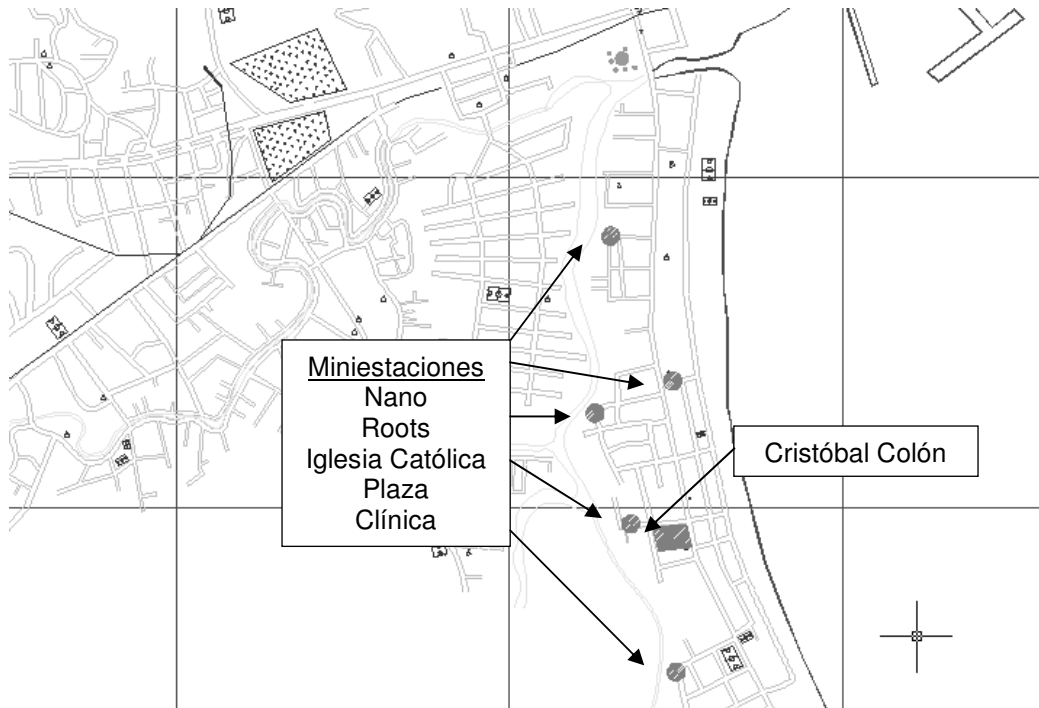


Figura 4.4. Ubicación espacial de las cinco Miniestaciones de Cieneguita, las cuales bombean a un colector que descarga en la Estación de Bombeo de Cristobal Colón.



Con el propósito de clasificar las estaciones de bombeo de acuerdo a características semejantes como: cercanía, altitud, tipo de equipo utilizado, cercanía a la costa, etc y de esta manera tratar de agrupar las estaciones de bombeo que pudieran tener el mismo comportamiento respecto a un evento climático; se define el siguiente grupo de estaciones.

4.2.1 Mini estaciones costeras

En el caso de las cinco miniestaciones de Cristóbal Colón o Cieneguita, las mismas bombean hacia un colector, el que a su vez deposita por gravedad las aguas en la estación de Cristóbal Colón.

- i. Nano
- ii. Roots
- iii. Iglesia católica
- iv. Plaza
- v. Clínica

En estas estaciones el problema de ingreso de agua de lluvia a los sistemas de recolección de aguas residuales es poco, debido a que las viviendas están separadas entre sí, existen lotes vacíos y muchas no cuentan con canoas por lo que no se descarga el agua pluvial en las calles; más bien estas son infiltradas en los terrenos. (Ver Fotografía 4.1).

En este caso particular la zona drena a la laguna de Cieneguita, por lo que no se presentan situaciones de inundación en la zona donde se ubican las instalaciones de bombeo; excepto en eventos extremos, donde se inunda gran parte de Cieneguita.

Fotografía 4.1. Viviendas cercanas a las miniestaciones costeras



4.2.2 Mini estaciones terrestres

En el caso de las miniestaciones de bombeo de Siglo XXI y Lomas de Chita, estas bombean sus aguas residuales hasta la red de alcantarillado sanitario del centro de Limón y de allí por gravedad hasta la EPA.

- i. Lomas
- ii. Siglo XXI

La diferencia con las estaciones costeras radica en que se encuentran a una mayor altitud sobre el nivel del mar, se ubican cerca de quebradas y el efecto de agua pluvial es mayor debido a que se encuentran en zonas que cuentan con sistemas de alcantarillado pluvial lo que aumenta la posibilidad de interconexiones (descargas de pluviales) al sistema sanitario.

4.2.3 Estaciones centrífugas

i. Asis Esna

Recibe las aguas residuales directamente de las redes de alcantarillado circundantes, además reciben el agua bombeada por las estaciones sumergibles Pacuare 1 y 2.

Bombee las aguas residuales a la red de alcantarillado sanitario del Centro de Limón que descargan sus aguas residuales a la EPA.

Se encuentra localizada en la costa lo que la hace propensa a efectos nocivos producto de eventos climáticos.

Fotografía 4.2. Edificación, los paneles de control, las Bombas y la tubería de impulsión de la Estación de Aguas Residuales Asis Esna.



Fotografía 4.3. Se muestra en la costa la Estación de Aguas Residuales Asis Esna.



ii. Cristobal Colón

Recibe las aguas residuales bombeadas por las miniestaciones costeras y bombea hacia la red de alcantarillado sanitario del centro de Limón y de allí el agua residual se conduce por gravedad hasta la EPA.

No existen riesgos de inundación en el plantel. No suele presentar problemas de sobrecarga ni atascamientos; lo anterior se explica por la baja densidad de la zona urbana (se presume que exista menor cantidad de interconexiones).

Además el efecto de rebalse que ocurre en miniestaciones en los momentos de fuertes precipitaciones, hace que la llegada de caudales a la estación Cristóbal Colón esté limitada por el diseño de las estaciones tributarias. Además se señaló el efecto de reducción en obstrucciones que se induce por efecto de remoción de objetos grandes que ocurre de previo en cada estación tributaria. Esto induce mayor durabilidad en los equipos de la estación Cristóbal Colón.

Fotografía 4.4. Estación de Aguas Residuales Cristóbal Colón.



4.2.4 Estaciones sumergibles

Las estaciones de Bombeo de Pacuare 1 y 2 bombean hacia la red de alcantarillado sanitario que tributa a la Estación de Asis Esna.

i. Pacuare 1

En esta estación se identifica un aporte importante de aguas pluviales al sistema sanitario, lo anterior posiblemente por estar ubicada en una zona alta densidad de población, con impermeabilización del suelo. Además se observa que las casas están contiguas y los techos tienen pendiente hacia el fondo de las propiedades, de manera que es muy probable que se den descargas directas de pluviales al sistema sanitario.

No se han registrado inundaciones en el predio, posiblemente por la existencia de un canal revestido en la parte colindante.

Es importante indicar que esta estación se encuentra propensa a problemas debido al vandalismo, lo que ha provocado la salida de operación de la estación.

Fotografía 4.5. Estación Pacuare 1.



ii. Pacuare 2

Esta estación se encuentra fuera de operación desde hace más de 8 años producto de la inundación frecuente del predio, debido a deficiencias del sistema pluvial que se ve reducido por obstrucciones especialmente por basuras, aspecto que se observó en el sitio (Ver Fotografía 4.6).

La zona de drenaje urbano es similar a Pacuare 1 (tipo y densidad de vivienda), con lo que se espera un aporte importante de aguas pluviales al sistema sanitario.

Para disminuir la vulnerabilidad de la estación ante eventos de lluvia extrema, se construyó la caseta de control en un lote aledaño que no tiene problemas de inundación, tal y como se muestra en la Fotografía 4.6.

Fotografía 4.6. Estación Pacuare 2 y obstrucciones del sistema pluvial por basuras

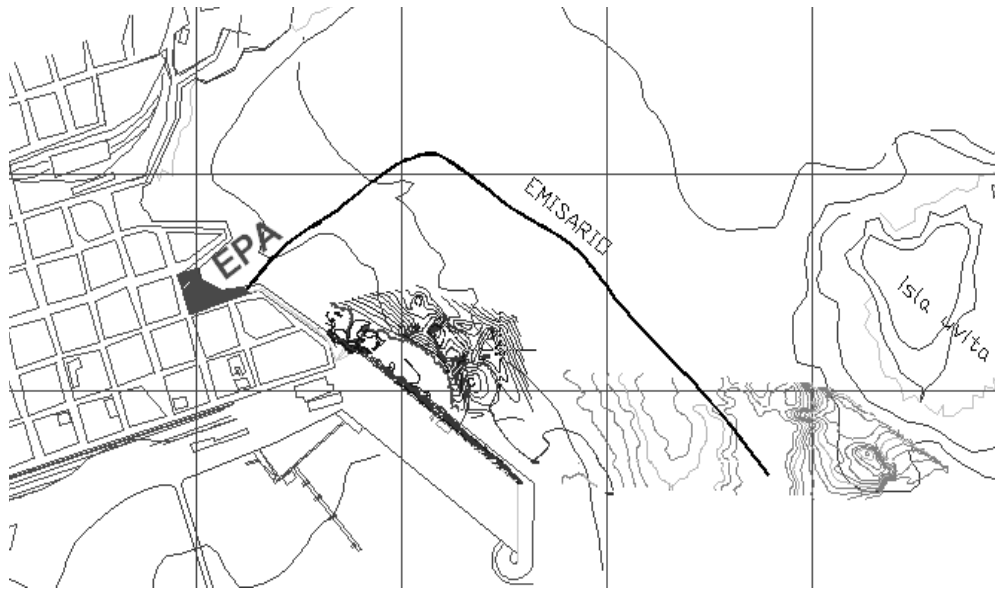


4.3 Estación de preacondicionamiento (EPA)

A raíz del sismo ocurrido en abril de 1991, el sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Limón, se vio grandemente afectado. En consecuencia AyA desarrollo los estudios y diseños necesarios para rehabilitar tanto los sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial, como los de abastecimiento de agua potable y al mismo tiempo suministrar un tratamiento preliminar de las aguas residuales mediante una Estación de Preacondicionamiento (EPA) y un Emisario Submarino. Tanto la EPA como el Emisario corresponden a la Etapa Final de la reconstrucción del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Limón.

La EPA se encuentra ubicada, tal y como se muestra en la Figura 4.5 contiguo al Park Hotel, entre las coordenadas Lambert Costa Rica 643777 Norte y 219558 Este y 644359 Norte y 219693 Este.

Figura 4.5. Se muestra la ubicación de la planta de la EPA y el Emisario Submarino.



Para definir cada una de las partes que componen la EPA, se adjunta la Figura 4.6, donde se indican los distintos componentes de la estación. Además se adjuntan dos cortes en las Figuras 4.7. y 4.8, los mismos fueron realizados trazando una línea central tanto vertical como horizontalmente de la Figura 4.6.

Figura 4.6. Se muestra la planta de la EPA, donde se indica el nombre de los distintos elementos que la componen.

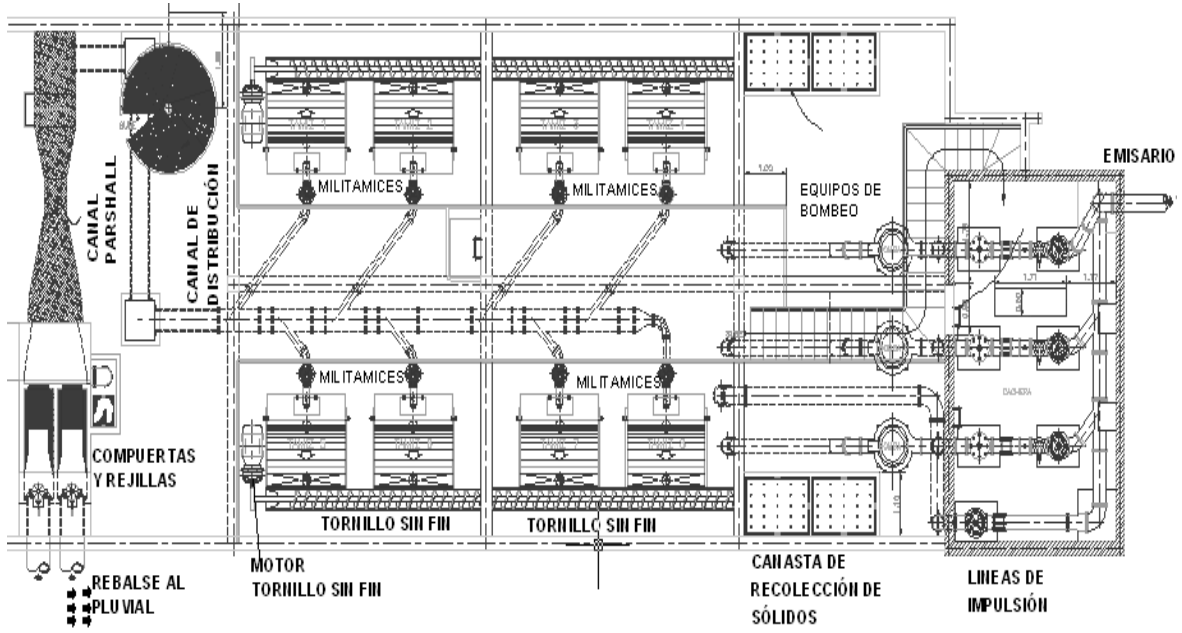


Figura 4.7. Se muestra el corte horizontal y centrado de la Figura 4.6.

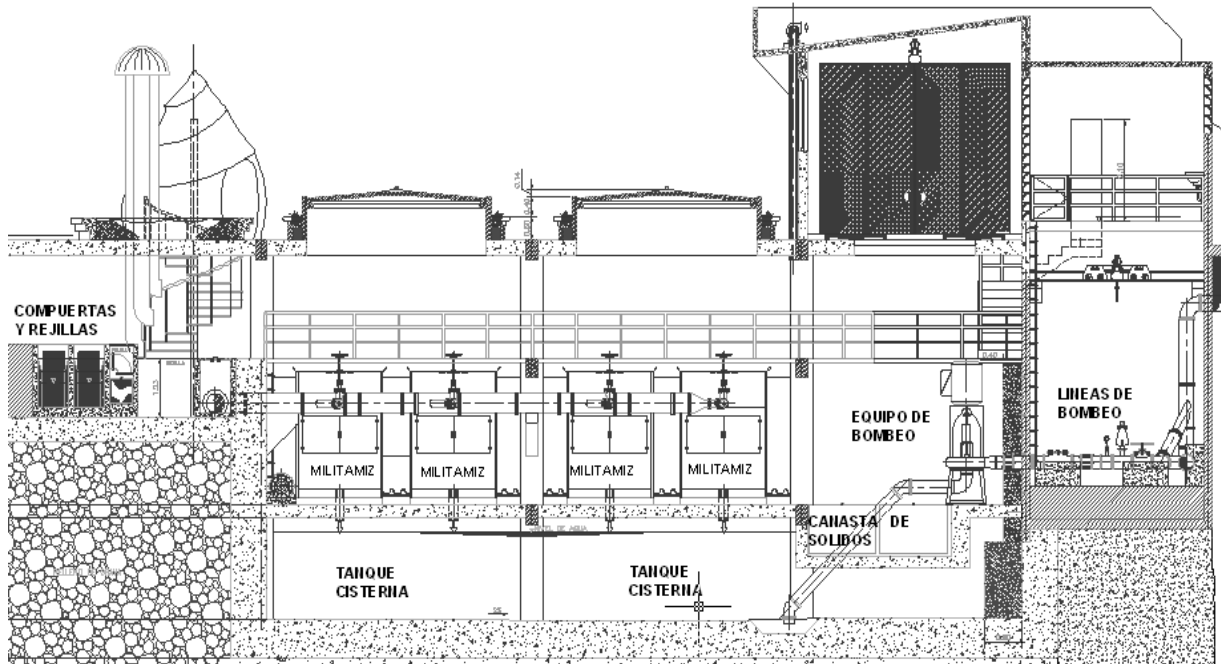
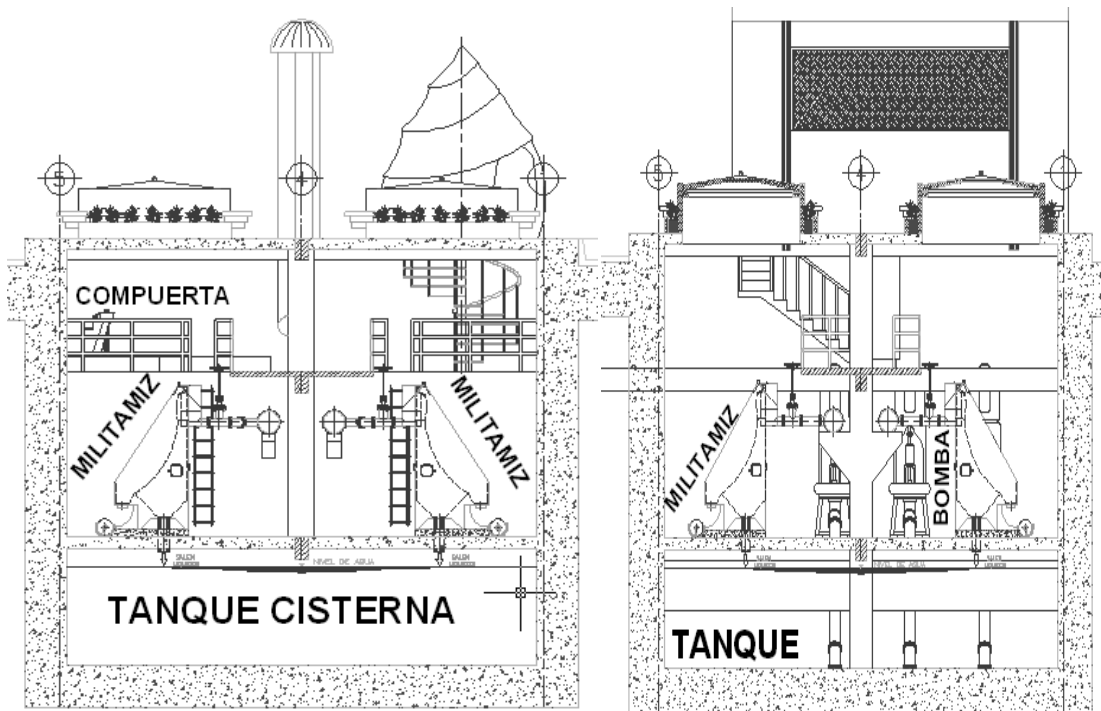


Figura 4.8. Se muestra el corte vertical y centrado y observando a ambos lados de la Figura 4.6.



Una vez identificados los distintos componentes de la EPA, se detalla cada uno de ellos.

4.3.1 Edificio

La edificación donde esta albergada la EPA, consiste en una estructura de concreto y cuenta con portones y ventanas en metal. En ella se ubican los paneles de control, el sistema de carga y transporte de sólidos, el equipo de comunicación y el escritorio del operador de la planta.

Se observa un deterioro en los elementos metálicos de cerramiento de la edificación, esto debido a que está sometida las acciones abrasivas del ambiente marino y del interno debido a los gases liberados por las aguas residuales.

Ciertos elementos estructurales a lo interno de la estación se encuentran con muestras de corrosión que han expuesto el refuerzo de acero de los elementos de concreto reforzado, como las vigas de amarre y las losas para el mantenimiento de los militamices. (Ver Fotografía 4.7)

Fotografía 4.7 Edificación donde esta albergada la EPA.



4.3.2. Sistema ventilación

Este sistema consiste en dos extractores de aire mecánicos ubicados en la segunda planta de la estación y una entrada de aire conectada con el exterior, sin ningún equipo mecánico que garantice la entrada de aire fresco a la estación.

No se cuenta con un sistema de ventilación a lo interno de la EPA que garantice la correcta circulación del aire, ya que la mayor concentración de gases que se da es en la planta baja (al nivel del cisterna) y que no logra circular ni evacuarse por medio de los extractores del sistema actual.

En general el sistema de ventilación es deficiente, se debe rediseñar y construir. La solución que se proponga debe garantizar: una correcta circulación de los gases a lo interno de la estación, la entrada de aire fresco, la no afectación a los comercios cercanos y mantener las concentraciones por debajo de los estándares normados.

Fotografía 4.8 Sistema de Ventilación

A la izquierda se muestra la entrada de aire y a la derecha un extractor



4.3.3 Compuertas, rejillas, canal Parshall, canal Interconexión

Tal y como se muestra en la Figura 4.9 y 4.10, el flujo de agua residual proveniente del sistema de alcantarillado sanitario ingresa a la EPA por medio de dos tuberías de 500 mm de Hierro Fundido, al final de cada una de estas tuberías, existen dos compuertas de entrada de acero inoxidable (Ver Figura 4.10), que regulan la entrada de agua a la EPA, la capacidad máxima de cada una de estas compuertas es de 350 l/s para una velocidad máxima de 2 m/s.

Es importante destacar que el nivel de la EPA es de 3,9 metros bajo el nivel del mar, con lo que es imprescindible garantizar que el caudal de ingreso no sobrepase el caudal de diseño, por medio del cierre de compuertas; de lo contrario se inundaría totalmente todas las instalaciones.

Figura 4.9. Compuertas de entrada, sistema de rejillas de ingreso a la EPA, ubicación de la canaleta Parshall y el canal de interconexión que distribuye el caudal a los militamices.

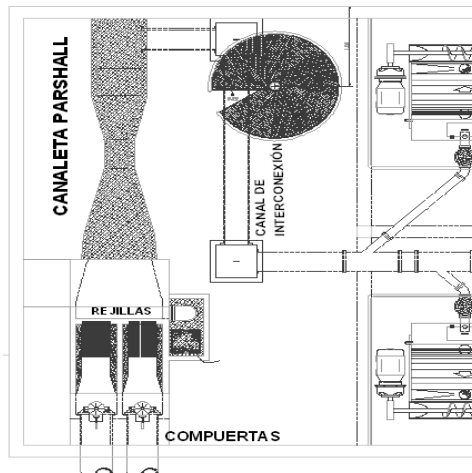
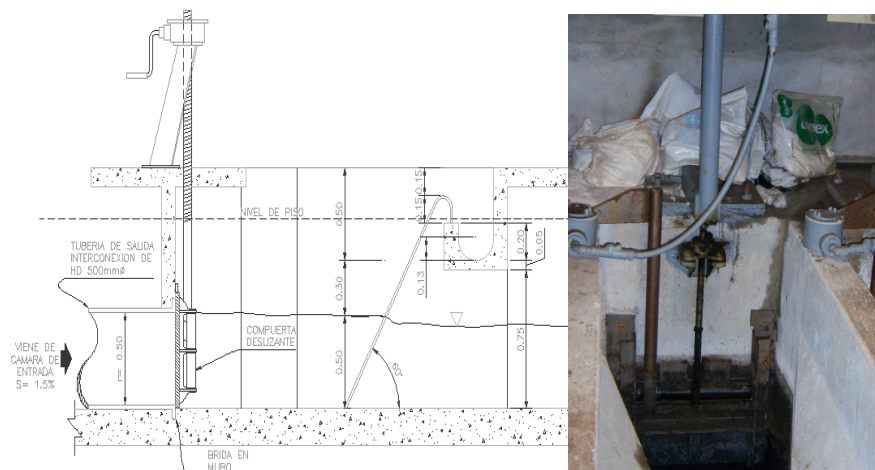
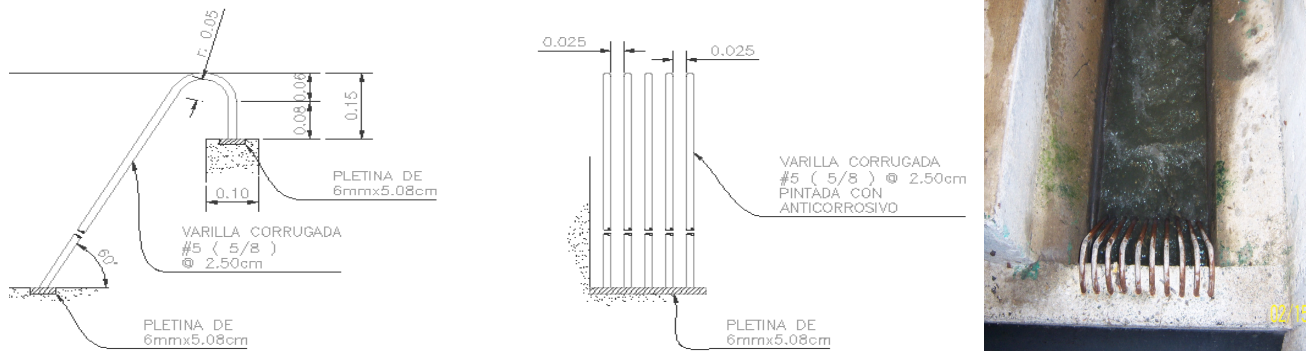


Figura 4.10. Compuertas de entrada y el sistema de rejillas de ingreso a la EPA.



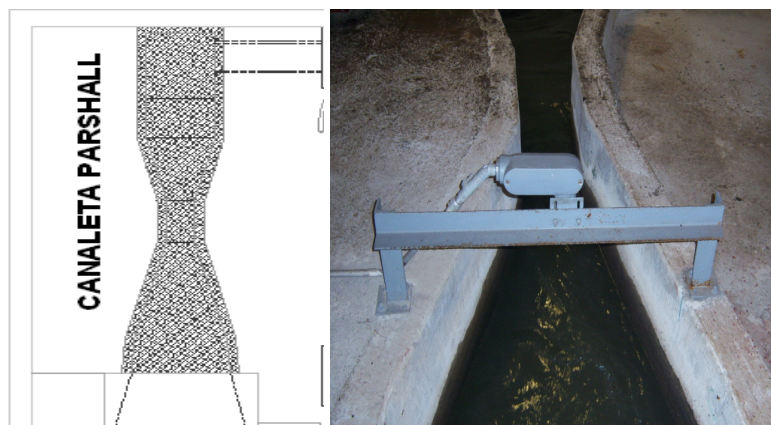
Posteriormente, se hace pasar el flujo por unas rejillas inclinadas 60 grados con respecto a la horizontal, separadas 25 mm (Ver Figura 4.11).

Figura 4.11. Rejillas de entrada a la EPA, con una inclinación de 60° y espaciadas cada 25 mm



Luego se unifica el flujo de ambas rejillas en un canal Parshall (Ver Figura 4.12), donde se mide el caudal, finalmente es conducido por un canal de interconexión para distribuirlo en dos baterías de militamices.

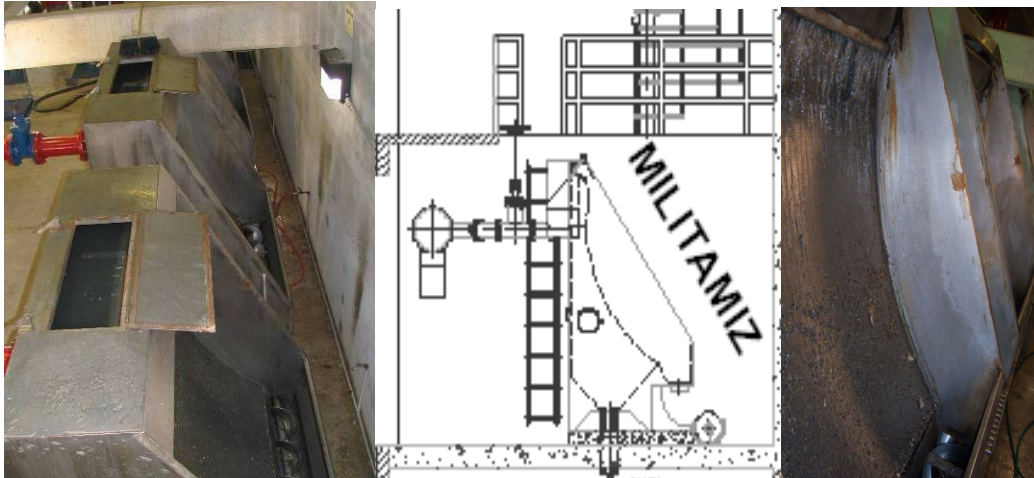
Figura 4.12. Canaleta Parshall y medidor de caudal.



4.3.4 Militamices

Tal y como se mostró en las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8, existen dos baterías de cuatro Militamices estáticos cada una. Los mismos son de Acero Inoxidable (Marca Johnson, 2004), con una capacidad de cada uno de 70 l/s con una apertura de tamizado de 0,5 mm, tal y como se muestra en la Figura 4.13. El funcionamiento consiste en la separación de sólidos mayores a 0.5 mm cuya disposición se realiza al tornillo sin fin y el líquido tamizado se almacena en el tanque cisterna para su bombeo al emisario submarino.

Figura 4.13. Militamiz operando, capacidad máxima de 70 l/s y 0,5 mm de apertura.



4.3.5 Tornillo sin fin, canastas, sistema de izaje, transporte.

Tal y como se indicó el sólido que es separado por medio de los militamices, es dispuesto en dos tornillos sin fin (Ver Fotografía 4.9), cuya operación puede ser alternada redireccionando el flujo a una batería de militamices o a otra.

Fotografía 4.9 Tonillo sin fin y canastas de sólidos



El sólido es trasladado hasta las canastas de almacenamiento, las cuales una vez llenas se cambian por otras y se dejan reposar para su secado por un día, para luego realizar su izaje (Ver Fotografía 4.10) y transporte a un relleno sanitario. Se cuenta con cuatro canastas las cuales tienen una capacidad de 1Ton cada una. El volumen de sólido promedio generado por mes es de 6 Ton.

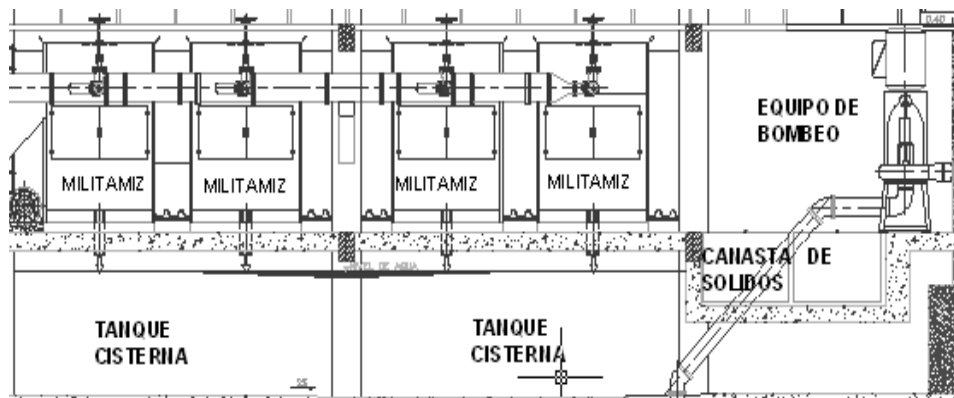
Fotografía 4.10 Canastas de sólidos y sistema de izaje



4.3.6 Tanque cisterna

Como se indicó anteriormente, una vez tamizada el agua residual se deposita en el tanque cisterna antes de ser bombeada (Ver Figura 4.13), la capacidad de éste es de 150 m³, debido a que cuenta con las siguientes dimensiones 16.7 m de largo por 9.0 m de ancho, con una altura de 1.0 m.

Figura 4.13 Tanque Cisterna



4.3.7 Bombas

El agua almacenada en el tanque cisterna es enviada al emisario submarino por el equipo de bombeo instalado.

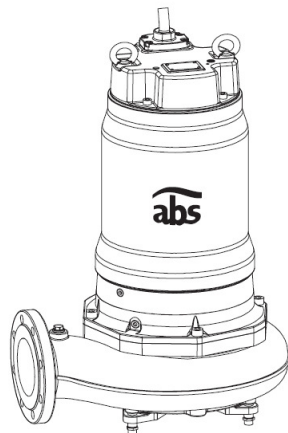
En el diseño original existían tres equipos de bombeo, los cuales consistían en bombas centrífugas de eje vertical con motor expuesto, las bombas eran de 100HP cada una, marca Weinman modelo 7198-8185 (Ver Fotografía 4.10).

Fotografía 4.10 Antiguas bombas centrífugas



Debido a la necesidad de disminuir la vulnerabilidad de la estación ante inundaciones y para mejorar la operación de este sistema se sustituyen las bombas centrífugas por tres bombas sumergibles de 75HP cada una, marca ABS Pumps, modelo A2JL7TBD48LMIA4 (actualmente instaladas dos). Estas bombas están en funcionamiento desde octubre del 2007. (Ver Figura 4.10).

Figura 4.14 Bombas sumergibles actuales



4.3.8 Accesorios de la línea de bombeo

Se cuenta con tres líneas de bombeo de 250mm de diámetro, cada una cuenta con una válvula check de 250mm y una válvula de admisión-expulsión de aire que tiene una apertura de 50mm, (Ver Fotografía 4.11). Además se cuenta con una línea prevista para un cuarto equipo de bombeo. Estas tuberías se unen para en una sola tubería para conectarse con el emisario submarino, en esta tubería se ubican dos válvulas de aire adicionales a las indicadas.

Fotografía 4.11 Accesorios de la línea de bombeo

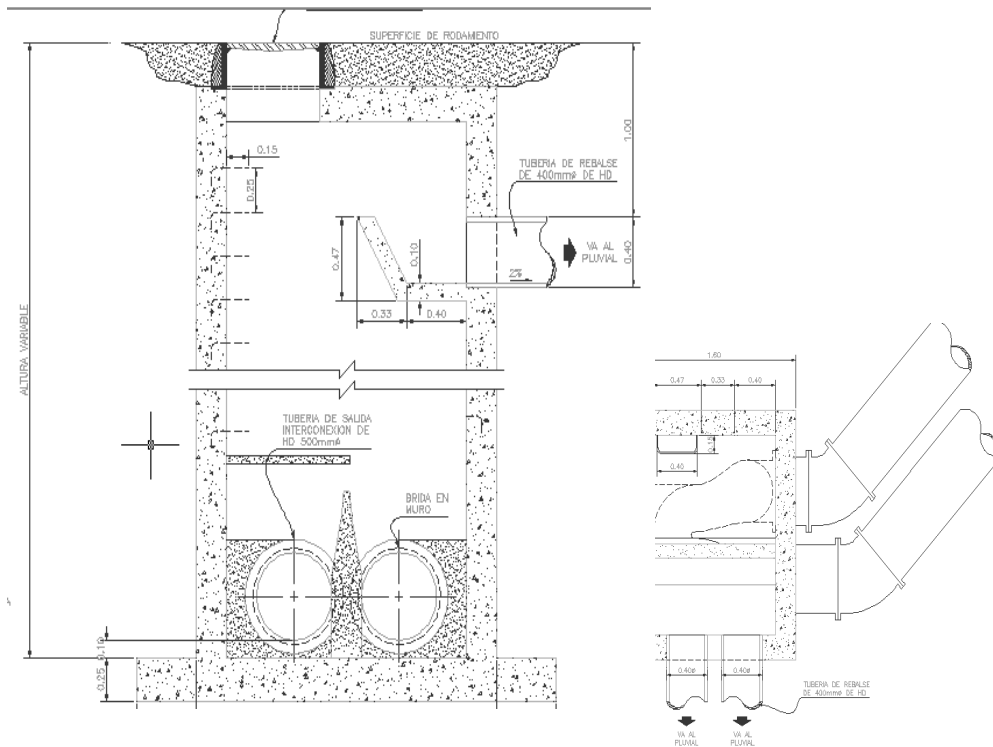


4.3.9 Estructura de rebalse

Cuando el caudal de entrada producto del aumento de aguas de lluvia en el alcantarillado sanitario sobrepasa el caudal de diseño, o cuando se debe salir de operación en la EPA por algún problema mayor, existe un rebalse a la entrada de la EPA, al momento que se cierran las compuertas de entrada a la EPA se produce un rebalse al alcantarillado pluvial, tal y como se muestra en la Figura 4.14.

Tal y como se observa en la Figura 4.14, entra el colector principal de 800 mm al final del alcantarillado sanitario, de allí entran dos tuberías de 500 mm hacia la EPA y a un nivel superior se colocan dos tuberías de 400 mm que se conectan al alcantarillado pluvial.

Figura 4.14. Rebalse de la EPA



4.3.10 Panel de control

Existen cuatro gabinetes para el control del funcionamiento de los tres equipos de bombeo, el variador de frecuencia, el generador eléctrico, tornillo sin fin y compuertas. Los extractores no están conectados a estos gabinetes. (Ver Fotografía 4.12)

Fotografía 4.12 Panel de Control EPA



4.3.11 Planta eléctrica

Consiste en una planta de generación que trabaja con diesel, Marca GENERAC, con la potencia suficiente para mantener en operación todos los equipos de la estación, desde el 2004 se encuentra fuera de operación, luego de trabajar por 5 años. Se encuentra totalmente corroída debido a la exposición a la brisa marina.

Fotografía 4.13 Planta Generadora EPA



4.4. Emisario submarino

4.4.1 Tuberías

El emisario cuenta con 1.8 km de tuberías de polietileno de alta densidad, de 60 cm de diámetro, instalada en el fondo marino. Esta tubería sigue la trayectoria mostrada en la Figura 4.15 y es la encargada de transportar el efluente desde la EPA hasta un punto mar adentro donde se garantiza que las concentraciones no afectarán ni generarán conflictos con los usos de las playas circundantes. Además se puede observar como el ambiente marino empieza a colonizar la cubierta del tubo del emisario.

En la Fotografía 4.14 se muestra el momento en que se lanzó la tubería del Emisario Submarino.

Figura 4.15. Tubería del emisario colocada en el fondo marino y trayectoria



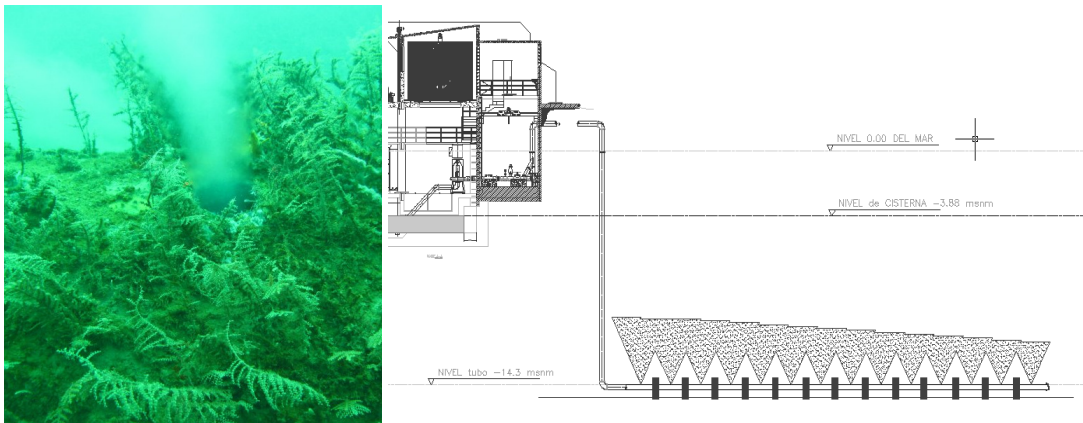
Fotografía 4.14 Fase de Instalación de la tubería del Emisario Submarino



4.4.2. Difusores

Al final del emisario existen 60 m de longitud de difusores; específicamente se encuentran 14 difusores que consisten en agujeros de 75mm de diámetro, ubicados cada 4 m. Los cuales son los encargados de distribuir el efluente de la planta y mediante el proceso de dilución y dispersión del campo lejano, logren disminuir las cargas contaminantes por debajo del valor de 240 CF/100ml, para ser consideradas aguas aptas para baño y usos recreacionales.

Figura 4.16. Difusores en operación y Esquema del funcionamiento de los difusores



4.4.3. Válvula de cierre (flap)

En el extremo final, del emisario se cuenta con una válvula de cierre o válvula flap, cuya función corresponde a la limpieza interna del emisario, la mayor parte del tiempo debe estar cerrada para garantizar el correcto funcionamiento de la pluma de dispersión del emisario, generada en la longitud de difusores.

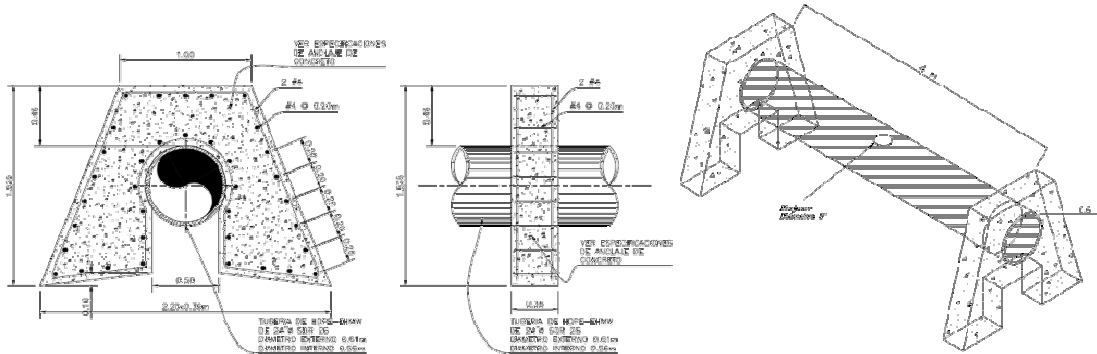
Fotografía 4.15. Válvula de cierre con herraje de sujeción



4.4.4. Anclajes

Consisten en bloques de concreto en forma de A los cuales están separados cada 4.0m con un peso aproximado para cada anclaje de 400kg. Estos anclajes son los encargados de mantener en el fondo la tubería de polietileno de alta densidad, ya que esta tubería tiene una densidad menor a la del agua de mar. Además deben garantizar la estabilidad lateral de la tubería en el fondo marino ante las fuerzas ejercidas por el oleaje y las corrientes marinas.

Figura 4.17. Esquema de colocación de los anclajes.

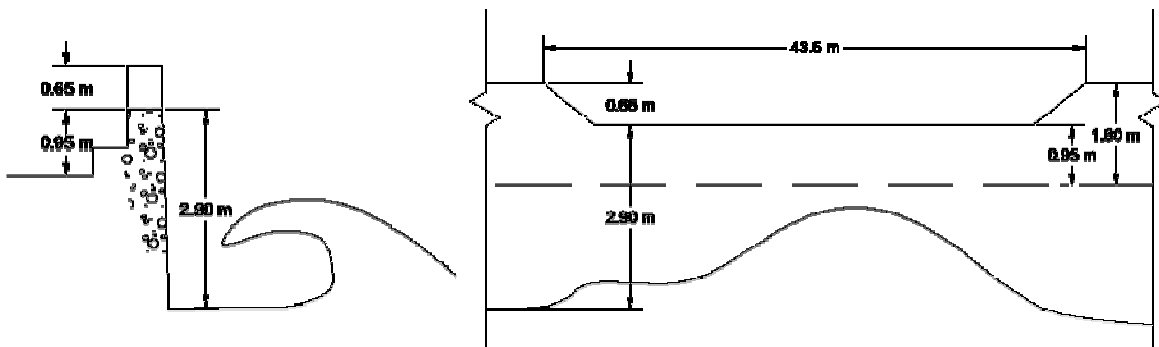


4.5. Muro de protección contra oleajes

El muro es una estructura masiva, construida en conglomerado de canto rodado, repellado con una capa de 2 a 3 cm de mortero. Presenta evidencia de diversas reparaciones y agregados, con agrietamientos y desprendimientos del material debido al desgaste por efecto del oleaje. No se tienen planos y se trata de una estructura muy antigua.

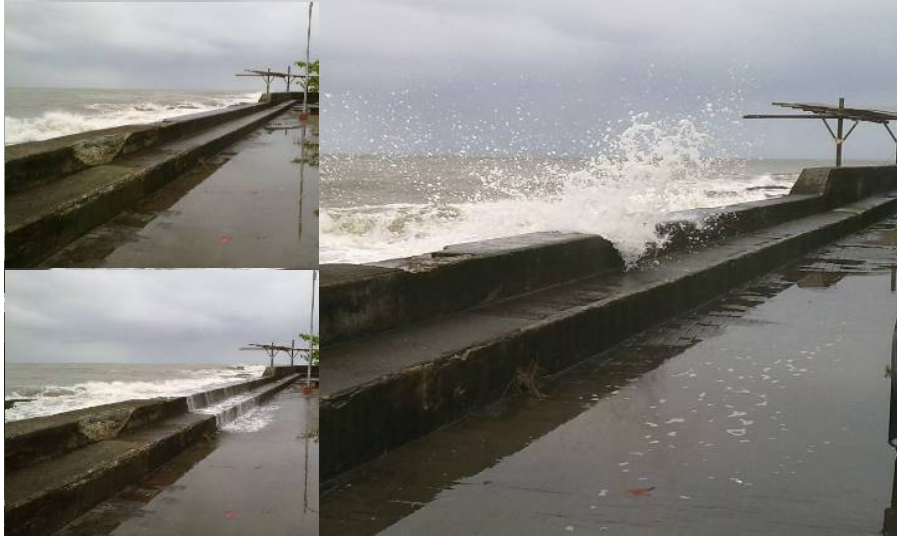
Las dimensiones del muro desde el nivel medio del mar, frente a la EPA, son: 2,9 m para la elevación de la corona del muro, en una longitud de 43,5 m, mientras que en el resto del muro tiene una elevación de 3,55m, ver Figura 4.18.

Figura 4.18. Esquema del muro de protección contra oleajes.



El oleaje, en varias ocasiones sobrepasó el nivel de la corona del muro (en el tramo más bajo del muro) lo que confirma el supuesto: no existe una adecuada protección de la EPA, ver Fotografía 4.16.

Fotografía 4.16. Muro de protección contra oleajes



En la Fotografía 4.17 se puede observar claramente el “boquete” en el muro al frente de la EPA, debido a que este espacio es utilizado por los ciudadanos como un parque recreacional con vista al mar.

Fotografía 4.17. Vista desde el mar del muro de protección contra oleajes



Durante el 2004, en el proceso constructivo de la EPA, se colocó una pantalla de protección en la base del muro, aspecto que refuerza indirectamente su estabilidad. Ver Fotografía 4.18.

Fotografía 4.18. Pantalla de protección frente a la EPA



4.6. Personal

4.6.1. En el sistema de recolección de aguas residuales.

Para llevar a cabo las labores de desobstrucción se cuenta con varios recursos, dentro de los que destacan dos cuadrillas de trabajo, además de las instalaciones en el plantel Las Pilas, en donde se encuentra una pequeña bodega para las herramientas y equipo que utilizan las cuadrillas, dentro del plantel se cuenta además con baños y servicios sanitarios.

Fotografía 4.19. Personal de trabajo en el sistema de recolección de aguas residuales



Las cuadrillas de trabajo para llevar a cabo las labores de desobstrucción en el sistema de recolección de aguas residuales, se encuentran conformadas de la siguiente manera:

Cuadrilla 1:

Consta de:
 1 capataz,
 3 Desobstructores,
 2 Auxiliares de Alcantarillado Sanitario,
 1 Peón,
 1 vehículo
 1 bomba pequeña para evacuar agua de huecos y pozos de registro y
 1 Kit de herramientas mínimo.

Cuadrilla 2:

Consta de:
 1 capataz,
 1 Desobstructor,
 2 Auxiliares de Alcantarillado Sanitario,
 1 vehículo.
 1 Kit de herramientas

Para realizar los trabajos de operación y mantenimiento en las redes de alcantarillado sanitario se cuentan con dos carros asignados uno por cuadrilla.

Cuadrilla 1:

Vehículo placas 102-1076,
 Dyna doble cabina,
 Cajón abierto atrás,
 Modelo 2003.

Cuadrilla 2:

Vehículo placas 102-1190,
 Chevrolet cabina simple
 Batea sin cabina atrás.
 Modelo 2006,

Resumiendo en lo referente al personal, se tienen 11 personas para 7.164 servicios es decir 1,5 personas por cada 1000 servicios.

Para que se tenga una idea de la magnitud de las labores de desobstrucción, se adjunta la Tabla 4.3 donde se resumen los datos mensuales de obstrucciones del 2008 a octubre del 2010.

Tabla 4.3. Desobstrucciones mensuales del año 2008 a octubre del 2010 en las redes del Alcantarillado Sanitario de Limón.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2008	52	41	39	42	49	52	46	54	45	42	52	56
2009	33	40	67	49	63	49	60	69	57	50	36	48
2010	46	56	57	34	38	41	47	44	45	30		

Según la Tabla anterior se tienen los siguientes promedios de desobstrucciones por año; para el 2008 son 47,5 obstr/ mes, 2009 son 51,75 obstr/ mes y a octubre del 2010 de 45,3 obstr/ mes

Entre los principales problemas de las redes existentes, se encuentran la presencia de grasas en las redes y colectores, bajas pendientes con generación de sedimentos que disminuyen la capacidad de las tuberías existentes y conexiones ilícitas del pluvial al sanitario y viceversa.

4.6.2. En la EPA

Para llevar a cabo las labores de operación y mantenimiento de la EPA se cuenta con personal las 24 horas del día, el cual consta de 4 operadores y un jefe de planta. Entre las actividades más importantes se encuentran: la recolección manual de los sólidos mayores a 2.54 cm y grasas (Ver Fotografía 4-20, operación de los equipos mecánicos y electromecánicos, como tornillos sin fin, bombas extractores, canastas, sistemas de izaje, entre otros. Además la limpieza de los militamices varias veces al día y mantenimiento de las estructuras metálicas (como pintura y limpieza).

Fotografía 4.20 Personal de la EPA removiendo la gran cantidad de grasa que ingresa



Para evitar la entrada excesiva de grasa y sólidos a la EPA, mensualmente se lleva un control de las obstrucciones por mes, tratando de velar por que se logre una disminución de las mismas y detectar comerciales reincidentes para solicitar medidas correctivas. Como la construcción de trampas de grasa y sólidos antes de la descarga al alcantarillado.

Fotografía 4.21 Personal de trabajo de la EPA



4.6.3. En emisario submarino

El personal que trabaja en el emisario submarino consiste en un equipo de buzos del AyA altamente capacitado, el cual consiste actualmente en 5 personas, las cuales se encargan de inspeccionar al menos una vez al año los distintos componentes del emisario, para garantizar su buen funcionamiento, al detectar posibles afectaciones sufridas por los componentes en su interacción con el medio marino.

Fotografía 4.22 Personal de trabajo en el fondo marino del Emisario Submarino



Fotografía 4.23 Equipo de buceo del AyA, capacitado para trabajos en el Emisario Submarino



4.7. Equipo de comunicación

4.7.1. Teléfonos en la EPA

La comunicación con el personal se realiza por medio de un teléfono fijo y se cuenta con los celulares de los operadores en caso de falla del teléfono fijo.

4.7.2. Telemetría

Originalmente el proyecto contaba con un sistema de telemetría para controlar, los componentes electromecánicos como: compuertas, tornillo sin fin, equipo de bombeo, entre otros. Se esperaba que este sistema fuera automatizado en un gran porcentaje, sin embargo en la práctica no se ha podido implementar la utilización de este sistema.

4.7.3. Radio

Se cuenta con un radio para comunicación personal tipo “walkietalkie”, el cual se dañó, por el momento no se ha requerido la utilización del mismo para la comunicación dado que se utilizan otros medios.

4.7.4. Mensajería por Internet

Se cuenta con un equipo de cómputo donde se llevan los reportes de operación de los equipos de bombeo y salida de canastas con sólidos. Este equipo cuenta con correo electrónico y comunicación por medio de mensajería por internet.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Evaluación del Riesgo

5.1.1 Consideraciones de Desempeño

Al realizar la evaluación de riesgo primero se definen las consideraciones de desempeño. Se definieron 10 grupos de consideraciones de desempeño principales, indicadas en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Interacciones de las consideraciones de desempeño con los componentes de infraestructura

Consideración de Desempeño	Interacciones
Diseño estructural	19
Funcionalidad	94
Cuenca	59
Operación, Mantenimiento y Desempeño de los Materiales	64
Intervención en caso de Emergencia	49
Consideraciones respecto a los seguros	16
Consideraciones respecto a la política	24
Efectos Sociales	30
Salud y Seguridad Pública	19
Efecto Ambiental	19
TOTAL	393

Estos diez grupos se subdividen en otras consideraciones de desempeño más específicas para contar con un total de 41 consideraciones de desempeño que se contrastan con los 32 componentes de infraestructura, para con esto evaluar cuales podrán ser las posibles afectaciones que tendría un componente ante las cargas generadas por los parámetros climáticos.

Se tienen 393 interacciones entre las consideraciones de desempeño y los 32 componentes de infraestructura, las interacciones por componente se muestran en el cuadro 5.2. Todas las interacciones se muestran en el Anexo 3.

Cuadro 5.2 Cantidades de interacciones de los componentes de infraestructura con las consideraciones de desempeño

1	SISTEMA DE RECOLECCION DEL ALCANTARILLADO SANITARIO	Interacciones
1.1	Sifones, Acometidas	9
1.2	Redes, Subcolectores, Colectores	23
1.3	Pozos de registro.	6
2	ESTACIONES BOMBEO	
2.1	Mini estaciones costeras Clínica, Plaza, Iglesia, Católica, Nano, Roots.	14
2.2	Mini estaciones terrestres Lomas, Siglo XXI	14
2.3	Estaciones centrífugas	
2.3.1	Asis Esna,	20
2.3.2	Cristobal Colón.	8
2.4	Estaciones Sumergibles	
2.4.1	Pacuare 1	18
2.4.2	Pacuare 2	19
3	(EPA) ESTACION DE PREACONDICIONAMIENTO	
3.1	Edificio	5
3.2	Sistema ventilación	14
3.3	Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	13
3.4	Militamices,	12
3.5	Tornillo sin fin, Canastas, Sistema de izaje, Transporte.	20
3.6	Tanque cisterna	4
3.7	Bombas	7
3.8	Accesorios de la línea de bombeo	8
3.9	Estructura de Rebalse	7
3.10	Panel de control	2
3.11	Planta eléctrica	11
4	EMISARIO SUBMARINO	
4.1	Tuberías	16
4.2	Difusores	14
4.3	Válvula de cierre	10
4.4	Anclajes	13
5	MURO PROTECCION CONTRA OLEAJES	
5.1	Muro	16
6	PERSONAL	
6.1	En el sistema de recolección de aguas residuales.	16
6.2	En la EPA	15
6.3	En emisario submarino	17
7	EQUIPOS DE COMUNICACIÓN	
7.1	Teléfonos de la EPA.	6
7.2	Telemetría	17
7.3	Radio	10
7.4	Mensajería de texto por internet	9
	TOTAL	393

5.1.2 Cálculo de Riesgo

Tomando en consideración la información suministrada acerca de los parámetros climáticos (Capítulo 3) y los componentes de infraestructura (Capítulo 4), se aplica:

$$R = P \times G$$

Donde:

R = Riesgo

P = Probabilidad

G = Gravedad

Además se utiliza una gráfica o mapa de calor (Figura 5.1) que se obtiene al asignar colores según el valor que alcanza “R” en función de rangos de riesgo y tolerancias que se han indicado en el Cuadro 2.5 de este informe.

Figura 5.1 Mapa de calor con los posibles valores de riesgo

Probabilidad	7	7	14	21	28	35	42	49
	6	6	12	18	24	30	36	42
	5	5	10	15	20	25	30	35
	4	4	8	12	16	20	24	28
	3	3	6	9	12	15	18	21
	2	2	4	6	8	10	12	14
	1	1	2	3	4	5	6	7
		1	2	3	4	5	6	7
		Gravedad						

En la Figura 5.2 se muestra un ejemplo de la matriz utilizada para realizar las valoraciones de riesgo, tanto para escenario actual como para escenario futuro.

Figura 5.2 Ejemplo del cálculo de riesgo para cada componente

Componentes de Infraestructura		Lluvia de sobrecarga			
		S/N	P	G	R
2.3	Estaciones centrifugas				
2.3.1	Asis Esna,	S	6	5	30
2.3.2	Cristobal Colón.	S	6	2	12
2.4	Estaciones Sumergibles				
2.4.1	Pacuare 1	S	6	4	24
2.4.2	Pacuare 2	S	6	4	24
3	(EPA) ESTACION DE PREACONDICIONAMIENTO	S/N	P	G	R
3.1	Edificio	N	6		
3.2	Sistema ventilación	N	6		
3.3	Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	S	6	5	30

Luego de contrastar cada componente de infraestructura con los parámetros climáticos y realizar la valoración de riesgo tanto para escenario actual como futuro con cambio climático, se obtiene los resultados mostrados en el cuadro 5.3. (Ver apartado 2.2.3.2 respecto a la tolerancia de los umbrales de riesgo)-

Cuadro 5.3 Umbrales de Riesgo definidos

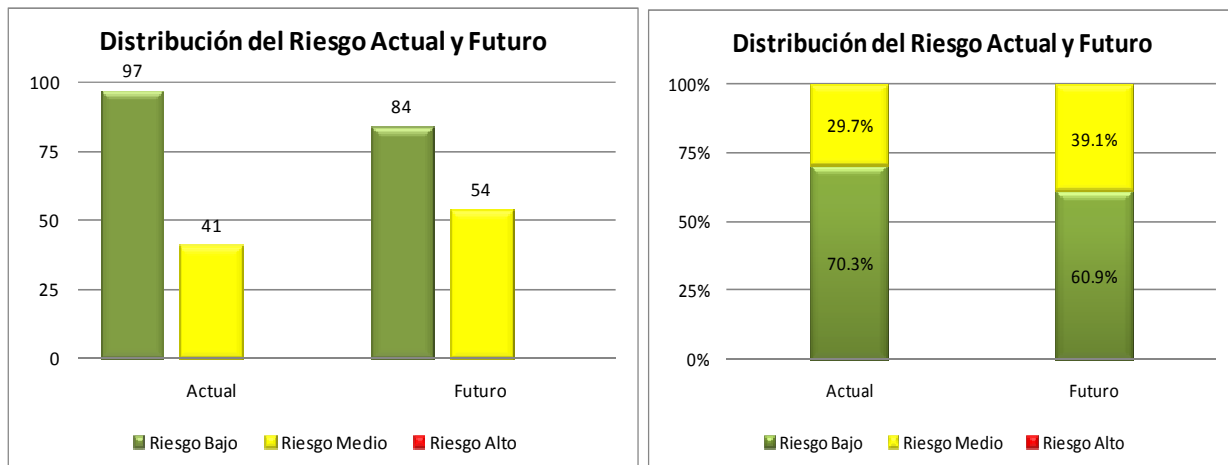
Umbrales de Riesgo			Actual	Futuro
< 12	Riesgo Bajo	Se descarta para análisis posterior	97	84
12 - 35	Riesgo Medio	Se conserva para análisis posterior	41	54
> 36	Riesgo Alto	Ir directamente a recomendaciones	0	0
Total			138	

En total se obtuvieron 138 interacciones entre los componentes de infraestructura y los parámetros climáticos.

Para escenario actual se tiene que 97 (70.3%) de las interacciones tienen riesgo bajo y 41 (29.7%) tienen riesgo medio.

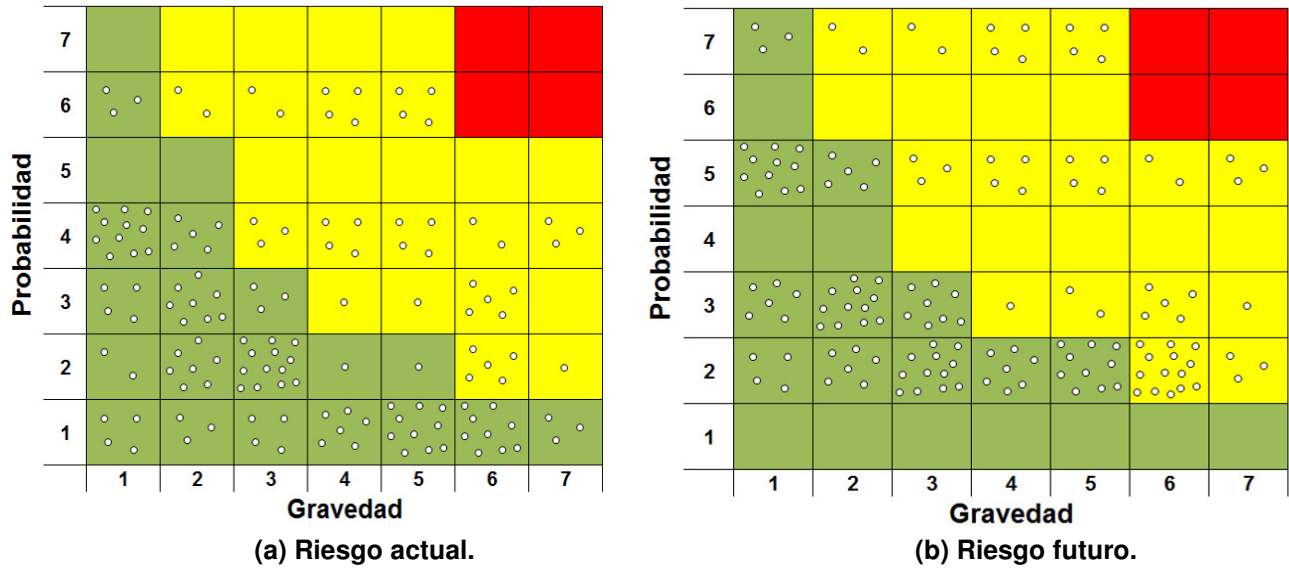
Para escenario futuro, con cambio climático, disminuyen las interacciones que tenían riesgo bajo, ya que 13 de ellas pasan a tener riesgo medio, puesto que aumentan a 54 las interacciones que tendrán riesgo medio en escenario futuro.

Figura 5.3 Riesgos obtenidos para escenario actual y futuro.



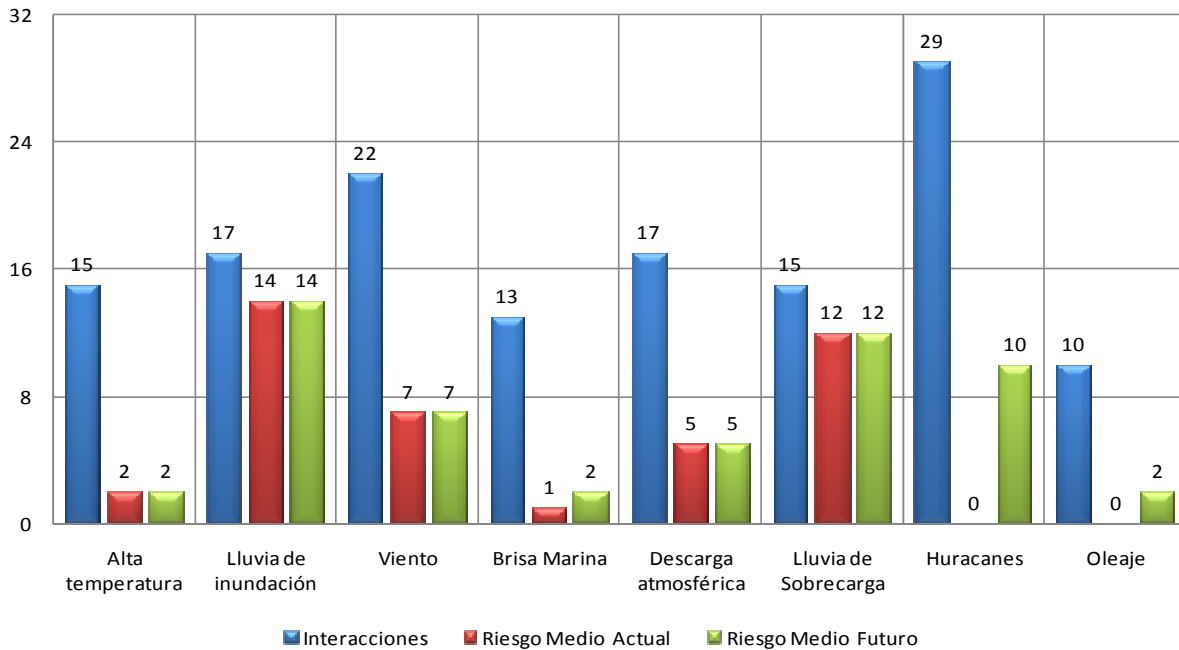
En la figura 5.4, se muestran las distribuciones de las valoraciones de riesgo en mapas de calor para los escenarios de análisis, en los que se puede observar que debido al efecto de cambio climático los riesgos en los componentes de infraestructura.

Figura 5.4 Mapas de calor con la valoración Riesgos Actual y Futura



En la figura 5.5 se muestran, por parámetro climático, cuantas interacciones tuvieron los componentes de infraestructura (en azul), además se muestran cuántas de estas interacciones se valoraron con riesgo medio, tanto para el escenario actual (en rojo), como para el escenario futuro con cambio climático (en verde).

Figura 5.5 Interacciones con valoración de riesgo medio por parámetros climáticos



El análisis se realizará por parámetro climático analizando como mitigar o eliminar las cargas generadas por los parámetros climáticos.

El cuadro 5.4 muestra los componentes que obtuvieron mayores valoraciones de riesgo y se observa en este cuadro que los parámetros climáticos que mayores riesgos generan son lluvia de inundación y lluvia de sobrecarga. Debe tomarse en cuenta que estos dos parámetros climáticos no deberían generar cargas al sistemas por la naturaleza del mismo (alcantarillado sanitario).

Cuadro 5.4 Componentes de Mayor Riesgo

Componente de Infraestructura	Parámetro Climático	PA	PF	G	RA	RF
Asis Esna,	Lluvia de inundación	4	5	7	28	35
Pacuare 2		4	5	7	28	35
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión		4	5	7	28	35
Redes, Subcolectores, Colectores	Lluvia de sobrecarga	6	7	5	30	35
Mini estaciones terrestres		6	7	5	30	35
Asis Esna,		6	7	5	30	35
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	Lluvia de inundación	6	7	5	30	35
Redes, Subcolectores, Colectores		4	5	6	24	30
Mini estaciones costeras		4	5	6	24	30
Mini estaciones costeras	Lluvia de sobrecarga	6	7	4	24	28
Pacuare 1		6	7	4	24	28
Pacuare 2		6	7	4	24	28
Tanque cisterna		6	7	4	24	28
Mini estaciones terrestres	Lluvia de inundación	4	5	5	20	25
Pacuare 1		4	5	5	20	25
Tanque cisterna		4	5	5	20	25
Estructura de Rebalse		4	5	5	20	25
Planta eléctrica	Brisa Marina	3	3	7	21	21
Bombas	Lluvia de sobrecarga	6	7	3	18	21
Estructura de Rebalse		6	7	3	18	21
En la EPA	Alta temperatura	4	5	4	16	20

5.2. Análisis de Ingeniería

Se realiza un análisis de ingeniería por parámetro climático y estimando las cargas que estos generan sobre la infraestructura.

Debido a la naturaleza de la infraestructura a evaluar, el enfoque para realizar el análisis de ingeniería va dirigido a realizar un análisis por parámetro climático, debido a que, para cada uno se deben determinar las acciones que se deben realizar para disminuir la vulnerabilidad.

5.2.1. Lluvia de sobrecarga

Este parámetro climático (lluvia de sobrecarga) tiene 15 interacciones con los componentes de infraestructura y genera riesgo medio en 12 de ellos tanto para escenario actual como para cambio climático (Ver Cuadro 5.5), para los cuales se realiza un análisis de ingeniería enfocado en cómo eliminar la carga y no en aumentar la capacidad del componente, esto debido a la naturaleza de ambos, como se explica más adelante.

Este parámetro climático fue conceptualizado con el fin de reflejar el aumento en el caudal de entrada a la EPA en el momento de precipitaciones y la necesidad de correlacionar el aumento en el caudal de ingreso con respecto a la intensidad de lluvia registrada. Para tal efecto con base en la bitácora de operación de la EPA y los registros del IMN, se definió una intensidad representativa de **64mm/día**, la cual provoca un aumento desmedido y real en el caudal entrante al sistema.

Cuadro 5.5 Riesgos medios generados por el parámetro lluvia de sobrecarga

Componente de Infraestructura	P_A	P_F	G	R_A	R_F
Sifones, Acometidas	6	7	2	12	14
Redes, Subcolectores, Colectores	6	7	5	30	35
Mini estaciones costeras	6	7	4	24	28
Mini estaciones terrestres	6	7	5	30	35
Asis Esna,	6	7	5	30	35
Cristobal Colón.	6	7	2	12	14
Pacuare 1	6	7	4	24	28
Pacuare 2	6	7	4	24	28
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	6	7	5	30	35
Tanque cisterna	6	7	4	24	28
Bombas	6	7	3	18	21
Estructura de Rebalse	6	7	3	18	21

De la información meteorológica se obtuvo que este evento ocurre en promedio 10 veces al año y que se espera que con cambio climático aumente su frecuencia, con lo que corresponde al principal riesgo que tiene el sistema en la pérdida de funcionalidad del mismo. De tal manera se pretende estudiar y cuantificar este fenómeno para poder tomar las medidas correctivas necesarias para garantizar la funcionalidad del sistema.

Debido a que la intensidad de 64mm/día corresponde a una lluvia acumulada diaria, se considera que esta lluvia tendrá una distribución temporal de 4 horas, basado en las experiencias de las personas que habitan el lugar, por lo que tendría una intensidad de **16mm/hr**.

Basado en la información anterior se puede estimar (por medio de la ecuación racional) la carga total ejercida por la lluvia de sobrecarga, sobre los componentes del sistema del alcantarillado sanitario. La cual, para obtener un orden de magnitud, se calcula como si todos los techos se encontraran conectados al alcantarillado sanitario.

$$L_T = C \cdot I \cdot A = 0.90 \cdot 16 \text{ mm/hr} \cdot (130 \text{ ha} \cdot 40\%) = 2080 \text{ l/s}$$

Capacidad Total (C_T)

Para cuantificar la capacidad total (C_T) del sistema sanitario, se utiliza el caudal máximo de diseño de 91.1 l/s, calculado por Tecnosan para la cuenca A del sistema sanitario de la ciudad de Limón.

$$C_T = 91,1 \text{ l/s}$$

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

La razón de vulnerabilidad (V_R) para los componentes que se ven afectados por la lluvia de sobrecarga es mucho mayor que uno (22.8), ya que el sistema de recolección y tratamiento del alcantarillado sanitario no se debe diseñar para transportar ni tratar aguas de lluvia.

$$V_R = L_T / C_T = 2082 / 91.1 = 22.8$$

Siguiendo lo indicado en el protocolo, debido a que la razón de vulnerabilidad es mayor a uno, se debe proceder a realizar recomendaciones y medidas correctivas.

Déficit de Capacidad (C_D)

El sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales y el sistema de recolección de aguas de lluvia se diseñan como sistemas separados y no combinados, la capacidad del sistema sanitario no se diseña ni debe transportar aguas recolectadas por los techos. Esto por consideraciones e implicaciones ambientales, técnicas, legales y económicas. A lo sumo se debe tomar en cuenta el caudal aportado por la infiltración en los colectores, que para esta cuenca fue considerado y equivale a 0.60 l/s/km, para un total de 16 l/s en la cuenca A.

Basado en lo anterior no deben existir cargas generadas por la lluvia (recolectadas por los techos) que ingresen directamente al sistema sanitario ni tampoco un Déficit de Capacidad (C_D) del sistema sanitario en análisis. Lo que implica que no se tiene que considerar un aumento en la capacidad del sistema para soportar este tipo de cargas, sino la forma de eliminar las mismas.

Para dimensionar las medidas correctivas, con el fin de eliminar estas cargas sobre el sistema, se procede a estimar cuantas viviendas o servicios, que conectan sus techos al alcantarillado sanitario provocan el colapso del mismo. Esto implica que todo caudal de diseño de agua residual está siendo sustituido por aguas de lluvia recolectadas por los techos. Lo anterior para una lluvia que se presenta actualmente aproximadamente una vez al mes y no para eventos extremos.

La carga total ($L_T = 2080$ l/s) estimada anteriormente se divide por el número de servicios (3351) para obtener el aporte por cada servicio, lo que genera un caudal de 0.62 l/s/servicio.

$$L_{T/\text{serv}} = L_T / \text{No. Servicios} = 2080 \text{ l/s} / 3351 \text{ servicios} = 0.62 \text{ l/s/servicio}$$

Con esto se puede obtener cuantos servicios hacen colapsar la capacidad del sistema, al dividir la capacidad total entre la carga total por servicio.

$$\text{No. Servicios que colapsa sistema} = C_T / L_{T/\text{serv}} = 91.1 \text{ l/s} / 0.62 \text{ l/s/servicio} = 139 \text{ servicios}$$

Lo anterior refleja que para la intensidad indicada (16 mm/hr) con el 4% de los servicios que estén interconectados (139 de 3351) se colapsa el sistema por lo que las medidas que se deben tomar para eliminar estas cargas, involucran este nivel de detalle.

Actualmente en la ciudad de Limón se han encontrado porcentajes del orden del 5% de servicios que conectan sus aguas de techo al alcantarillado sanitario, lo que muestra la necesidad de hacer un programa de identificación y reducción de interconexiones de servicios con el apoyo del Ministerio de Salud y de la Municipalidad de Limón, casa por casa.

Dada esta realidad (más de 4% de servicios interconectados) y para protección de la salud pública existen interconexiones entre los sistemas de alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial, como la que se muestra en la fotografía 5.2. La función de estas interconexiones es evitar en tiempo de lluvia el rebalse de aguas residuales en los centros de población, con lo que el eliminarlas conllevaría un problema de salud pública en el centro de la ciudad, mientras no se corrijan los problemas de los servicios interconectados.

Fotografía 5.2 Interconexión entre los sistemas de alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial



Para poder cuantificar las disminuciones de los aportes de las interconexiones luego de realizado el programa interinstitucional, AyA tiene previsto instalar una estación meteorológica en la zona, que permita cuantificar los resultados obtenidos con del programa.

5.2.2. Lluvia de inundación

Este parámetro climático (lluvia de inundación) tiene 17 interacciones con los componentes de infraestructura y genera riesgo medio en 14 de ellos, tanto para escenario actual como para cambio climático (Ver Cuadro 5.6), se realiza el análisis ingeniería enfocado en cuál es la capacidad del sistema del alcantarillado pluvial y no la capacidad de los componentes del alcantarillado sanitario, esto debido a la naturaleza de ambos, como se explica más adelante.

Cuadro 5.6 Riesgos medios generados por el parámetro lluvia de inundación

Componente de Infraestructura	P_A	P_F	G	R_A	R_F
Sifones, Acometidas	4	5	4	16	20
Redes, Subcolectores, Colectores	4	5	6	24	30
Pozos de registro	4	5	3	12	15
Mini estaciones costeras	4	5	6	24	30
Mini estaciones terrestres	4	5	5	20	25
Asis Esna,	4	5	7	28	35
Cristobal Colón.	4	5	4	16	20
Pacuare 1	4	5	5	20	25
Pacuare 2	4	5	7	28	35
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	4	5	7	28	35
Tornillo sin fin, Canastas, Sistema de izaje, Transporte.	4	5	4	16	20
Tanque cisterna	4	5	5	20	25
Bombas	4	5	3	12	15
Estructura de Rebalse	4	5	5	20	25

Este parámetro climático se define con base en el evento del día 29 de marzo del 2006, ya que este día el agua de lluvia inundó los alrededores de la EPA, aunque se cerraron las compuertas de entrada del sistema sanitario, el agua ingresó por el portón de la EPA, generando riesgo de inundación y daño de los equipos en las instalaciones.

El nivel inferior de la edificación de la EPA se encuentra a unos 9m por debajo del nivel de calle y a casi 4m bajo el nivel del mar, lo que imposibilita la evacuación por gravedad. Para resolver el problema de inundación se decidió abrir una tapa del alcantarillado pluvial, lo que logró evacuar la inundación; este hecho motiva a la revisión de la capacidad real del sistema de alcantarillado pluvial, cuyo mal funcionamiento genera un riesgo a los componentes del sistema sanitario en análisis.

Este día, según la información del IMN, llovieron en total 213.6 mm/día, con este valor se sacó la frecuencia del fenómeno, el cual tiene un periodo de retorno de aproximadamente 3 años.

Para realizar el análisis de ingeniería y obtener las cargas sobre los componentes de infraestructura, se solicitó la distribución temporal de la lluvia durante ese día, de esta distribución se obtuvo un valor máximo de intensidad de 106 mm/hr. Este fenómeno con cambio climático será más recurrente, por lo que su periodo de retorno disminuirá.

Con base en estos datos climáticos se evalúa la capacidad del sistema de alcantarillado pluvial en el centro de la Ciudad de Limón, este análisis se enfoca en esta zona porque la mayor cantidad de infraestructura del sistema sanitario que se ve afectada con este parámetro se encuentra allí.

Carga Total (L_T)

Para estimar las cargas que inciden sobre los componentes de infraestructura debido a la lluvia de inundación, se toma como ejemplo la cuenca que se muestra en la Figura 5.7. El área de esta cuenca es de 71.4 ha y se asume un coeficiente (conservador) de escorrentía de 0.75 para el área urbana del centro de la Ciudad de Limón.

Figura 5.7. Cuenca pluvial urbana del centro de la ciudad de Limón



Basado en la información anterior se puede estimar (por medio de la ecuación racional) la carga total ejercida por la lluvia de inundación, sobre el alcantarillado pluvial y como esta carga puede tener una influencia indirecta sobre los componentes del alcantarillado sanitario.

$$L_T = C \cdot I \cdot A = 0.75 \cdot 106 \text{ mm/hr} \cdot (71.4 \text{ ha}) = 15.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Capacidad Total (C_T)

Para cuantificar la capacidad total (C_T) del alcantarillado pluvial, se calcula como la capacidad instalada en las salidas que van al mar, como la que se muestra en la Fotografía 5.3.

Fotografía 5.3 Canaleta de salida al mar del alcantarillado pluvial



Se realizó un análisis de los 250 m finales del alcantarillado pluvial que son la salida al mar, esto dado a que existe un cambio de pendiente importante en el centro de la ciudad, se pasa de valores de pendientes mayores a 1.4% hasta valores de hasta 0.1% (10 cm en 100 m), lo que determina que esta zona es la de menor capacidad de descarga.

La cuantificación de la capacidad consiste en sumar las capacidades de descarga de las seis bocas (una por avenida) del alcantarillado pluvial (Ver Figura 5.7). En la Tabla 5.1 se muestran las características de las bocas de salida por avenida y además se indican las capacidades de salida y la capacidad mínima en los últimos 250 m.

Tabla 5.1. Características de las bocas de salida, capacidades de salida y mínimas por avenida

Avenida	Sección	Dimensiones (m)	Pendiente (%)		Capacidad (m^3/s)	
			Menor	Salida	Tramo menor pendiente	Salida
1	Canaleta	1.1x0.85	0.1	0.2	1.094	1.548
2	Circular	1.2	0.1	0.2	1.700	2.070
3	Circular	1.1	0.2	0.4	1.925	2.300
4	Circular	1	0.3	0.3	1.825	1.825
5	Canaleta	2.0x1.0	0.2	0.4	4.334	6.129
6	Circular	1	0.7	0.7	2.800	2.800
				$C_T =$	13.678	16.672

De los valores de la Tabla 5.1, se obtienen la capacidad total a la salida del sistema.

$$C_T = C_{A1} + C_{A2} + C_{A3} + C_{A4} + C_{A5} + C_{A6} = 16.67 \text{ m}^3/\text{s}$$

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

La razón de vulnerabilidad (V_R) del sistema del alcantarillado pluvial para la intensidad de 106 mm/hr, es menor, pero muy cercana a la unidad (0.95), lo que indica que para esta intensidad casi se ha alcanzado la capacidad del sistema.

$$V_R = L_T / C_T = 15.7 / 16.67 = 0.95$$

Lo anterior muestra que el sistema es bastante vulnerable ante intensidades de esta magnitud, que ocurren con un periodo de retorno de aproximadamente 3 años y que con cambio climático se producirán más frecuentemente. Lo que amerita analizar la vulnerabilidad actual y futura del sistema de alcantarillado sanitario, ya que la razón de vulnerabilidad aumentará debido a cambio climático.

Déficit de Capacidad (C_D)

Queda claro que el sistema tiene la capacidad hidráulica nominal y teórica en la salida, de evacuar el evento del 29 de marzo del 2006, lo que se comprobó con los cálculos y en la realidad al levantar la tapa de la alcantarilla pluvial, para desaguar la zona inundada.

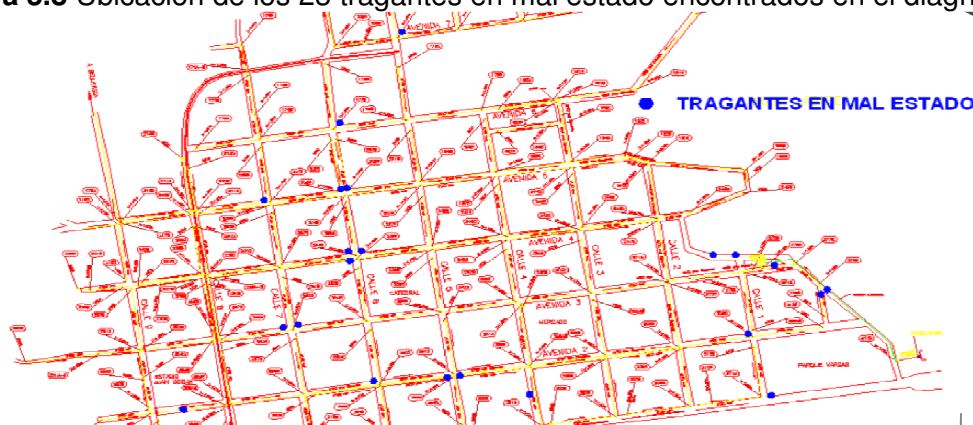
$$C_D = L_T - C_T = 15.7 - 16.67 = - 0.97 \text{ m}^3/\text{s}$$

Al obtener un déficit de capacidad negativo implica que no existe tal déficit nominal para este evento.

Es importante analizar porque en ese evento no se logró evacuar la carga generada por la lluvia de inundación, en momentos en los cuales el sistema pluvial contaba con capacidad hidráulica. Lo anterior hace prever que existen condiciones que limitan la capacidad del sistema, como pueden ser obstrucciones o tragantes en mal estado.

Para cuantificar la cantidad de tragantes en mal estado se hace un diagnóstico de la cantidad (23) y ubicación de los mismos, tal y como se muestra en la Figura 5.8. Este diagnóstico considera tragante en mal estado aquel que limita la capacidad del sistema como puede ser porque se encuentran saturados de basura, sin parrilla o inundado.

Figura 5.8 Ubicación de los 23 tragantes en mal estado encontrados en el diagnóstico



Este hecho genera que el agua pluvial corra sobre las calles y se dirija al punto más bajo de la cuenca que corresponde a la EPA, ocasionando inundación en la ciudad, incluso con intensidades menores a la analizada.

Otro problema encontrado y que limita la capacidad del sistema pluvial, es el mal manejo de los desechos sólidos que se observa en varios lugares de la ciudad, como se muestra en la Fotografía 5.4. Donde se ubica la basura por encima de los sistemas de evacuación de aguas pluviales, incluyendo canales, quebradas y parrillas.

Fotografía 5.4 Ejemplo mal manejo de desechos sólidos



De este análisis se desprende que en la actualidad existe capacidad hidráulica de evacuar el evento climático estudiado, pero existen condicionantes que no permiten que el alcantarillado pluvial alcance la capacidad de salida.

Por otro lado al analizar la situación futura, con cambio climático las cargas sobre el sistema aumentarán por lo que el déficit de carga aumentará y es de esperarse que sea sobrepasada la capacidad del alcantarillado pluvial.

Sin embargo dado el cambio abrupto de pendiente en la zona de llegada al mar, puede ser que exista una capacidad remanente producto de la presurización de algunos tramos, que permitan evacuar mayor caudal. Esto requiere un estudio detallado de todo el alcantarillado pluvial, para estimar la capacidad real del mismo.

Del análisis actual se determina que se debe realizar la limpieza de todo el sistema de alcantarillado pluvial; luego de realizar la limpieza y para lograr medir la capacidad real del mismo; se debe correlacionar el desempeño del alcantarillado para distintas intensidades de precipitación, las cuales deben ser registradas mediante la colocación de una estación meteorológica dentro de la cuenca (en la EPA).

En cuanto al análisis futuro es importante mencionar que no se tiene una herramienta para estimar los valores de intensidad de diseño para el escenario de cambio climático, pero que es claro que aumentarán las intensidades para los mismos periodos de retorno, por lo que se recomienda hacer un análisis exhaustivo y minucioso de la capacidad hidráulica real de todo el alcantarillado pluvial y valorar la necesidad de ampliar su capacidad, a la luz de los resultados.

5.2.3 Viento

Este parámetro climático (viento) tiene 22 interacciones con los componentes de infraestructura y genera riesgo medio en 7 de ellos, tanto para escenario actual como para cambio climático (Ver Cuadro 5.7).

Para este parámetro se analizan tres posibles efectos sobre los distintos componentes de infraestructura: Falla eléctrica, Disminución en capacidad de tratamiento y Seguridad del personal.

Cuadro 5.7 Riesgos medios generados por el parámetro viento

Componente de Infraestructura	P _A	P _F	G	R _A	R _F	Riesgo generado
Sistema ventilación	3	3	6	18	18	Falla eléctrica
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	3	3	6	18	18	Falla eléctrica
Tornillo sin fin, Canastas, Sistema de izaje, Transporte.	3	3	6	18	18	Falla eléctrica
Bombas	3	3	6	18	18	Falla eléctrica
Panel de control	3	3	6	18	18	Falla eléctrica
Difusores	3	3	4	12	12	Disminución en capacidad de tratamiento
Personal en emisario submarino	3	3	5	15	15	Seguridad del personal

5.2.3.1 Falla eléctrica

Se tiene la premisa de que el viento de gran magnitud afecta las redes eléctricas y por ende se ve suspendido el suministro de corriente eléctrica para los distintos equipos electromecánicos; generando en este momento una pérdida temporal de funcionalidad de recolección, tratamiento y disposición del sistema sanitario.

Para validar esta premisa se obtuvo, de la bitácora de operación de la EPA, una serie de días en los cuales se suspendió el suministro del fluido eléctrico, asumiendo que la salida se dio producto de condiciones ambientales adversas (Ver Cuadro 5.8).

Cuadro 5.8 Días en los que se suspendió el fluido eléctrico en la EPA

Día	Hora	
	Inicio	Final
2 de octubre del 2008	15:10	17:11
7 de octubre del 2008	16:41	17:26
18 de noviembre del 2008	00:00	24:00
29 de marzo del 2009	7:10	7:54
16 de mayo del 2010	6:20	9:10
23 de mayo del 2010	5:50	6:30
21 de julio del 2010	17:15	19:20
8 de agosto del 2010	5:45	16:45

Para estos días no se logró correlacionar las salidas del suministro eléctrico con los vientos registrados en la estación meteorológica del IMN, colocada en el Aeropuerto de la Ciudad de Limón.

Carga Total (L_T)

Debido a que la premisa no se pudo validar con los días estudiados, no fue posible establecer un umbral ni una relación directa entre los vientos y las fallas eléctricas. Además para poder estimar las cargas que genera el viento sobre el sistema de suministro de electricidad, se debe realizar un estudio detallado que permita identificar la relación supuesta en la premisa.

Capacidad Total (C_T)

Aunque no se demostró una relación directa en la premisa, se puede indicar que debe existir una capacidad total instalada para suplir la falta de suministro eléctrico, cuando este falle.

Esta capacidad debe ser suministrada por un generador de energía eléctrica a partir de combustible, con la capacidad de suministrar por un lapso no menor a 4 horas la electricidad de todos los equipos electromecánicos del sistema sanitario.

Actualmente la capacidad instalada en sistemas alternos se ha visto disminuida producto del deterioro paulatino de los generadores existentes, principalmente por efectos corrosivos de carácter ambiental que serán analizados más adelante. Sin embargo es importante considerar la infraestructura existente en los distintos elementos del sistema, ya que en algunos de ellos no se cuenta con el espacio suficiente para instalar este tipo de equipos.

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

La razón de vulnerabilidad (V_R) es mayor a uno, dado que actualmente la mayor cantidad de elementos no tienen sistemas alternos de suministro de electricidad, funcionando en perfectas condiciones.

$$V_R = L_T / C_T > 1$$

Déficit de Capacidad (C_D)

Se determina que se tiene un déficit de capacidad ($C_D > 0$) en los sistemas electromecánicos, ya que como se indicó anteriormente, las cargas generadas por las fallas eléctricas son mayores que las capacidades instaladas para suplirlas.

$$C_D = L_T - C_T > 0$$

Para poder ampliar la capacidad de respuesta de la infraestructura ante las fallas del sistema eléctrico, se debe verificar cada componente electromecánico para poder estimar cuales de estos cuentan con equipo de suministro de electricidad en buen estado, además se debe estimar la disponibilidad de espacio para la colocación de las fuentes.

Por otro lado el diseño y suministro del sistema de abastecimiento eléctrico alterno debe contemplar la colocación de equipo con materiales de una mayor vida útil y resistente a ambientes adversos como los salinos y en sistemas de aguas residuales, estos equipos deben garantizar el mantenimiento continuo de los mismo mediante el suministro a tiempo de repuestos y personal capacitado.

5.2.3.2 Disminución en la capacidad de tratamiento

Actualmente el sistema de alcantarillado sanitario trata las aguas residuales mediante la separación de sólidos mayores a 1mm en la EPA, la dilución en 100% o más que se obtiene al descargar en el tramo de difusores las aguas residuales y finalmente el comportamiento del entorno marino que permite a través del tiempo la degradación de la carga bacteriológica a valores inferiores a los parámetros normados.

Basado en lo anterior los mecanismos de degradación de la carga bacteriológica están asociados a las condiciones del ambiente marino, las cuales dependen en cierto grado de los parámetros climáticos tales como viento, marea, oleaje, corriente, radiación solar, entre otros.

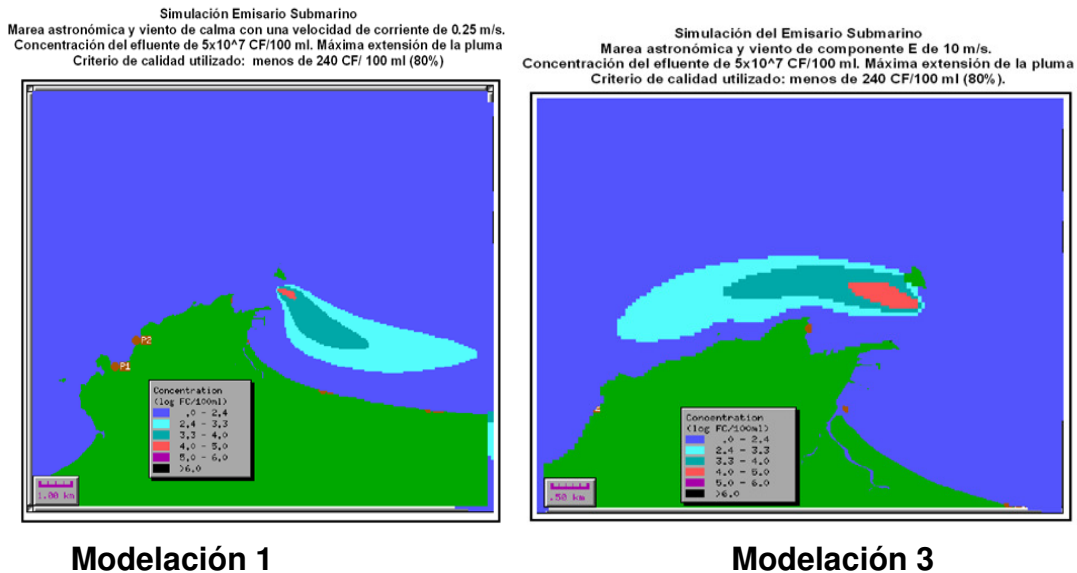
Dada la complejidad para medir la capacidad de depuración del mar en el punto donde se colocó el emisario, AyA realizó con la Universidad de Cantabria un modelaje que permitiera determinar las condiciones de depuración del emisario ante los efectos de los parámetros climáticos, como mareas corrientes y vientos (Ver Cuadro 5.9).

Cuadro 5.9 Condiciones modeladas por la Universidad de Cantabria

Situación de cálculo	Marea (Carrera=0,5m)	Corrientes Dirección SE (m/s)			Situación de Viento (10 m/s)		
		0,25	0,45	0,6	Calma	NE	E
1	x				x		
2	x					x	
3	x						x
4	x	x			x		
5	x		x		x		
6	x			x	x		
7	x	x				x	
8	x		x			x	
9	x			x		x	
10	x	x					x
11	x		x				x
12	x			x			x

De las 12 distintas modelaciones, se determinó que las condiciones de corriente en el punto de desfogue, favorecen el proceso de purificación al alejar la pluma de contaminación del centro de Limón, para obtener un efecto visual se puede observar la imagen izquierda de la figura 5.9 (modelación 1), cabe indicar que esta corriente tiene una componente sur prácticamente todo el año y obedece al transporte de sedimentos del los ríos de la vertiente atlántica Norte hacia el Sur (Ríos Matina, Moín y Chirripó), el cual aumenta su velocidad en el punto de descarga del emisario, debido al estrechamiento generado por la isla Uvita y el Muelle Alemán.

Figura 5.9 Resultados de las condiciones modeladas



De lo anterior se desprende que la condición crítica del comportamiento de la pluma de contaminantes, con respecto a la corriente se da cuando esta es cero o se da un cambio de dirección, producto de la acción del viento, en direcciones NE y E y como resultado la pluma contaminante se acerca a la costa de la ciudad (ver imagen derecha de la figura 5.9, modelación 3).

Por lo tanto, el viento de dirección hacia la costa para valores mayores 10 m/s y en condiciones de bajas corrientes, se convierte la condición climatológica crítica en el comportamiento de la pluma de contaminación, generando la posibilidad de presentar problemas de contaminación bacteriológica (>240 CF/100ml). Con base en lo anterior lo que se debe evaluar con respecto al viento, es la posibilidad de obtener vientos hacia la costa, mayores a 10m/s y en condiciones de calma.

De los datos meteorológicos se obtuvieron valores de 10m/s en las direcciones antes mencionadas, aproximadamente una vez cada 7 años, estos eventos coinciden con alteraciones atmosféricas en el Caribe que generan gran actividad oceánica (mareas, oleajes y corrientes), por lo que se puede descartar la ocurrencia de simultanea de vientos mayores a 10m/s y condiciones de bajas corrientes.

Carga Total (L_T)

Según lo indicado anteriormente, la carga generada por el viento, con respecto a una disminución de la capacidad de tratamiento es prácticamente nula, dado que este evento modelado no se presentará en la realidad.

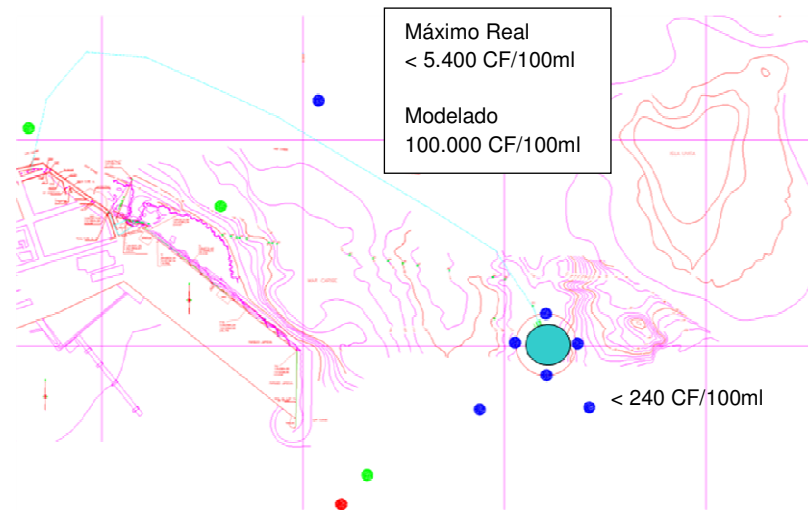
$$L_T \approx 0$$

Capacidad Total (C_T)

Además de que el evento es prácticamente improbable que se dé, la modelación indica que en el punto de desfogue del emisario se obtendrán concentraciones de coliformes fecales del orden de 100.000 CF/100ml. De los muestreos de Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) desde el 2005 en adelante, se muestran concentraciones inferiores a los 5.400 CF/100ml, una 18 veces menos de lo modelado, lo que evidencia una capacidad real tratamiento superior a la supuesta inicialmente (Ver figura 5.10).

$$C_T \gg \text{Capacidad modelada}$$

Figura 5.10 Comportamiento Real de Tratamiento del Emisarios



Razón de Vulnerabilidad (V_R)

La razón de vulnerabilidad ($V_R \ll 1$) es mucho menor que uno, prácticamente cero, puesto que las cargas generadas por el viento son casi nulas y además el emisario ha comprobado tener altísimas capacidades de tratamiento.

$$V_R = L_T / C_T \approx 0 \ll 1$$

Déficit de Capacidad (C_D)

Se determina que no se tiene un déficit de capacidad ($C_D < 0$) en la capacidad de tratamiento, debido a que se ha comprobado la alta capacidad de tratamiento del emisario.

$$C_D = L_T - C_T < 0$$

Se recomienda continuar con las campañas de monitoreos por parte del LNA-AyA en la zona de descarga, para identificar algún cambio en los resultados obtenidos.

Incluir las zonas que no cuentan con alcantarillado sanitario al sistema de tratamiento actual; por ejemplo el Proyecto Limón Ciudad Puerto y de esta manera mejorar la calidad de los cuerpos de agua y recuperar la Playa de Cieneguita y la Cuenca del Río Limoncito.

Colocar una estación meteorológica para monitorear el patrón de vientos que puedan modificar el comportamiento de la pluma de contaminantes, e incluirlo en la información de los muestreos realizados por el LNA.

Utilizando toda la información disponible (técnica y científica) se considera que no existe riesgo en la capacidad de tratamiento del emisario submarino, debido al efecto de cambio climático.

5.2.3.3 Seguridad del personal

Como se indicó anteriormente los vientos fuertes están asociados con alteraciones atmosféricas en el Caribe, que generan gran actividad oceánica (mareas, oleajes y corrientes), lo que impide que se realicen las actividades del personal en el emisario submarino, por lo que no se deben programar ni realizar buceos cuando se notifiquen perturbaciones atmosféricas que se acercan a la costa.

Carga Total (L_T)

Las condiciones de viento fuerte generan condiciones no aptas para el buceo, debido a que disminuye la visibilidad, estabilidad del bote y aumentan las corrientes.

Capacidad Total (C_T)

La capacidad del personal que realiza los trabajos de inspección en el emisario submarino (equipo de buceo de AyA), es elevada y actualmente todos los integrantes se encuentran con cursos avanzados de buceo.

Además se debe aumentar el personal equipo de buceo actual para conformar parejas (actualmente son 5), este equipo se debe completar con personas que conozcan el proyecto, cuenten con licencia actual de buceo.

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

Ante condiciones de vientos fuertes la razón de vulnerabilidad (V_R) es mayor a uno, ya que las condiciones marinas ante vientos fuertes no son las óptimas para realizar las inspecciones.

$$V_R = L_T / C_T > 1$$

Déficit de Capacidad (C_D)

Se determina que se tiene un déficit de capacidad ($C_D > 0$) ya que ante condiciones adversas no se deben realizar inmersiones.

$$C_D = L_T - C_T > 0$$

Pero para no programar giras fallidas, se debe realizar un monitoreo constante de las condiciones del mar en las fechas cercanas al buceo, además de seleccionar las épocas del año en las que se espera condiciones climáticas favorables.

5.2.4. Descargas atmosféricas

Este parámetro climático (descargas atmosféricas) tiene 17 interacciones con los componentes de infraestructura y genera riesgo medio en 5 de ellos, tanto para escenario actual como para cambio climático (Ver Cuadro 5.10).

Cuadro 5.10 Riesgos medios generados por el parámetro descargas atmosféricas

Componente de Infraestructura	P _A	P _F	G	R _A	R _F
Sistema ventilación	2	2	6	12	12
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	2	2	6	12	12
Tornillo sin fin, Canastas, Sistema de izaje, Transporte.	2	2	6	12	12
Bombas	2	2	6	12	12
Panel de control	2	2	6	12	12

Carga Total (L_T)

Para poder estimar las cargas que genera la rayería (descargas atmosféricas) sobre los equipos electromecánicos se debe considerar: los picos de corrientes, irregularidades en la calidad de la energía y salidas del suministro de energía, provocados por las descargas atmosféricas. Para lo que se debe realizar un estudio de mayor detalle, enfocado en la protección del equipo electromecánico.

Capacidad Total (C_T)

La capacidad total se considera como la protección que debe tener el equipo electromecánico para continuar en operación ante las cargas que genera la rayería a los equipos.

Esta capacidad debe estar dada por:

- Protección del equipo ante irregularidades en la calidad de la energía eléctrica, como picos.
- Sistema de aterrizaje para las descargas atmosféricas
- Un generador de energía eléctrica a partir de combustible, con la capacidad de suministrar por un lapso no menor a 4 horas la electricidad de los equipos electromecánicos.

Como se indicó anteriormente, actualmente la capacidad instalada en sistemas alternos se ha visto disminuida producto del deterioro paulatino de los generadores existentes y se hace necesario revisar las protecciones existentes para mitigar cualquier descarga.

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

Se estima que la razón de vulnerabilidad (V_R) debe estar cercana a uno, debido a que no se ha registrado ningún daño de equipos producto de una descarga.

$$V_R = L_T / C_T \leq 1$$

Sin embargo corresponde hacer un análisis de los elementos de protección colocados, con el fin de establecer la necesidad de mejorarlos o ajustarlos.

Déficit de Capacidad (C_D)

Se estima que el déficit de capacidad ($C_D \leq 0$) debe ser menor o igual a cero, debido a que existe evidencia de descargas cercanas a la EPA y no se han registrado daños o salida de operación de los componentes electromecánicos.

$$C_D = L_T - C_T \leq 0$$

Sin embargo se debe verificar que cada componente electromecánico cuente con las protecciones adecuadas para los efectos generados por las descargas atmosféricas, debido a que no existe una protección total de los componentes.

5.2.5. Brisa Marina

Este parámetro climático (brisa marina) tiene 13 interacciones con los componentes de infraestructura y genera riesgo medio en 2 tanto para escenario actual como para cambio climático (Ver Cuadro 5.11).

Cuadro 5.11 Riesgos medios generados por el parámetro brisa marina

Componente de Infraestructura	P_A	P_F	G	R_A	R_F
Edificio	2	3	5	10	15
Planta eléctrica	2	3	7	14	21

Carga Total (L_T)

La carga total para este parámetro climático consiste en la acción abrasiva del medio salino al cual se encuentran expuestas las estructuras. Complementada con la acción abrasiva de los gases generados en el sistema sanitario

Capacidad Total (C_T)

Según las experiencias se observa que los equipos instalados no son de materiales adecuados o no están diseñados para soportar las condiciones abrasivas generadas por la brisa marina, ya que los componentes muestran deterioro debido a la corrosión.

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

Para los componentes en análisis la razón de vulnerabilidad (V_R) es mayor a uno, dado que actualmente se cuenta con equipos que no soportan adecuadamente las cargas corrosivas.

$$V_R = L_T / C_T > 1$$

Esta vulnerabilidad se materializa con la salida de operación de la planta generadora, la cual se encuentra completamente corroída y el cambio necesario que se ha tenido que realizar con los cerramientos metálicos (puertas, ventanas, portones) del edificio de la EPA.

Déficit de Capacidad (C_D)

Se determina que se tiene un déficit de capacidad ($C_D > 0$) de acuerdo a lo indicado anteriormente.

$$C_D = L_T - C_T > 0$$

Para disminuir los efectos de la brisa marina se recomienda cambiar los elementos de cerramientos (ventanas, puertas, tapas, portones) por materiales no corrosivos, tales como madera acero inoxidable, fibra de vidrio, entre otros.

En el caso de los elementos estructurales se observa afectación del acero de refuerzo en sitios donde el recubrimiento no fue el adecuado, por lo que se recomienda proteger con aditivos especiales los estos elementos.

En el caso del generador este debe estar diseñado para soporta este tipo de condiciones abrasivas. Estas actividades se deben intensificar en el futuro debido a que con cambio climático la incidencia aumentará.

5.2.6. Oleaje

Este parámetro climático (oleaje) tiene 10 interacciones con los componentes de infraestructura y no genera riesgo medio para escenario actual, pero si genera 2 riesgos medios para escenario con cambio climático (Ver Cuadro 5.12).

Cuadro 5.12 Riesgos medios generados por el parámetro oleaje

Componente de Infraestructura	P_A	P_F	G	R_A	R_F
Asis Esna	1	2	6	6	12
Muro	1	2	6	6	12

Carga Total (L_T)

La carga se considera como la altura de ola utilizada para estimar la frecuencia del parámetro climático, 3m.

$$L_T = 3.0 \text{ m}$$

Este valor fue estimado con base un evento en el cual las olas golpearon las puertas de la EPA.

Capacidad Total (C_T)

La capacidad está dada por el nivel al cual se encuentran los componentes sobre el nivel del mar.

<i>Asís Esna</i>	$C_T = 3.2 \text{ m}$
<i>Muro</i>	$C_T = 2.9 \text{ m}$

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

Basado en lo anterior, se calculan las razones de vulnerabilidad (V_R) para cada componente.

<i>Asís Esna</i>	$V_R = L_T / C_T = 3.0 / 3.2 = 0.94$	< 1	=> No vulnerable
<i>Muro</i>	$V_R = L_T / C_T = 3.0 / 2.9 = 1.03$	> 1	=> Vulnerable

Déficit de Capacidad (C_D)

Se calcula para cada componente el déficit de capacidad (C_D).

<i>Asís Esna</i>	$C_D = L_T - C_T = 3.0 - 3.2 = - 0.2$	=> Sin déficit
<i>Muro</i>	$C_D = L_T - C_T = 3.0 - 2.9 = 0.1$	=> Con déficit

Asís Esna

Para este componente no se tiene un déficit de capacidad debido que la altura del componente es mayor que la de la ola en análisis. Adicionalmente esta infraestructura está protegida naturalmente por el arrecife coralino, que en este sector cuenta con 150 m de coral expuesto. Para un escenario futuro debe hacerse un análisis más profundo con respecto a la afectación de esta infraestructura.

Muro

Queda demostrado que el muro debe ser levantado, para protección de la EPA contra oleajes, para el escenario futuro con cambio climático. La ampliación de esta altura debe considerar que este punto es utilizado como mirador y por ende la ampliación del mismo debe considerar, que se respete y mejore este espacio de recreación.

5.2.7. Huracanes

Este parámetro climático (huracanes) tiene 29 interacciones con los componentes de infraestructura y no genera riesgo medio para escenario actual, pero si genera 10 riesgos medios para escenario con cambio climático (Ver Cuadro 5.13).

Basado en la historia climatológica del país este fenómeno no presenta un riesgo para el escenario actual, debido a que las trayectorias de huracanes no han impactado directamente el país generando afecciones en la zona atlántica.

Cuadro 5.13 Riesgos medios generados por el parámetro huracanes

Componente de Infraestructura	P _A	P _F	G	R _A	R _F
Redes, Subcolectores, Colectores	1	2	6	6	12
Mini estaciones costeras	1	2	6	6	12
Asis Esna,	1	2	7	7	14
Pacuare 2	1	2	7	7	14
Sistema ventilación	1	2	6	6	12
Compuertas, Rejillas, Canal Parshall, Canal Interconexión	1	2	7	7	14
Tornillo sin fin, Canastas, Sistema de izaje, Transporte.	1	2	6	6	12
Bombas	1	2	6	6	12
Panel de control	1	2	6	6	12
Muro	1	2	6	6	12

Para el escenario de cambio climático se debe analizar con detenimiento y profundidad la posibilidad de incidencia directa de huracanes y los posibles efectos de estos en el territorio. Además se le debe brindar un especial énfasis a la infraestructura colocada en el mar como anclajes y tuberías, este análisis se debe complementar con información oceanográfica con la cual no se contó para este estudio.

Inicialmente se definieron los efectos de este parámetro climático como un efecto agregado de lluvias de inundación, los oleajes y viento, por lo que para este parámetro no se estimaron cargas y capacidades para los componentes, debido a la falta de un umbral que permitiera realizar este análisis.

La magnitud de los huracanes se comentó hasta una vez realizada la matriz de riesgo, por lo que esta no refleja la gravedad en los componentes de infraestructuras evaluados.

5.2.8. Alta temperatura

Este parámetro climático (alta temperatura) tiene 15 interacciones con los componentes de infraestructura y genera riesgo medio en 2 tanto para escenario actual como para cambio climático (Ver Cuadro 5.14),

Cuadro 5.14 Riesgos medios generados para alta temperatura.

Componente de Infraestructura	P _A	P _F	G	R _A	R _F
Edificio	4	5	3	12	15
Personal en la EPA	4	5	4	16	20

Carga Total (L_T)

La carga total para este parámetro climático se obtiene del umbral definido para el estudio, el cual se definió en 30°C.

$$L_T = 30^\circ\text{C}$$

Este umbral se definió en este valor debido a que a esta temperatura se tienen condiciones desfavorables para los trabajos a realizar en la EPA y a que también ante el aumento de la temperatura las concentraciones de los gases provenientes de las aguas residuales lo que afecta directamente al personal y a la edificación donde se encuentra la EPA, puesto que estos gases son abrasivos.

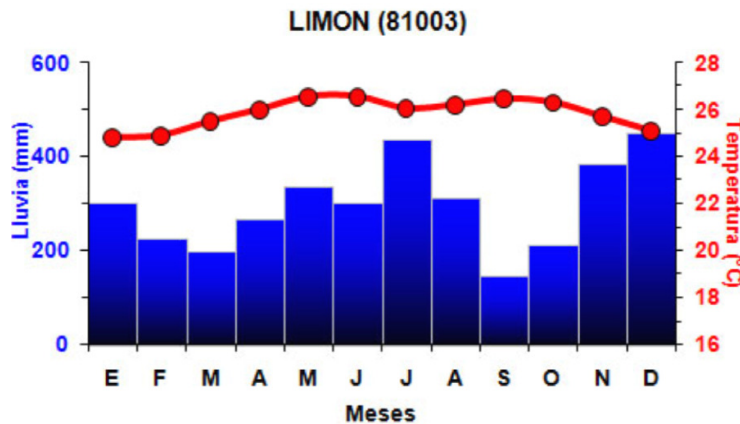
Capacidad Total (C_T)

La capacidad total para este estudio se definió como la temperatura promedio registrada en la ciudad de Limón, 26°C (Ver Figura 5.11)

$$C_T = 26^\circ\text{C}$$

Se definió este valor como la capacidad, ya que es a la temperatura que los trabajadores están aclimatados y a la cual los procesos de generación de gases producto de las aguas residuales no se aumentan puesto que están bajo condiciones promedio.

Figura 5.11 Temperatura promedio en la Ciudad de Limón



Fuente: IMN

Razón de Vulnerabilidad (V_R)

Para los componentes en análisis la razón de vulnerabilidad (V_R) es mayor a uno, puesto que la carga supuesta para este estudio supera en un 15% la capacidad definida.

$$V_R = L_T / C_T = 30 / 26 = 1.15$$

Para disminuir esta vulnerabilidad, se debe diseñar un sistema de ventilación que garantice que en lugar de trabajo una temperatura igual o inferior a la definida como la capacidad para este estudio.

Déficit de Capacidad (C_D)

Para los componentes en análisis se calcula déficit de capacidad (C_D), el cual indica que para el umbral establecido se tiene un déficit de 4°C

$$C_D = L_T - C_T = 30 - 26 = 4^\circ\text{C}$$

Para lograr compensar este déficit de capacidad se debe diseñar un sistema de ventilación que logre mantener temperaturas de al menos 26°C , para garantizar condiciones de trabajo favorables para el personal encargado de la operación y mantenimiento de la EPA.

Además de mantener las temperaturas por debajo de la capacidad definida, el sistema debe garantizar que se dé una correcta circulación de aire fresco, logrando el ingreso de aire fresco a los lugares de trabajo y expulsando los gases de aguas residuales, sin afectar edificaciones cercanas.

5.3 Resumen de hallazgos

A continuación se presentan en forma resumida los hallazgos para los eventos recurrentes y extremos:

Cuadro 5.15 Hallazgos para los parámetros de tipo recurrente

Parámetro	Resumen
Altas temperaturas	Se debe rediseñar el sistema de ventilación en la EPA y garantizar condiciones óptimas de trabajo ante los aumentos de temperatura y disminuir las concentraciones de los gases de las aguas residuales.
Oleaje	<i>Asís Esna:</i> Para un escenario futuro debe hacerse un análisis más profundo con respecto a la afectación de esta infraestructura. <i>Muro:</i> debe ser levantado, para protección de la EPA contra oleajes, para el escenario futuro con cambio climático, considerando su uso para recreación.
Brisa marina	Disminuir los efectos sobre los elementos de cerramientos cambiando a materiales no corrosivos. Revisar y proteger los elementos estructurales donde el acero de refuerzo está afectado. Resolver sobre el generador de energía.
Rayería	Verificar que cada componente electromecánico cuente con las protecciones adecuadas para los efectos generados por las descargas atmosféricas.

Cuadro 5-16 Hallazgos para los parámetros extremos

Parámetro	Resumen
Lluvia de inundación	<p>Analizar la vulnerabilidad actual y futura del sistema de alcantarillado sanitario, ya que la razón de vulnerabilidad aumentará debido a cambio climático.</p> <p>Se debe realizar la limpieza de todo el sistema de alcantarillado pluvial; luego de realizar la limpieza (eventual reconstrucción de tragantes) y para lograr medir la capacidad real del mismo, se debe correlacionar el desempeño del alcantarillado para distintas intensidades de precipitación, las cuales deben ser registradas mediante la estación meteorológica a colocar en la EPA.</p> <p>No se tiene una herramienta para estimar los valores de intensidad de diseño para el escenario de cambio climático (aumentarán las intensidades para los mismos periodos de retorno) y se debe hacer un análisis exhaustivo de la capacidad hidráulica real de todo el alcantarillado pluvial y valorar la necesidad de ampliar su capacidad, a la luz de los resultados.</p>
Lluvia de sobrecarga	<p>Las interconexiones (sanitario-pluvial) no debe ser eliminadas en la ciudad, mientras no se corrijan los problemas de los servicios interconectados, luego de realizado el programa interinstitucional, Instalar una estación meteorológica en la zona, que permita cuantificar los resultados obtenidos con esa medida.</p>
Huracán	<p>Para el escenario de cambio climático se debe analizar con detenimiento y profundidad la posibilidad de incidencia directa de huracanes y sus posibles efectos.</p> <p>Brindar énfasis a la infraestructura colocada en el mar como anclajes y tuberías, a partir de nueva información oceanográfica.</p>
Viento	<p>Continuar con las campañas del LNA-AyA en la zona de descarga del emisario, para identificar algún cambio en los resultados obtenidos.</p> <p>Incluir las zonas que no cuentan con alcantarillado sanitario al sistema de tratamiento actual-</p> <p>Colocar una estación meteorológica para monitorear el patrón de vientos que puedan modificar el comportamiento de la pluma de contaminantes, e incluirlo en la información de los muestreos realizados por el LNA.</p> <p>Mantener el programa de inspección del emisario submarino, y aumentar el equipo de buceo con personas que conozcan el proyecto y cuenten con licencia.</p>

6. LIMITACIONES

Durante la Etapa 2 del Protocolo PIEVC, se tuvieron problemas de suficiencia de la información, principalmente en lo que respecta a los datos requeridos para la recopilación de los parámetros climáticos que se establecieron para la realización de la Etapa 3 Evaluación del Riesgo. Debido a la falta de datos históricos y a la carencia de modelos de proyección climática algunas consideraciones se establecieron con base en criterio profesional y en la investigación de artículos científicos, de la consulta de algunos sitios de internet y literatura.

Por otro lado, cabe destacar que la información histórica de los parámetros climáticos no se encuentra registrada para un mismo período, ya que hay datos con registros horarios, diarios, mensuales e incluso anuales.

Otro punto importante, es la falta de proyecciones climáticas basadas en modelos de circulación regional, lo que contribuye a la incertidumbre en la evaluación de la probabilidad y magnitud del cambio climático a nivel local, ya que el análisis a nivel global es muy generalizado obteniéndose errores que inciden en la discusión de la interacción y afectación de la infraestructura debido al cambio climático.

Es importante recalcar que algunas de las proyecciones climáticas se basaron en criterio experto, su respectiva fundamentación se basó en la relación con otros parámetros climáticos, así como en la consulta de resultados de investigaciones. Sin embargo en algunos casos no fue posible realizar el análisis de las proyecciones a futuro debido a la falta de información, considerándose poco certero realizar una estimación.

Esta carencia de datos limita la capacidad del equipo de trabajo para hacer estimaciones cuantitativas de los efectos del cambio climático sobre la infraestructura del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Limón.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se considera que la aplicación del Protocolo PIEVC al sistema de Alcantarillado Sanitario de la Ciudad de Limón, ha permitido abordar el tema del cambio climático en forma sistematizada, a partir de un amplio análisis climático.
- Los mejores resultados en la aplicación del Protocolo se obtuvieron para los parámetros en los cuales se contó con umbrales de carga basados en la corroboración de la ocurrencia de eventos (registrados en bitácoras de operación) con los registros climatológicos.
- Para esos umbrales se identificó la infraestructura que en la actualidad se ve afectada en términos de pérdida de capacidad o salida de operación.
- Se identificaron además las medidas de adaptación que requieren acciones inmediatas, aún sin que se presenten condiciones extremas atribuibles a los efectos de Cambio Climático.
- Se identifican además aspectos en los cuales se requieren estudios más detallados, mejoras en equipamiento y mejores registros de información.
- Debido a que 4% servicios colapsan el sistema (por lluvia de sobrecarga) se debe realizar un programa de identificación y reducción de interconexiones de servicios con el apoyo del MINSA y de la Municipalidad de Limón.
- El sistema de alcantarillado pluvial tiene la capacidad de evacuar la lluvia de inundación definida para este estudio. Pero se debe hacer un análisis exhaustivo y minucioso de la capacidad hidráulica real de todo el alcantarillado pluvial y valorar la necesidad de ampliar su capacidad, a la luz de los resultados. Además en el escenario actual se debe realizar un programa de limpieza y reemplazo de tragantes y tuberías principales.
- Las condiciones modeladas de la pluma contaminante utilizaron condiciones extremas las cuales son poco probables que se presenten. Además de que las condiciones reales medidas reflejan una mayor capacidad de depuración del emisario de lo esperado originalmente. En conclusión, no existe riesgo de contaminación de las costas de Limón, tanto actualmente como futuro debido a cambio climático.

Sobre la aplicación del Protocolo de Ingeniería PIEVC

En este proceso se logró cumplir con los objetivos generales que habían sido definidos en la propuesta original. De esta manera:

- Se logró determinar la vulnerabilidad al cambio climático del sistema de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales de la ciudad de Limón.

- Se logró un mejor entendimiento de la necesidad de información climatológica, la forma que esta debe solicitar a la institución respectiva y la manera en que esta debe ser presentada al equipo técnico.
- Se logro adquirir experticia en el uso y aplicabilidad del proceso de análisis de PIEVC
- Se logró relacionar directamente o indirectamente los efectos de cambio climático a la infraestructura en estudio a través del establecimiento de interrelaciones entre componentes de la infraestructura y los factores de clima.
- Se logró identificar las acciones prioritarias para adaptar la infraestructura existente a los eventos climáticos actuales y futuros.
- Se logró identificar los vacíos de información climatológica que deberá de recabarse en el futuro para realizar un segundo ciclo de análisis de ingeniería para este proyecto.
- Se logró establecer una estructura de funcionamiento que integró a todas las partes involucradas (operador de sistema, dueño de sistema, especialista meteorológico, gerente de proyecto, entre otros) y que, se espera, sea aplicable para otros proyectos.

A modo de conclusión general con respecto a la vulnerabilidad al cambio climático del sistema analizado; se puede concluir que éste sistema cuenta con capacidad suficiente para resistir los efectos pronosticados del cambio climático para un período de análisis de 30 años. Lo anterior si se ejecutan las recomendaciones indicadas en este informe. Además se deberán explorar otros aspectos que no se abordaron en el estudio; mediante futuras investigaciones, considerándose fundamental el resolver las limitaciones señaladas sobre la calidad de la información y mejorando el proceso de aplicación del protocolo PIEVC, según se ha indicado en este estudio.

7.2 Recomendaciones

- Para aplicaciones futuras del Protocolo PIEVC en la infraestructura nacional, las instituciones deben asegurar la participación de los funcionarios de acuerdo con las cargas de trabajo que genera la aplicación del protocolo, para asegurar un adecuado proceso y una óptima transferencia de conocimientos.
- Para la correcta implementación del Protocolo en futuros proyectos, es de vital importancia que la persona que defina y le de seguimiento el cronograma de trabajo (coordinador), conozca la disponibilidad real que le pueden dedicar los profesionales al proyecto, y más importante aún debe monitorear cuál es el tiempo que se le está asignando a cada tarea durante el proyecto, ya que si bien las partes iniciales son importantes para el proyecto, no son las que deben demandar más tiempo al equipo de trabajo, ya que las etapas 3 (Evaluación del riesgo) y 4 (Estudio técnico), son a las que se les debe dedicar más tiempo, puesto que son el cuerpo del estudio. Definiendo correctamente el cronograma en un inicio (con el personal necesario) y monitoreando los avances, garantizando la asignación de tiempo suficiente en las actividades sustantivas, se logrará el éxito en futuros proyectos.

- La forma alternativa existente, de contratación de consultorías (Caso de estudios de las presas Claireville y G. Ross Lord Dams y Metro Vancouver Sewerage) puede dar resultados en ahorro de tiempo, pero se recomienda aplicar este Protocolo por las instituciones nacionales para asegurar que se logre transferir el conocimiento adecuadamente.
- El tema de Gestión de Riesgo debe alcanzar el nivel de proyecto país, para asegurar un liderazgo y una participación conjunta de las instituciones responsables de la infraestructura y especialmente de las que generan datos de tipo climatológico.
- No se recomienda cerrar las interconexiones entre los sistemas (aguas residuales-pluviales) hasta que se logre resultados de un programa de reducción de aporte de aguas de lluvia desde los techos de las casas al sistema sanitario, con el apoyo del MINSA y de la Municipalidad de Limón.
- Se recomienda continuar con las campañas de monitoreo por parte del Laboratorio Nacional de Aguas - AyA en la zona de descarga. Así como las inmersiones de inspección del emisario y sus componentes, además de aumentar el personal del equipo de buceo del AyA.
- En el escenario futuro se recomienda instalar una estación meteorológica en la zona para poder cuantificar las disminuciones de los aportes de las interconexiones luego de realizado el programa y para poder cuantificar el desempeño del pluvial.

8- BIBLIOGRAFIA

- Auld, H. ; Maclever, D. 2007. Changing weather patterns, uncertainty and infrastructure risks: emerging adaptation requirements. Canada, Adaptation and Impacts Research Division. 18 p. (Ocasional paper 9)
- Auld, H. E. Adaptation by design: the impact of changing climate on infrastructure. Journal of Public Works & Infrastructure 1(3): 276-288.
- Auld, H. 2008. Disaster risk reduction under current and changing climate conditions. WMO Bulletin 57(2): 119-124.
- Berry, P.; Clarke, K.L.; Brisbois, M.C.; Rogaeva, A. Assessment of vulnerability to the health impacts of extreme heat in winnipeg. Canada,s.n. 89 p. Draft for comment.
- Brekke, L.D. ; Kiang, J.E.; Olsen, J.R.; Pulwarty, D.A.; Raff, D.A.; Turnipseed, D. P.; Weber, R. S. White, K. 2009. Climate change and resources management: a federal perspective. s.l. , Science for Changing World. 65 p.
- Chacón, A. 1985. Agroclimatología. San José, CR, EUNED.
- Comité Regional de Recursos Hidráulicos. 2008. El clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. San José, C.R., Instituto Meteorológico Nacional. 75 p.
- Development, interpretation and use of rainfall intensity-duration-frecuency (IDF): information guideline for canadian water resources practioners, technical guide. 2010. Ed. E. Sparling. Canada, Canadian Standars Association. 134 p.
- Engineers Canada Proposol. 2010. Knowledge development and capacity building project: engineering vulnerability assessment of infrastructure to climate change stage 1, Costa Rica. Canada, s.n. 8 p.
- España. Universidad de Cantabria . Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente. 2000. Resumen de los estudios realizados sobre el emisario submarino de Puerto Limón, Costa Rica. 95 p.
- Fallas, J., Valverde, C.s.f.Inundaciones en Costa Rica y estudio de caso en una cuenca forestada del Caribe Costarricense: evidencia de los últimos 34 años. (En línea) Disponible en: <http://www.mapealo.com/Costaricageodigital/Documentos/noticias/ponencias/Bosques%20e%20inundaciones%20en%20la%20Cuenca%20del%20rio%20Matina%20nov2007.pdf>
- Fernández, W. 2006. Impacts and adaptation to climate change and extreme events in Central America. s.l. , Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change
- Fred, M.; Reiff, P.E.; Salas, H.F. Informe de consultoría sobre el emisario submarino de Limón, Costa Rica (28 de febrero al 3 de marzo del 2000). s.n.t. 19 p.

- GENIVAR Consultants. 2007. The City of portage la Praire and PIE VC-CVIIP: water resources infrastructure assessment phase II- Pilot study: executive summary. 2 p.
- GENIVAR Consultants. 2010. National Engineering vulnerability assessment of public infrastructure to climate change flood control dam water resources infrastructure assessment. s.l., Genivar. 56 p.
- Geólogos Consultores. 2000. Proyecto emisario submarino Ciudad de Limón. San José, C.R., GEOTEST. 4 p.
- Herr, D. ; Galland, G.R. 2009. The ocean and climate change: tools and guidelines for action. Washington, D.C.: IUCN. 72 p.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2000. Licitación pública N° 2000-00030 precalificación de empresas: construcción de una estación de pretratamiento, estación bombeo y un emisario submarino para la Ciudad de Limón, Costa Rica. San José, AyA. 43 p.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2009. Boletín meteorológico. Enero 2009
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Informe de síntesis
- IPCC. 2008. Climate change and water: technical paper VI.
- J. Marsalek, B.E. [et.al] Urban water cycle processes and interactions. 2006. Paris: UNESCO. 87 p.
- Lizano, O. 2006. Algunas características de las mares en la costa Pacífica y Caribe de Costa Rica. Revista Ciencia y Tecnología, 24(1):51-64
- Lizano, O. 2007. Climatología del viento y el oleaje frente a las costas de Costa Rica. Revista Ciencia y Tecnología, 25 (1-2): 43-56.
- Lizano, O. s.f. Un modelo de viento ajustado a un modelo de generación de olas para el pronóstico de oleaje durante huracanes. Revista Geofísica No.33.
- Lizano, O. s.f. La generación de corrientes de resaca sobre las playas de Costa Rica: algunas estadísticas del Organismo de Investigación Judicial (OIJ). (En línea). Fecha de consulta: 29 noviembre 2010. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/educacion/corriesaca.pdf>
- Ludwing, R.G. 1988. Evaluación del impacto ambiental: ubicación y diseño de emisarios submarinos. Trad. H.J. Salas. Lima, Perú: Centro de Investigaciones de Monitoreo y Evaluación. 46p.
- MINAET (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones) 2009. Costa Rica 2009: Segunda comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. San José, MINAET. 264 p.

- Minister of Health. 2009. The Urban heat Island effect: causes health impacts and mitigation strategies. Climate change and health adaptation bulletin.1: 1 p.
- Mora, S. 1997. El impacto de las amenazas naturales en Costa Rica: aspectos sociales, políticos, económicos y su relación con el desarrollo del país. (En línea). Disponible en: <http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs/2688/2688.pdf>
- PIEVC; CVIIP. 2009. Protocolo de ingeniería del CVIIP para la evaluación de la vulnerabilidad de las infraestructuras debido al cambio climático. Canada, Canadian Council of Professional Engineers. 31 p.
- PIEVC; CVIIP. 2009. Protocolo de ingeniería del CVIIP para la evaluación de la vulnerabilidad de las infraestructuras debido al cambio climático. Canada: Canadian Council of Professional Engineers. 76 p.
- Powell, Simone. 2009 The health impacts of disasters: who is most at risk? Canada, Health Policy Research Bulletin. (15): 23-32.
- Protecting health from climate change: connecting science, policy and people. 2009. Geneva: World Health Organization. 28 p.
- Proyecto Desinventar. 2009. Sistema de inventario de desastres: guía metodológica. (En línea). Versión 8.1.9. Disponible en: <http://www.desinventar.org/bitcache/31ed763e025d98ad20b9956d5c3b25dbc34567?vid=68&disposition=inline&op=view>
- Retana, J.; Campos, M.; Deford, D. 2008. Efectos del clima, su variabilidad y cambio climático sobre la salud humana en Costa Rica. San José, C.R. : Instituto Meteorológico Nacional. 45 p.
- Rivero, S. s.f. Corrosión atmosférica en ambiente marino polar: aerosol marino fluyendo en el viento. Universidad de la República (Uruguay). (En línea). Fecha de consulta: 01 de noviembre de 2010. Disponible en: http://www.uruman.org/material_tecnico/X%20Titulos/Corrosion%20Atmosferica%20Estudio%20de%20caso%20en%20Ambiente%20Antartico.pdf
- UCR (Universidad de Costa Rica). Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación. 1994. Propuesta para la elaboración del estudio de impacto ambiental emisario submarino en la ciudad Limón, Costa Rica. San José, FUNDEVI-PROAMBI. 94 p.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2007. Balance hídrico superficial de Costa Rica, período 1970-2003. (Documento técnico del PHILAC 10) . Montevideo, Uruguay : PHILAC. 49 p.
- Universidad de Cantabria. 2000. Resumen de los estudios realizados sobre el emisario submarino de Puerto Limón (Costa Rica). Santander, España.

UCR (Universidad de Costa Rica). Escuela de Geografía. 1999. Estudio de impacto ambiental del proyecto de emisario submarino para la Ciudad de Limón: Anexos. 1999. San José, PROIGE . 63 p.

UCR (Universidad de Costa Rica). Escuela de Geografía. 1999. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto emisario submarino para la ciudad de Limón. San José, PROIGE. 241p.

Vulnerability of Vancouver sewerage area infrastructure to climate change: final report. 2008. Canada: Associate Enengineering. 130 p.