

## TABLA DE CONTENIDO

4.0	DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE FÍSICO .....	4-1
4.1	Geología .....	4-1
4.1.1	Metodología .....	4-1
4.1.2	Formaciones Geológicas Regionales .....	4-2
4.1.3	Unidades Geológicas Locales .....	4-7
4.1.3.1	La Costa Atlántica .....	4-7
4.1.3.2	Esclusas de Gatún .....	4-8
4.1.3.3	Lago Gatún.....	4-9
4.1.3.4	Corte Culebra .....	4-10
4.1.3.5	Esclusas del Pacifico .....	4-11
4.1.3.6	La Costa del Pacifico .....	4-12
4.1.4	Recursos Paleontológicos .....	4-13
4.1.5	Caracterización Geotécnica .....	4-17
4.1.6	Tectónica.....	4-21
4.2	Geomorfología .....	4-22
4.2.1	Geomorfología Local .....	4-24
4.2.2.1	La Costa Atlántica.....	4-24
4.2.2.2	Esclusas de Gatún .....	4-25
4.2.2.3	Lago Gatún.....	4-25
4.2.2.4	Corte Culebra .....	4-25
4.2.2.5	Esclusas del Pacifico.....	4-26
4.2.2.6	La Costa Pacifica .....	4-26
4.3	Caracterización del Suelo .....	4-26
4.3.1	Objetivos y Metodología.....	4-26
4.3.2	Identificación y Descripción de los Suelos.....	4-28
4.3.2.1	Suelos Ultisoles.....	4-28
4.3.2.2	Suelos Aluviales.....	4-29
4.3.2.3	Suelos de Origen Sedimentario.....	4-30
4.3.2.4	Suelos Antrópicos .....	4-31

4.3.3	Descripción del Uso del Suelo.....	4-32
4.3.3.1	La Costa Atlántica.....	4-32
4.3.3.2	Esclusas de Gatún.....	4-33
4.3.3.3	Lago Gatún.....	4-34
4.3.3.4	Corte Culebra.....	4-35
4.3.3.5	Esclusas del Pacífico.....	4-36
4.3.3.6	La Costa Pacífica.....	4-37
4.3.4	Deslinde de la Propiedad.....	4-38
4.3.5	Capacidad de Uso y Aptitud.....	4-39
4.3.5.1	Clasificación de Suelos.....	4-39
4.3.5.2	La Costa Atlántica.....	4-43
4.3.5.3	Esclusas de Gatún.....	4-44
4.3.5.4	Lago Gatún.....	4-45
4.3.5.5	Corte Culebra.....	4-46
4.3.5.6	Esclusas del Pacífico.....	4-47
4.3.5.7	La Costa Pacífica.....	4-49
4.4	Topografía y Batimetría.....	4-50
4.4.1	Metodología.....	4-50
4.4.2	Características Topográficas y Batimétricas del Área de Estudio Específico.....	4-50
4.4.2.1	La Costa Atlántica.....	4-51
4.4.2.2	Esclusas de Gatún.....	4-52
4.4.2.3	Lago Gatún.....	4-53
4.4.2.4	Corte Culebra.....	4-53
4.4.2.5	Esclusas del Pacífico.....	4-54
4.4.2.6	La Costa Pacífica.....	4-55
4.5	Clima.....	4-56
4.5.1	Metodología.....	4-56
4.5.2	Caracterización Climática.....	4-58
4.5.2.1	Tipos de Climas.....	4-58
4.5.2.2	Precipitación.....	4-59

4.5.2.3	Temperatura .....	4-62
4.5.2.4	Humedad Relativa.....	4-66
4.5.2.5	Velocidad del Viento .....	4-70
4.5.2.6	Radiación Solar.....	4-76
4.5.2.7	Evapotranspiración Potencial.....	4-80
4.6	<b>Hidrología</b> .....	<b>4-81</b>
4.6.1	Aspectos Generales.....	4-82
4.6.2	<b>Calidad de Aguas Superficiales</b> .....	<b>4-83</b>
4.6.2.1	La Costa Atlántica.....	4-83
4.6.2.2	Esclusas de Gatún .....	4-87
4.6.2.3	Lago Gatún.....	4-88
4.6.2.4	Corte Culebra .....	4-99
4.6.2.5	Esclusas del Pacífico.....	4-101
4.6.2.6	La Costa Pacífica .....	4-104
4.6.3	<b>Caudales (Máximos, Mínimos y Promedio Anual)</b> .....	<b>4-107</b>
4.6.4	<b>Corrientes, Mareas y Oleajes</b> .....	<b>4-108</b>
4.6.4.1	La Costa Atlántica.....	4-108
4.6.4.2	La Costa Pacífica .....	4-109
4.6.5	<b>Aguas Subterráneas</b> .....	<b>4-110</b>
4.6.5.1	Caracterización del Acuífero .....	4-110
4.7	<b>Calidad de Aire</b> .....	<b>4-111</b>
4.7.1	Sitios de Monitoreo y Metodología de Evaluación.....	4-112
4.7.1.1	Monitoreos de Calidad del Aire.....	4-112
4.7.1.2	Estimaciones de Emisiones Actuales .....	4-115
4.7.2	Resultados Obtenidos para el Área de Estudio Específico.....	4-115
4.7.2.1	La Costa Atlántica.....	4-118
4.7.2.2	Esclusas de Gatún .....	4-118
4.7.2.3	Lago Gatún.....	4-118
4.7.2.4	Corte Culebra .....	4-119
4.7.2.5	Esclusas del Pacífico.....	4-119
4.7.2.6	La Costa Pacífica .....	4-120

4.8	Ruido .....	4-120
4.8.1	Definición de Receptores Sensibles.....	4-121
4.8.2	Metodología y Equipos de Medición.....	4-121
4.8.3	Sitios y Resultados de Medición de Ruido .....	4-123
	4.8.3.1 La Costa Atlántica.....	4-126
	4.8.3.2 Esclusas de Gatún .....	4-126
	4.8.3.3 Lago Gatún.....	4-126
	4.8.3.4 Corte Culebrra.....	4-127
	4.8.3.5 Esclusas del Pacífico.....	4-128
	4.8.3.6 La Costa Pacífica .....	4-129
4.9	Olores.....	4-130
4.9.1	Selección de los Puntos de Muestreo en el Área de Estudio Específico.....	4-131
4.9.2	Metodología de Medición de Fuentes de Olores Molestos.....	4-132
	4.9.2.1 Descripción de los Equipos de Medición.....	4-133
4.9.3	Resultados de la Medición de Olores.....	4-134
	4.9.3.1 La Costa Atlántica.....	4-137
	4.9.3.2 Esclusas de Gatún .....	4-137
	4.9.3.3 Lago Gatún.....	4-137
	4.9.3.4 Corte Culebra .....	4-138
	4.9.3.5 Esclusas del Pacífico.....	4-138
	4.9.3.6 La Costa Pacífica .....	4-139
4.10	Amenazas Naturales .....	4-140
4.10.1	Sismicidad.....	4-141
4.10.2	Incendios Forestales.....	4-143
4.10.3	Inundaciones .....	4-144
4.10.4	Erosión y Deslizamientos .....	4-146

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 4-1	Sucesión Geológica en la AFE
Tabla 4-2	Materiales Geológicos en la Zona 1
Tabla 4-3	Materiales Geológicos en la Zona 2
Tabla 4-4	Materiales Geológicos en la Zona 3
Tabla 4-5	Materiales Geológicos en la Zona 4
Tabla 4-6	Materiales Geológicos en la Zona 5
Tabla 4-7	Materiales Geológicos en la Zona 6
Tabla 4-8	Estándares de Descripción de Rocas Obtenidas en Perforaciones en el Área del Canal
Tabla 4-9	Caracterización de Perfil Típico Correspondiente a un Suelo Ultisol
Tabla 4-10	Caracterización de Perfil Típico Correspondiente a un Suelo Aluvial
Tabla 4-11	Caracterización de Perfil Típico Correspondiente a un Suelo de Origen Sedimentario
Tabla 4-12	Caracterización de un Suelo Antrópico en la Región de Sherman
Tabla 4-13	Usos de Suelo en la Zona 1
Tabla 4-14	Usos de Suelo en la Zona 2
Tabla 4-15	Usos de Suelo en la Zona 3
Tabla 4-16	Usos de Suelo en la Zona 4
Tabla 4-17	Usos de Suelo en la Zona 5
Tabla 4-18	Usos de Suelo en la Zona 6
Tabla 4-19	Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de la Costa Atlántica
Tabla 4-20	Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en el Zona de la Costa Atlántica
Tabla 4-21	Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de las Esclusas de Gatún
Tabla 4-22	Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en el Sector de las Esclusas de Gatún
Tabla 4-23	Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona del Lago Gatún
Tabla 4-24	Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en el Sector del Lago Gatún

Tabla 4-25	Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de Corte Culebra
Tabla 4-26	Distribución de Categorías de Capacidad de Uso de Suelos en la Zona de Corte Culebra
Tabla 4-27	Distribución de Categorías de Pendiente en el Zona de las Esclusas del Pacífico
Tabla 4-28	Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en la Zona de las Esclusas del Pacífico
Tabla 4-29	Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de la Costa Pacífica
Tabla 4-30	Distribución de Categorías de Uso de Suelos en la Zona de la Costa Pacífica
Tabla 4-31	Batimetría en Diversas Áreas del Sector Atlántico
Tabla 4-32	Estaciones Hidrometeorológicas Consideradas para el Estudio del Clima
Tabla 4-33	Precipitación Anual Periodo 1996 – 2005 en Estaciones Indicadas
Tabla 4-34	Precipitación Promedio Mensual y Promedio Anual (mm) Periodo 1996 –2005
Tabla 4-35	Temperatura Promedio Anual (°C) Periodo 1996 –2005 en Estaciones Indicadas
Tabla 4-36	Promedio Mensual, Máxima Media y Mínima Media de la Temperatura (°C) Periodo 1996-2005
Tabla 4-37	Humedad Relativa Promedio Mensual y Anual (%) Estación de Limon Bay – Periodo 1996-2005
Tabla 4-38	Humedad Relativa Promedio Mensual y Anual (%) Estación de Gamboa -1996-2005
Tabla 4-39	Humedad Relativa Promedio Mensual y Anual (%) Estación de Balboa -1996-2005
Tabla 4-40	Velocidad Promedio del Viento (km/hr) Estación de Limon Bay - Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-41	Velocidad Máxima del Viento (km/hr) Estación de Gamboa - Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-42	Velocidad Máxima del Viento (km/hr) Estación de Balboa Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-43	Velocidad Promedio del Viento (km/hr) Estación de Limon Bay - Periodo de 2001 – 2005
Tabla 4-44	Velocidad Máxima del Viento (km/hr) Estación de Gamboa - Periodo de 1996 – 2005

Tabla 4-45	Velocidad Máxima del Viento (km/hr) Estación de Balboa FAA - Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-46	Dirección del Viento (grados) Estación de Gamboa – Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-47	Dirección del Viento (grados) Estación de Balboa – Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-48	Radiación Solar Mensual y Anual (Langleys) Estación de Limon Bay- Periodo de 2002 – 2005
Tabla 4-49	Radiación Solar Mensual y Anual (Langleys) Estación de Gamboa –Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-50	Radiación Solar Mensual y Anual (Langleys) Estación de Balboa –Periodo de 1996 – 2005
Tabla 4-51	Medidas Mensuales de la Evapotranspiración Potencial (mm) Estaciones de Limon Bay y de Balboa
Tabla 4-52	Calidad de Agua en Sitios del Área de Cristóbal
Tabla 4-53	Parámetros Químicos y Microbiológicos Registrados para el Lago Gatún (2003-2005)
Tabla 4-54	Parámetros de la NSF para el Índice de Calidad de Agua y Uso Propuesto
Tabla 4-55	Valores Máximos, Mínimos y Medianas de los Parámetros Evaluados y su Comparación con los Valores Guía Afluentes del Lago Gatún – Zona 3
Tabla 4-56	Resultados de Calidad de Agua en Rio Grande y Río Cocolí
Tabla 4-57	Calidad de las Aguas Superficiales de los Ríos Farfán y Velásquez
Tabla 4-58	Plaguicidas en Sedimentos en Concentraciones Elevadas (ug/Kg) Sector Pacífico
Tabla 4-59	Valores Máximos, Mínimos y Promedios de Caudal para Ríos Dentro del Área de Estudio Específico
Tabla 4-60	Sitios de Monitoreo de Calidad de Aire y Parámetros Evaluados Según Estudios Disponibles 1997 – 2007
Tabla 4-61	Metodología de Monitoreo y Análisis de la Calidad del Aire
Tabla 4-62	Resultados de Calidad de Aire
Tabla 4-63	Valores Guías o Normas de Referencia
Tabla 4-64	Estimación de Emisiones Existentes <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> En algunos casos se ajustó la suma total de las emisiones, según el resultado de cada uno de sus componentes individuales.

Tabla 4-65	Distancia de los Puntos de Medición al Proyecto
Tabla 4-66	Niveles de Ruido de Fondo o Ambiental Existentes
Tabla 4-67	Resultados de la Medición de Olores Molestos
Tabla 4-68	Principales Eventos Sísmicos Ocurridos en el Área de Estudio General
Tabla 4-69	Erosión Potencial en la Cuenca del Canal de Panamá

## LISTADO DE FIGURAS

- Figura 4-1 Geología Sector Atlántico
- Figura 4-2 Geología Sector Pacífico
- Figura 4-3 Relieve
- Figura 4-4 Geomorfológico Sector Atlántico
- Figura 4-5 Geomorfológico Sector Pacífico
- Figura 4-6 Usos del Suelo (Atlántico)
- Figura 4-7 Usos del Suelo (Pacífico)
- Figura 4-8 Sitios de Batimetría
- Figura 4-9 Batimetría del Sitio de Depósito Rompeolas Oeste
- Figura 4-10 Batimetría del Sitio de Depósito Palo Seco
- Figura 4-11 Batimetría del Sitio de Depósito Tortolita
- Figura 4-12 Batimetría del Sitio de Depósito Tortolita Sur
- Figura 4-13 Ubicación de las Estaciones Hidrometereológicas y Zonas Climáticas
- Figura 4-14 Rosa de los Vientos
- Figura 4-15 Red Hídrica del Área de Estudio General
- Figura 4-16 Red Hídrica del Sector Atlántico
- Figura 4-17 Red Hídrica del Sector Pacífico
- Figura 4-18 Capacidad Agroecológica Zona 1-2-3
- Figura 4-19 Capacidad Agroecología de Zona 4-5-6
- Figura 4-20 Sitios de Monitoreos de Calidad de Aire y Niveles de Ruidos Zona 1-2-3
- Figura 4-21 Sitios de Monitoreos de Calidad de Aire y Niveles Ruidos Zona 4-5-6
- Figura 4-22 Sitios de Monitoreos de Olores Zonas 1-2-3
- Figura 4-23 Sitios de Monitoreos de Olores Zona 4-5-6

## **4.0 DESCRIPCIÓN DEL AMBIENTE FÍSICO**

En este capítulo se presenta una descripción detallada de las condiciones ambientales actuales o línea base ambiental del componente físico para el Area de Estudio Ambiental (AEA) del Proyecto. Donde resulte aplicable y factible, se realizará la descripción correspondiente considerando las Áreas de Estudio General (AEG), Específico (AEE) y de Impacto Directo (AID) definidas en el capítulo de descripción del Proyecto. Este Capítulo incluye la temática que para el componente físico es requerida según el Decreto Ejecutivo N°209 y en algunos temas en particular se incluyen contenidos adicionales que fueron considerados pertinentes para efectos de explicar mejor la situación existente.

### **4.1 Geología**

La descripción de la línea base geológica presentada a continuación, incluye información de las formaciones geológicas regionales y locales, y los datos tectónicos del área, entre otros.

#### **4.1.1 Metodología**

La caracterización geológica se realizó principalmente en base a la información recopilada de los estudios proporcionados por la ACP y la Cartografía relacionada con el tema obtenida del Mapa Geológico de la Zona del Canal de Panamá (Stewarth, R. H. *Et al.* 1980) proporcionado por la ACP, así como de información obtenida mediante gira de reconocimiento y con la ayuda del Sistema de Información Geográfica de URS Holdings, Inc.

El propósito de esta sección es identificar y describir los eventos geológicos más importantes que han tenido lugar en el área de estudio o cerca de ella. Igualmente, es de interés conocer la disposición estratigráfica de las diferentes formaciones que predominan en el sector y describir el comportamiento tectónico en el área. Finalmente, se considera también de importancia identificar el material geológico que constituyen cada una de las formaciones predominantes que conforman las zonas en las que se ha dividido el Area de Estudio Específico.

#### **4.1.2 Formaciones Geológicas Regionales**

A nivel regional, las investigaciones geológicas del área central de Panamá, dentro de la cuál se encuentra el AEA, han revelado la presencia de una cuenca sedimentaria bien definida. Esta cuenca se extiende desde el Pacífico hasta el Caribe, a través del Istmo, formando una pared interconectada de cuencas delgadas y alargadas.

La cuenca se desarrolló donde grandes fallas desasociaron los bloques tectónicos de Choroteca y Chocó. Los registros estratigráficos de este sector reflejan los eventos geológicos que llevaron a la separación de estos grandes rasgos estructurales.

A pesar de la cantidad de estudios detallados sobre esta área, no existe un acuerdo con respecto a la definición adecuada de ciertas formaciones, especialmente dentro del área de la cuenca del Canal (AEA). El problema se debe, a que ciertos tipos de localidades han sido cubiertas por agua, y otras se han aglomerado en forma de canteras.

La sucesión geológica en el AEA está dominada por rocas sedimentarias (calizas, areniscas, lutitas) y volcánicas (ígneas, extrusivas, basalto y depósitos de caliza), pertenecientes en su gran mayoría al sector del Pacífico. En la Tabla 4-1, se ilustra esta sucesión geológica de manera esquemática para el AEE, según las zonas definidas en el presente EsIA.

**Tabla 4-1**  
**Sucesión Geológica en el AEE**

		Zonas del Area de Estudio Específico*						
GEOCRONOLOGIA		ESTRATIGRAFIA	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
CUAT. (1.6 – actual)	PLEIST. (1.6 – 0.01)	Lamas (Lodos) del Pacífico y del Atlántico	Qa, Qr (1)	Sedimentos Holocenos, no diferenciados – Qa			Disc.	Qa
PLIOCENO (5.3 – 1.6)	Superior	Discontinuidad						
	Inferior	Formación Chagres Tc	Tc	Ausente	Tc	Ausente		
MIOCENO (23 – 5.3)	Superior	Formación Gatún Tg	Tc	Ausente	Tc, Tb (2)	Tb, Td (3)	Tb	Tb, Td
		Tg						
	Medio	Aglomerados Pedro Miguel – Tpa	Ausente			Tpa		Ausente
		Formación Cucaracha Tca	Tg	Ausente	Tca			
		Formación Culebra – Tcb La Boca – Tl	Ausente	Ausente	Ta (4), Tba, (5) Tl, Tica (6), Tv (7)	Teb, Tl, Tica, Tpa	Ta, Tca, Tl,	Tl
	Inferior	Aglomerados Las Cascadas – Tlc	Ausente	Ausente	Tlc			Ausente
Formación Panamá - Tp Facies Marino – Tpm		Tct (8)	Ausente	Tcm (9), Tcr (10), Tcv (11), Tp, Tpm	Tcm, Tct	Ta		
	Superior	Ausente	Ausente	Tbm (12)	Tba	Tp		
Inferior	Ausente	Ausente	Ta, Tbm, Tbo (13), Tp, Tpm	Ausente	Tp			
EOCENO (57.8 – 36.5)	Superior	Formación Gatuncillo Tgo	Ausente	Ausente	Tgo, Tue (14)	Ausente	Ausente	Ausente
	Medio		Ausente	Ausente	Tgo	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: URS Holdings Inc. sobre la base del estudio de Kirby 2005

---

Zona 1: La Costa Atlántica

Zona 2: Esclusas de Gatún

Zona 3: Lago Gatún

Zona 4: Corte Culebra

Zona 5: Esclusas del Pacífico

Zona 6: La Costa Pacífica

#### Notas

- (1) Qr Arrecifes coralíferos Holocenos
- (2) Tb Basalto, Intrusivo y extrusivo, Mioceno medio y superior
- (3) Td Dacita, intrusiva y dacita porfido, Mioceno
- (4) Ta Andesita, intrusiva y extrusiva, Oligoceno y Mioceno inferior
- (5) Tba Formación Bas Obispo, Oligoceno (i) Aglomerado y toba dura
- (6) Tica Andesita, la misma edad que la Fm Las Cascadas, Mioceno Inferior
- (7) Tv Rocas volcánicas no diferenciadas, Mioceno inferior o más antiguas
- (8) Tct Caliza Toro
- (9) Tcm Formación Caimito, arenisca tobácea, lutita tobácea, toba y caliza
- (10) Tcr Formación Caraba, aglomerado dacítico porfiro
- (11) Tcv Formación Caimito, facies volcánicas
- (12) Tbm Formación Bohío, facies marino
- (13) Tbo Formación Bohío, conglomerado basáltico
- (14) Tue Rocas marinas, arenisca y lutita, Eoceno superior
- (15) Valores (entre paréntesis) en dos primeras columnas, representan edad geológica según: Zucol A.F. y M. Brea, 2000. Edades de la Tierra. Centro de Investigaciones Científicas CICYTTP – Diamante, España.

Una sección compuesta generalizada de las unidades estratigráficas, indica que su espesor es de aproximadamente 2,900 m de depósito. La representación de la Tabla 4-1 ha sido preparada en base a datos contenidos en varias publicaciones que reflejan una interpretación aplicada de esta situación compleja.

En este sentido, la unidad estratigráfica más antigua dentro del AEE es la Formación Gatuncillo, que data del Eoceno Medio y Eoceno Superior. Esta formación consiste de depósitos de granos finos con intercalaciones de caliza. Según datos litológicos y paleontológicos presentados por Byy (1970 citado en The Louis Berger Group, 2004), la formación tiene su génesis en un ambiente abisal y batial.

Después de la formación Gatuncillo, sigue en la secuencia estratigráfica la formación Panamá, Oligoceno inferior a superior. Principalmente aglomerado andesítico en tobas de granos finos. Incluye conglomerados depositados por corrientes. En la facies marino, esta misma formación esta constituida por Arenisca tobacea, lutita tobácea, caliza algacea y foraminífera. Lutita arenosa en la parte basal en el sinclinal Quebrancha. Sigue en su orden el Aglomerado las Cascadas, Mioceno inferior. Aglomerado y toba suave de grano fino. Las características de esta formación indican su deposición en aguas de poco a moderadamente profundas.

Seguidamente, continúa la formación Culebra, que es una secuencia marina que contiene esquistos carbonosos, lignitos, piedra fangosa de aluvión y conglomerados. Por su parte, la siguiente formación, denominada La Boca data de inicios del Mioceno. Dicha formación sobresale en un área pequeña del sector Pacífico de Panamá, siendo su contenido litológico muy parecido al de la formación Culebra. Posteriormente, sigue la formación Cucaracha, que contiene arcillas bentónicas masivas, areniscas, conglomerados y flujos de cenizas.

Sigue en la secuencia estratigráfica la formación Pedro Miguel, cuya génesis se produjo durante el Mioceno Superior. Esta formación se entrecruza con la formación La Boca. Es de origen piroclástico, con una textura gruesa que generalmente es dura a medio dura y densa. Está constituida por una sola masa moderadamente unida, de granos finos a gruesos con pequeños fragmentos angulares hasta grandes masas de basalto en una matriz arenosa de conglomerados pequeños, bien cementada con calcita secundaria y algo de zeolita.

Finalmente, para completar las unidades estratigráficas en el AEE, está la formación Gatún, de origen del Mioceno Medio. Esta es la unidad estratigráfica de mayor significado a nivel regional. Está compuesta por una masa de granos medianos a muy finos, calcáreos o margosos, con escasas areniscas conteniendo conglomerados de rocas pequeñas, rocas aluviales y conglomerados menores.

La formación Gatún está cubierta y traslapada parcialmente en el sector Caribe por la formación Chagres del Mioceno-Plioceno, que consiste en areniscas de granos finos y fragmentos de rocas aluviales. La base de la formación Chagres es conocida como Caliza Toro.

El límite adyacente al contacto con formaciones más antiguas consiste en arcilla aluvial de gris a azulada, con capas arenosas. Los depósitos que ocurrieron en áreas salobres contienen conchas abundantes en una matriz orgánica de aluvión negro. La porción de la formación depositada en pantano está compuesta mayormente de material negro, de granos finos, orgánicos, maderas y otras sustancias vegetales semi-descompuestas entremezcladas con aluvión, arcilla plástica débil y suave, gris claro o gris amarillento, sobre depósitos orgánicos. Estas fases se entrecruzan gradualmente de forma lateral y los depósitos son esencialmente horizontales.

El periodo Holoceno se encuentra representado por lodo en el lado Pacífico, gravas del río Chagres en el área central y lodo Atlántico en el sector Caribe. Los lodos del Pacífico y Atlántico son semejantes en apariencia como también en sus propiedades físicas.

El área del Canal se caracteriza por su diversa y compleja composición litológica, la cual se puede dividir en cinco tipos principales de materiales.

- Sedimentos, arcilla, lodo y arena (granulometría fina);
- Grava y arcilla (granulometría gruesa);
- Roca suave con resistencia menor que 15 Mega Pascales (Mpa);
- Roca medio dura con resistencia entre 15 y 50 Mpa; y
- Roca dura con resistencia superior a 50 Mpa.

El área del Atlántico está compuesta por sedimentos, arcilla, lodo y arena. En el área del Pacífico la mayoría del material se considera roca dura, excepto el tapón intermedio, donde la mayor parte del material esta compuesto por los materiales suaves de la formación La Boca.

En el mapa geológico se muestra que en el sector Atlántico (Figura 4-1) las formaciones geológicas dominantes son:

- Los sedimentos, no diferenciados, principalmente aluvión o relleno (Qa) que cubren prácticamente toda la bahía de Limón;

- La Formación Gatún (Tg), que consiste de arenisca, lutita, toba y conglomerado, que cubre el área de Gatún; y
- La Caliza Toro (Tct), que es el miembro basal de formación Arenisca Chagres. Esta es de menor extensión y se ubica cerca del antiguo Canal Francés.

En tanto que, entre las dominantes para el sector Pacífico (Figura 4-2) se encuentran:

- La formación La Boca (TI), que consiste en esquistos arcillosos, lutita, arenisca, toba y caliza;
- La formación Chagres (Tb), compuesta por rocas intrusivas, extrusivas y volcánicas como basalto intrusivo y extrusivo; y
- La formación Cucaracha (Tca), arcilla laminada bentonítica, arcilla laminada carbonífera y en la parte inferior una capa delgada de ignimbrita.

### **4.1.3 Unidades Geológicas Locales**

La geología local presentada a continuación ha sido identificada para cada una de las seis zonas del Área de Estudio Específico y del Área de Impacto Directo. Las Tablas que se presentan en las siguientes secciones describen los materiales geológicos que conforman las diferentes zonas que componen el Área de Estudio Específico y que eventualmente podrían estar expuestas a los impactos directos e indirectos generados como consecuencia de la construcción de las obras del Proyecto de Ampliación del Canal.

#### **4.1.3.1 La Costa Atlántica**

La Costa Atlántica, (Zona 1) está compuesta por cinco unidades o formaciones geológicas, de las cuales las de mayor representatividad en el AEE son la Qa (Sedimentos Diferenciados) y la Qr (Arrecifes Coralinos), mientras que para el AID, la Formación dominante es la Qa (Figura 4-1). La Zona de la Costa Atlántica está constituida por los siguientes materiales geológicos:

**Tabla 4-2**  
**Materiales Geológicos en la Zona 1**

<b>Formación</b>	<b>Unidad Geológica</b>	<b>Período</b>	<b>Epoca</b>	<b>Estratotipos</b>
Sin Nombre	Qa	Cuaternario	Holocenos	Sedimentos no diferenciados, principalmente aluvi3n o relleno
Sin Nombre	Qr	Cuaternario	Holocenos	Arrecifes Coralíferos
Arenisca Chagres	Tc	Terciario	Mioceno superior o Plioceno inferior	Arenisca Maciza, generalmente de grano fino
Formación Gatún	Tg	Terciario	Mioceno medio	Arenisca, Lutita, Toba y Conglomerado
Caliza Toro	Tct	Terciario	Oligoceno superior	Coquina. Miembro basal de formación Arenisca Chagres.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.1.3.2 Esclusas de Gatún

La Zona 2, definida como las Esclusas de Gatún (Figura 4-1), contiene dos formaciones geológicas, siendo la formación Gatún (Tg) la de mayor presencia dentro del AEE, en tanto que la Qa (Sedimentos Diferenciados) ocupa la mayor superficie dentro del AID, seguida por la formación Gatún (Tg). A continuación se presentan los materiales geológicos que las componen:

**Tabla 4-3**  
**Materiales Geológicos en la Zona 2**

<b>Formación</b>	<b>Unidad Geológica</b>	<b>Período</b>	<b>Epoca</b>	<b>Estratotipos</b>
Sin Nombre	Qa	Cuaternario	Holocenos	Sedimentos, no diferenciados, principalmente Aluvi3n o Relleno
Formación Gatún	Tg	Terciario	Mioceno medio	Arenisca, Lutita, Toba y Conglomerado

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.1.3.3 Lago Gatún

La Zona 3, o Lago Gatún (Figura 4-1), es una de las más diversas desde el punto de vista geológico, ya que está constituida por 15 unidades o formaciones Geológicas; siendo, dentro del AEE, la formación Caimito (Tcm) la de mayor representatividad. Seguida de ésta, se encuentran las formaciones Bohío (Tbo) y Gatún (Tg). Para el AID la formación Gatún (Tg) y Bohío (Tbo) ocupan la mayor superficie. Esta zona contiene los materiales geológicos indicados en la Tabla 4-4 a continuación.

**Tabla 4-4**  
**Materiales Geológicos en la Zona 3**

<b>Formación</b>	<b>Unidad Geológica</b>	<b>Período</b>	<b>Epoca</b>	<b>Estratotipos</b>
Sin Nombre	Qa	Cuaternario	Holocenos	Sedimentos, no diferenciados, principalmente Aluvión o Relleno
Sin Nombre	Tb	Terciario	Mioceno medio y superior	Rocas Intrusitas, Extrusivas y Volcánicas como Basalto Intrusito y Extrusivo.
Formación Bohío, Facies Marina	Tbm	Terciario	Oligoceno inferior a superior	Facies marino, Arenisca calcárea y conglomerado con guijarros pequeños
Formación Bohío	Tbo	Terciario	Oligoceno inferior a superior	Conglomerado principalmente basáltico y arenisca (grauvaca)
Formación Culebra	Tba	Terciario	Mioceno inferior	Arenisca Calcárea y Lutita Calcárea
Formación Caimito	Tcm	Terciario	Oligoceno superior	Arenisca Tobácea, Lutita Tobácea, toba y caliza foraminífera
Formación Caraba	Tcr	Terciario	Oligoceno superior	Principalmente aglomerado de dacítico pórfirico. En área tipo, conglomerado, Arenisca calcárea y caliza, ambas fosilíferas
Formación Cimito	Tcv	Terciario	Oligoceno superior	Facies volcánicas, Aglomerado y Grauvasca tobácea

<b>Formación</b>	<b>Unidad Geológica</b>	<b>Período</b>	<b>Epoca</b>	<b>Estratotipos</b>
Formación Gatún	Tg	Terciario	Mioceno medio	Arenisca, Lutita, Toba y Conglomerado
Formación Gatuncillo	Tgo	Terciario	Eoceno medio a superior	Esquisto arcilloso, Lutita, Arenisca de Cuarzo, Caliza Algácea y foraminífera
Formación Las Cascadas	Tlc	Terciario	Mioceno inferior	Aglomerado y toba suave de grano fino
Sin Nombre	Tica	Terciario	Mioceno inferior	Rocas Intrusivas, Extrusivas y Volcánicas andesita, la misma edad de Formación Las Cascadas, Mioceno Inferior
Sin Nombre	Pt	Terciario	Cretaceo	Anti-Terciario. Lavas y tobas basálticas y andesíticas alteradas. Incluye rocas intrusivas dioríticas y dacíticas.
Sin Nombre	Tue	Terciario	Eoceno superior	Rocas Marinas, Eoceno Superior. Arenisca y lutita
Sin Nombre	Tv	Terciario	Mioceno inferior	Rocas volcánicas no deiferenciadas, generalmente Mioceno inferior o más viejo.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.1.3.4 Corte Culebra

La Zona 4, denominada también como Corte Culebra (Figura 4-2), está conformada por 10 Unidades Geológicas, de las cuales se presentan como las de mayor ocupación dentro del AEE las formaciones La Boca (TI) y Tb (Basalto Intrusivo y Extrusivo). Para el AID, se tienen como las de mayor representación a las formaciones La Boca (TI), Cucaracha (Tca) y Tb (Basalto Intrusivo y Extrusivo). En la Tabla 4-5 se muestran los materiales geológicos que predominan en esta zona.

**Tabla 4-5**  
**Materiales Geológicos en la Zona 4**

<b>Formación</b>	<b>Unidad Geológica</b>	<b>Período</b>	<b>Epoca</b>	<b>Estratotipos</b>
Sin Nombre	Qa	Cuaternario	Holocenos	Sedimentos, no diferenciados, principalmente Aluvión o Relleno;
Sin Nombre	Tb	Terciario	Mioceno medio y superior	Rocas Intrusitas, Extrusivas y Volcánicas como Basalto Intrusito y Extrusivo.
Formación Bas Obispo	Tba	Terciario	Oligoceno	Aglomerado y toba dura
Formación Cucaracha	Tca	Terciario	Mioceno inferior	Arcilla Laminada bentonítica, Arcilla Laminada Carbonífera y en la parte inferior una capa delgada de ignimbrita
Formación Culebra	Tcb	Terciario	mioceno inferior	Arenisca calcárea y lutita calcárea
Sin Nombre	Td	Terciario	Mioceno	Dacita, intrusiva y dacita pórfido
Formación La Boca	TI	Terciario	Mioceno inferior	Esquisto arcilloso, Lutita, arenisca, toba y caliza
Formación Las Cascadas	Tic	Terciario	Mioceno inferior	Aglomerado y toba suave de grano fino;
Sin Nombre	Tica	Terciario	Mioceno inferior	Rocas Intrusivas, Extrusivas y Volcánicas andesita, la misma edad de Formación Las Cascadas
Formación Pedro Miguel	Tpa	Terciario	Mioceno inferior	Aglomerado, grano fino a grueso.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.1.3.5 Esclusas del Pacifico

En la Zona 5 o Esclusas del Pacifico (Figura 4-2), se encuentran siete formaciones Geológicas, de las cuales la formación Tb (Basalto Intrusito y Extrusivo) domina el AEE, mientras que las

formaciones Tb (Basalto Intrusivo y Extrusivo) y Pedro Miguel (Tpa) son las más representativas para el AID. En ellas se encuentran los siguientes materiales geológicos:

**Tabla 4-6**  
**Materiales Geológicos en la Zona 5**

<b>Formación</b>	<b>Unidad Geológica</b>	<b>Período</b>	<b>Epoca</b>	<b>Estratotipos</b>
Basalto	Ta	Terciario	Oligoceno y Mioceno inferior	Rocas intrusivas, extrusivas y volcánicas. Andesita intrusiva y extrusiva.
Sin Nombre	Tb	Terciario	Mioceno medio y superior;	Rocas Intrusitas, Extrusivas y Volcánicas como Basalto Intrusivo y Extrusivo.
Formación Cucaracha	Tca	Terciario	Mioceno inferior	Arcilla Laminada bentonítica, Arcilla Laminada Carbonífera y en la parte inferior una capa delgada de ignimbrita;
Formación La Boca	TI	Terciario	Mioceno inferior	Esquisto arcilloso, Lutita, arenisca, toba y caliza;
Formación Las Cascadas	Tic	Terciario	Mioceno inferior	Aglomerado y toba suave de grano fino
Formación Panamá	Tp	Terciario	Oligoceno inferior a superior	Principalmente aglomerado generalmente andesítico en tobas de grano fino. Incluye conglomerados depositados por corrientes
Formación Pedro Miguel	Tpa	Terciario	Mioceno inferior	Aglomerado, grano fino a grueso.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.1.3.6 La Costa del Pacífico

La Zona 6, denominada La Costa Pacífica, está constituida por seis formaciones geológicas, siendo la formación La Boca (TI), la dominante tanto para el AEE como para el AID (Figura 4-2). Las siguientes formaciones se encuentran en esta zona:

**Tabla 4-7**  
**Materiales Geológicos en la Zona 6**

<b>Formación</b>	<b>Unidad Geológica</b>	<b>Período</b>	<b>Epoca</b>	<b>Estratotipos</b>
Sin Nombre	Qa	Cuaternario	Holocenos	Sedimentos, no diferenciados, principalmente aluvi3n o relleno.
Sin Nombre	Ta	Terciario	Oligoceno y Mioceno inferior	Rocas intrusivas, extrusivas y volcánicas. Andesita intrusiva y extrusiva.
Sin Nombre	Tb	Terciario	Mioceno medio y superior	Rocas Intrusitas, Extrusivas y Volcánicas como Basalto Intrusito y Extrusivo.
Sin Nombre	Td	Terciario	Mioceno	Dacita, intrusiva y Dacita pórfido.
Formación La Boca	TI	Terciario	Mioceno inferior	Esquisto arcilloso, Lutita, arenisca, toba y caliza.
Formación Panamá	Tp	Terciario	Oligoceno inferior a superior	Principalmente aglomerado generalmente andesítico en tobas de grano fino. Incluye conglomerados depositados por corrientes.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### **4.1.4 Recursos Paleontológicos**

Las formaciones rocosas expuestas a lo largo del Canal de Panamá contienen un registro fósil rico y diverso, que incluyen organismos terrestres, entre los que se encuentran mamíferos, reptiles y plantas. También existen depósitos de fósiles de organismos marinos, los que constan de foraminíferas, algas coralinas, corales, crustáceos, moluscos y equinodermos. Dicha fauna y las rocas que la contienen fueron inicialmente expuestas durante la construcción del Canal de Panamá entre 1904 y 1914 (Vaughan, 1919<sup>a</sup>). El posterior ensanchamiento del Canal de Panamá en los últimos cien años ha seguido exponiendo afloramientos que contienen esta diversa flora y fauna (Woodring, 1957-1982; Whitmore y Stewart, 1965; Blacut y Kleinpell, 1969; Johnson y Kirby, 2006).

Con el fin de determinar el potencial paleontológico en la cuenca del Canal de Panamá, Kirby (2005) realizó una evaluación de dicho recurso en dos áreas a lo largo del Canal; en el área Sur que contiene las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha, Pedro Miguel y los sedimentos no consolidados de la Lama del Pacífico, abarcando las siguientes zonas dentro del Área de Estudio Específico; Corte Culebra, Esclusas del Pacífico y La Costa Pacífica del AEE; y el área Norte, la cual está conformada por la formación Gatún y los sedimentos no consolidados de la Lama del Atlántico y se encuentra incluida en las zonas La Costa Atlántica y Esclusas de Gatún, dentro del Área de Estudio Específico. A continuación se presentan los resultados obtenidos por Kirby (2005) en cada una de las formaciones y se determina el potencial de las misma para contener fósiles.

- **Formación La Boca**

La formación La Boca es muy fosilífera, encontrándose en la misma abundantes fósiles de bivalvos, gastrópodos, decápodos y plantas. Se identificaron 16 sitios de fósiles en el área Sur, cinco de estos sitios están en la superficie y 11 se encuentran bajo superficie. Igualmente, se reporta la existencia de fósiles marinos, incluyendo un diente de tiburón.

Teniendo como referencia la revisión bibliográfica, entrevistas y las evaluaciones de campo, ha quedado demostrado que la formación La Boca es muy fosilífera, con presencia de fósiles vertebrados, invertebrados y plantas; determinándose de esta manera que dicha formación tiene un alto potencial paleontológico, es decir, altas probabilidades de contener fósiles. El incremento de muestreos, en sitios donde se ubica la formación La Boca, tanto en la superficie como bajo la misma, tendrá una alta probabilidad de contener fósiles.

- **Formación Culebra**

Para la formación Culebra se reporta la presencia de abundantes fósiles de bivalvos, gastrópodos, decápodos y plantas, además de fósiles de mamíferos terrestres, específicamente cf. *Merycochoerus matthewi* (artiodactilo ancestral perteneciente a la familia extinta Oreodontidae). Asimismo, también se han reportado fósiles marinos en la formación Culebra y encontrado hasta una mandíbula de cocodrilo. Cabe mencionar que, en dicha formación se han identificado dos sitios de fósiles.

Teniendo como referencia la revisión bibliográfica, entrevistas y las evaluaciones de campo; se ha evidenciado que la formación Culebra es muy fosilífera, con invertebrados, plantas y vertebrados, incluso mamíferos terrestres; determinándose que dicha formación tiene un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en el área Sur del área de ampliación.

- **Formación Cucaracha**

La formación Cucaracha es altamente fosilífera. En la formación Cucaracha se han encontrado fósiles de mamíferos terrestres, entre ellos un molar grande de rinoceronte de la especie *Floridaceras whitei*. También se ha reportado la presencia de gastrópodos no marinos (*Hemisinus* aff. *H. Oeciscus*) y de fósiles de *Paratoceras wardi* (artiodactilo ancestral perteneciente a la familia extinta Protoeratidae); igualmente se han recolectado restos de rinocerontes, caballos y otros mamíferos grandes de la formación Cucaracha.

El reconocimiento de campo permitió encontrar 10 sitios con fósiles en el área de la formación Cucaracha. Siete de dichos sitios están presentes en la superficie y otros tres se localizan bajo superficie. Puesto que tanto la revisión bibliográfica como las entrevistas y las evaluaciones de campo muestran que la formación Cucaracha contiene mamíferos terrestres, reptiles, invertebrados y plantas, se ha determinado que esta formación tiene un alto potencial paleontológico de contener fósiles adicionales en el área Sur de ampliación.

- **Formación Pedro Miguel**

La formación Pedro Miguel no es fosilífera. No se ha reportado la presencia de fósiles en esta formación, ni durante las evaluaciones de campo ni tampoco a través de estudios previos. Las entrevistas también corroboran que no ha habido ningún descubrimiento de fósiles hasta la fecha. Dado que tanto la revisión bibliográfica como las entrevistas y las evaluaciones de campo muestran que la formación Pedro Miguel no es fosilífera, se ha determinado que esta formación tiene un bajo potencial paleontológico, es decir, pocas probabilidades de contener fósiles.

- **Formación Gatún**

La formación Gatún es muy fosilífera. Estudios previos han encontrado una variedad de fósiles, desde organismos microscópicos (foraminíferas) hasta moluscos grandes, lo que indica una rica

historia de descubrimiento de fósiles en esta formación a contar de finales del siglo XIX (Conrad, 1855; Gabb, 1881; Brown y Pilsbry, 1911, 1913; Woodring, 1957-1982; Van den Bold, 1967; Graham, 1991<sup>a</sup>, 1991<sup>b</sup>, 1991<sup>c</sup>; Collins y Coates, 1999). A través de las evaluaciones realizadas se encontraron abundantes fósiles de bivalvos y gastrópodos en esta formación. Asimismo, los estudios de campo permitieron la identificación de 26 sitios con fósiles, de los cuales cuatro están presentes en la superficie y 22 en la sub-superficie. Perforaciones realizadas con anterioridad a esta evaluación, reportan la existencia de fósiles marinos e indican, además que, los nautiloides pueden ser abundantes en la formación Gatún.

Dado que tanto la revisión bibliográfica, las entrevistas y las evaluaciones de campo muestran que la formación Gatún es muy fosilífera, con relación a vertebrados e invertebrados marinos, se ha determinado que dicha formación tiene un alto potencial paleontológico de contener fósiles.

- **Lama del Pacífico y Lama del Atlántico**

En las dos áreas de evaluación (Sur y Norte) existen depósitos no consolidados de edad Cuaternaria. La Lama del Pacífico se ubica en el área de evaluación Sur y la Lama del Atlántico se ubica en el área de evaluación Norte. Las evaluaciones de campo no lograron determinar si esas unidades contienen fósiles, pero la investigación bibliográfica determinó que durante la construcción del Canal de Panamá se encontraron a nivel local ostras, otros moluscos y material vegetal (Dall, 1912; Brown y Pilsbry, 1913). Se desconoce la edad precisa de estos sedimentos, pero es posible que daten del Pleistoceno.

Como la revisión bibliográfica sugiere que fósiles del Cuaternario pueden encontrarse presentes en la Lama del Pacífico y Lama del Atlántico, se ha determinado que estos depósitos tienen un alto potencial paleontológico de contener fósiles. Aunque no se han encontrado mamíferos terrestres en estos depósitos, depósitos similares en otros lugares han producido mamíferos terrestres del Pleistoceno (Gazin, 1957; Pearson, 2005).

A manera de conclusión, Kirby (2005) determinó que las formaciones La Boca, Culebra, Cucaracha, Gatún y la Lama del Atlántico y la Lama del Pacífico presentan un alto potencial de contener recursos paleontológicos. Además, dicho autor logró identificar 52 sitios con fósiles,

16 de estos eran sitios de superficie y 36 de sub-superficie. Finalmente, resulta de interés mencionar que se encontraron 408 especímenes fósiles, incluyendo 178 vertebrados (mamíferos terrestres y reptiles), 213 invertebrados (bivalvos, gastrópodos, decápodos, percebes y foraminífera), y 17 ejemplares de plantas (palma, madera petrificada, manglares, semillas y raíces).

#### **4.1.5 Caracterización Geotécnica**

La geotecnia, es una nueva ciencia de la geología que se encarga de estudiar el comportamiento de las rocas y de los suelos expuestos a cualquier obra civil. La geotecnia, determinará la estabilidad, resistencia y viabilidad de estos materiales ante la construcción de una obra de desarrollo.

Dentro de este marco, se presenta en este EsIA para el Proyecto de la Ampliación del Canal, las características geotécnicas de algunas de las formaciones geológicas presentes en el Área de Estudio Específico (AEE). Dichas formaciones fueron escogidas para ser caracterizadas debido a que se encuentran en sitios de interés seleccionados para la construcción de obras civiles que incluyen; la construcción de cuatro nuevas presas del lado Pacífico, así como la construcción de las nuevas esclusas de Miraflores y Pedro Miguel. La referida caracterización geotécnica, está localizada dentro del AEE en las zonas Corte Culebra (Zona 4) y Esclusas del Pacífico (Zona 5). Exploraciones geológicas y geotécnicas realizadas en dicha área, indican que entre los materiales más abundantes encontrados se incluyen un basalto fuerte y variablemente fracturado y en menores cantidades rocas sedimentarias débiles.

A continuación se describen las características geotécnicas de las formaciones geológicas exploradas y en la Tabla 4-8 se muestran los estándares utilizados en la descripción de las rocas. La ubicación de estas formaciones, respecto a las zonas de estudio específico, fue presentada en la sección 4.1.3.

- **Basalto**

El basalto se presenta como una roca de dureza mediana a muy fuerte (RH-3 a RH-5). La textura de esta roca es típicamente fina-granulada y contiene textura porfírica (grandes cristales en una fina masa de tierra). El basalto incluye gabro y diabasa. El basalto es vesicular (presencia de gas en las cavidades formadas) con zeolitas presentes como relleno a lo largo de venas. El basalto se presenta como 1) roca compacta; 2) roca unida en forma de columna y 3) roca altamente fracturada.

En general, la calidad de la roca de basalto es buena. La resistencia máxima a la compresión (UCS) de esta roca, sobrepasa un promedio aproximado de 55 Mpa, y posee una gravedad media específica de aproximadamente 2.73. Resulta improbable que el basalto sea afectado por el aire, la humedad u otros cambios geoquímicos. De igual manera, el basalto puede ser fracturado y unido a una variedad de grados, pudiendo de esta manera, ser fragmentada la roca en un amplio rango de tamaños. Además, también puede ser desmenuzada y cubierta para producción de materiales de arena y grava. El basalto puede romperse en partículas de forma angular y mantener la durabilidad, asimismo su resistencia de abrasión, al sulfato y su reacción alcalina son consideraciones para el empleo de esta roca como material para agregado de concreto.

- **Formación La Boca**

Dicha formación está constituida por un ensamblaje sedimentario que contiene un amplio rango de tipos de rocas. La formación contiene arenisca, limonita, aglomerados y toba. La dureza de la roca de esta formación varía de muy suave a moderadamente fuerte (RH-1 a RH-3). La Boca, está conformada por capas sedimentarias bien aplanadas. El lecho conformado por arenisca, tiende a ser masivas exposiciones en forma de repisa. Los intervalos más competentes de esta formación, contienen numerosas capas unidas. Por su parte, las capas de limonita se encuentran laminadas y meteorizadas en pequeños fragmentos, mientras que la arenisca se rompe en bloques con esquinas y bordes bien redondeados. Alteraciones hidrotermales han afectado mucho esta formación, por lo que la misma contiene un alto porcentaje de minerales de arcilla, los cuales son mayormente montmorilonita e ilmenita.

Las rocas relativamente suaves (arenisca, lutita, pizarra y toba) dentro de La Boca, son predominantemente de grano fino. Los tipos de suelo típicos incluyen la arena arcillosa, la arena cenagosa, el lúgamo y la arcilla. La limonita y la arenisca, tienden a ser afectadas por el aire y las condiciones del tiempo, cuando éste último alterna de manera rápida de húmedo a seco. La formación, podría producir variaciones entre los porcentajes de la mezcla de materiales fuertes y suaves, debido a su carácter aplanado.

- **Formación Pedro Miguel**

La formación Pedro Miguel contiene una unidad superior de aglomerados y un estrato inferior de limonita y arenisca. El aglomerado está cubierto por el basalto. El contacto entre el aglomerado y el basalto que lo cubre aparece como transicional, ya que parte del aglomerado se puede encontrar sobre el basalto. El aglomerado es principalmente una unidad de roca dura, conformada por fragmentos de basalto y localmente contiene material parecido a un suelo, además de arcilla relleno los espacios entre los fragmentos de basalto. El desgaste de las cortezas se desarrolla típicamente sobre los fragmentos del basalto, los cuales están rodeados por fracturas altamente irregulares.

El aglomerado abarca un estrato de limonita y arenisca que incluye varias decenas de metros de espesor. La limonita es una roca débil de dureza suave a moderada (RH-1). La arenisca también es una roca de moderada dureza con cementación local. El estrato de grano fino de la formación Pedro Miguel es una transición lateral a la formación La Boca.

El aglomerado probablemente produce fragmentos menos consistentes que los originados por la formación Basalto, mencionada anteriormente. Asimismo, la fuerza de los aglomerados es más variable, debido a su desgaste variable y alteración.

Los materiales piroclásticos de los aglomerados son generalmente sólidos y fuertes, pero los aglomerados tienden a romperse en fragmentos redondeados, similar a los generados por un alto porcentaje de materiales residuales debido a un desgaste penetrante y a la alteración. El material podría romperse a tal grado que incidiría en la colocación y compactación.

- **Formación Cucaracha**

La formación Cucaracha está conformada en gran parte de pizarra arcillosa débil. El estrato medio de la formación contiene toba volcánica que cambia a minerales de arcilla. Los minerales de arcilla son bentónicos como consecuencia de la alteración hidrotermal de las cenizas volcánicas. Estudios granulométricos de laboratorio realizados indican que estos materiales son principalmente limos plásticos y limos plásticos arenosos, con arcilla de alta plasticidad y en menor cantidad arena cenagosa. El contenido de arcilla en pizarras de arcilla, y limonita se encuentra en un rango superior al 50 %. El límite líquido es de aproximadamente 50 a 60 %, y el límite de plasticidad entre 25 y el 40 %. Las pizarras de arcilla y la limonita, pueden romperse en materiales predominantemente de grano fino, los cuales podrían ser difíciles de manipular durante la estación lluviosa, debido al contenido de bentos de la formación Cucaracha.

- **Unidades Superficiales**

El suelo relativamente grueso, se ha formado localmente sobre el basalto y los aglomerados. El suelo del basalto tiene una consistencia de arcilla sumamente plástica, conteniendo variablemente fragmentos desgastados de basalto. El desgaste de los fragmentos de basalto se encuentra dentro de un rango desde capas desgastadas hasta fragmentos completamente desgastados con alguna textura de roca (saprolita). El rango de consistencia va desde suave hasta firme. La porción superior de la formación La Boca, está también desgastada, y consiste en arcilla, sedimentos y arena de grano fino. La consistencia puede ser media a alta, con la plasticidad moderada. El material sedimentario desgastado es descrito en la zona como residual y saprolítico; el material que comprende el perfil de desgaste típicamente es descrito como “sobrecarga”.

La roca desgastada y el suelo residual, serían difíciles de segregar durante una clasificación. Los suelos residuales desarrollados del basalto y de los aglomerados, son principalmente de arcilla sumamente plástica. Estos materiales pueden ser difíciles de manipular en la estación lluviosa. El trabajo sobre este material requerirá del retiro de los fragmentos de basalto contenidos dentro de la arcilla para mejorar la compactación y la calidad del mismo.

**Tabla 4-8**  
**Estándares de Descripción de Rocas Obtenidas en**  
**Perforaciones en el Área del Canal**

Dureza	Prueba de Campo	Resistencia	UCS kg/cm <sup>3</sup>	UCS <sup>2</sup> Lb/plg <sup>2</sup>	UCS Mpa/PLT <sup>3</sup> Index (Is)
Suave o Muy Suave <b>RH-1</b>	No se desmenuza con las manos, pero se pica fácilmente con el pico del martillo.	Muy débil a débil	10-250	142-3,555	0.98-24.5 (Is<1) RO<1 R1-1-5 R2-5-25
Moderadamente Suave <b>RH-2</b>	Se pica con martillazos leves (pico), se corta fácilmente con el cuchillo.	Débil a moderadamente fuerte	250-500	3,555-7,111	24.5-49 (Is=1-2) R3-25-50
Moderadamente Dura <b>RH-3</b>	Se pica con martillazos moderados, difícil de cortar con cuchillo.	Moderadamente fuerte a fuerte	500-1,000	7,111-14,223	49-98 (Is=2-4) R4-50-100
Dura <b>RH-4</b>	No se pica con el martillo, se fragmenta con golpes moderados de la parte plana del martillo.	Fuerte a muy fuerte	1,000-3,000	14,223-28,477	98-196 (Is=4-8) R5-100-250
Muy Dura <b>RH-5</b>	Se fragmenta con golpes fuertes de la parte plana del martillo	Muy fuerte	> 3,000	> 28,477	>196 (Is>8) R6>250

Fuente: ACP estándar de dureza y resistencia usadas en las descripciones geológicas comparadas con la clasificación de resistencia del Canadian Foundation Engineering Manual, 1992 Adaptado IPIG – 2004 para el Programa de Control de Derrumbes

#### 4.1.6 Tectónica

En el golfo de Panamá hay nueve (9) fallas de cabalgadura hacia el Oeste que se extienden paralelas al Archipiélago de Las Perlas con un choque de NNW-SEE, las cuales parecen ser activas debido a que el suelo marino se curva hacia el Sureste del archipiélago (Cowan, 2001).

Basados en datos geofísicos y pautas topográficas y de fallas, algunos autores han propuesto que hay una frontera tectónica que corta a la mitad el istmo de Panamá, corre con una orientación

<sup>2</sup> UCS = Unconfined Compressive Strength ó Resistencia Máxima a Compresión.

<sup>3</sup> PLT = Point Load Test ó Prueba de Carga Puntual.

NNO-SSE y ha llevado el nombre de Discontinuidad del Canal o la Zona de Fractura Gatún (Case 1974; Lowrie *et al.* 1982). Se cree que los rastros de la deformación vinculada con esta discontinuidad siguen hasta el mar en el Cinturón Deformado Panamá del Norte (Vitali *et al.* 1985). Estudios recientes de Schweig *et al.* (1999) y Cowan (2001) no han encontrado ninguna indicación geológica ni geofísica de que exista aquella estructura y sugieren que si existe, tiene que tener más de 3-5 millones de años, ya que sedimentos encontrados con edades iguales o menores a esa, no han demostrado ninguna evidencia de deformación.

Corrigan y Mann (1985, 1990), han sugerido que las fallas en esta región son discontinuadas normales, ubicadas entre las direcciones N 40° E y N 70° E; con algunas de las fallas, como la falla del río Gatún, demostrando un componente de rumbo. La falla Gatún es la más importante de estas fallas. Es activa pero produce un nivel de microsismicidad muy bajo. Estudios geológicos y paleo-sismológicos de campo, (Schweig *et al.* 1999), sugieren que esta es una falla normal con rumbo sur y que el evento máximo originado en esta falla es un M6.8 con un plazo repetitivo de entre 10,000 y 20,000 años. Usando la reflexión sísmica Pratt *et al.* (1996, 1999), encontraron una falla de rumbo activa con una tendencia N-S, dentro de 5 km. De la represa Gatún en la parte Sur de la bahía de Limón. (Figura 4-1).

Con relación a las fallas presentes en el área del Proyecto, se tiene que el Área de Estudio General (AEG) es atravesada por cuatro (4) fallas principales que son la falla Río Gatún, Caballo, Limón y la falla Azota, las cuales se localizan hacia el sector Este del AEG (Figura 4-1). Mientras que hacia el Área de Estudio Específico (AEE), en la Zona del Lago Gatún, se adentra una prolongación de la falla Azota y se presentan además algunas pequeñas fallas sin nombrar (Figura 4-1). Para las zonas de Corte Culebra y Esclusas del Pacífico, incluidas en el AEE, se han identificado las fallas Río Pedro Miguel y Miraflores, así como también una serie de fallas sin nombrar (Figura 4-2).

## **4.2 Geomorfología**

La caracterización geomorfológica del AEA (cuenca del Canal) se realizó fundamentalmente en base a la información recopilada de los estudios realizados por la ACP y de la cartografía

relacionada con el tema, obtenida del Mapa Geomorfológico contenido en el Atlas Nacional de la República de Panamá (Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia, 1988), y de la base de datos SIG proporcionada por la ACP.

La región se caracteriza por tener numerosas colinas de forma cónica. Las fallas y dobleces juegan un papel secundario en la configuración del paisaje. Se encuentran patrones de drenaje bien desarrollados y agudamente definidos, a pesar que su edad geológica es comparativamente reciente.

De otra manera, donde está la transición del drenaje entre formaciones duras y suaves, existe una notable ampliación de los valles y una nivelación de los perfiles de los ríos y quebradas. Después del cierre del periodo de actividad volcánica intensa a inicios del Mioceno, cuatro movimientos formadores de continentes tuvieron lugar y los intervalos erosivos y deposicionales resultantes crearon las masas de tierra presente.

En el primer movimiento la porción central del Istmo fue elevada más allá de las líneas costeras y el plano combado resultó en un área profundamente disectada, principalmente en el interior que cerca de las costas del Pacífico y el Atlántico. La morfología actual del área fue desarrollada mayormente durante este periodo, al igual que la gran variedad de masas de tierras observables en las porciones Central y Pacífico. Un segundo movimiento elevó el terreno a más de 90 m en el área Atlántica.

Mientras estos valles aún eran comparativamente jóvenes, con pendientes muy pronunciadas con riscos, la superficie del terreno entró en una tercera etapa de movimiento, la cual fue un lento asentamiento. En algunas instancias, las partes más bajas fueron invadidas por el mar, como atestiguan las capas de depósito marino con lechos estrictamente fluviales en el lodo del Atlántico, basado en los fósiles marinos. Este periodo de sumergencia puede ser asignado al Pleistoceno.

El cuarto y último movimiento fue el de surgimiento de valles rellenos de sedimentos y líneas costeras; los depósitos de lodo o depósitos orgánicos fueron traídos a su nivel actual de unos

cuantos metros sobre la marea, y las islas del sector Pacífico fueron llevadas a su actual elevación.

#### **4.2.1 Geomorfología Local**

El AEA está constituida básicamente por rocas sedimentarias e ígneas, distribuidas las ígneas hacia la parte central y las sedimentarias en los extremos Caribe y Pacífico de la Cuenca. El relieve que predomina en este sector es el de regiones bajas y planicies litorales, cerros y colinas y la región de montañas. El relieve para el área de estudio se muestra en la Figura 4-3. A continuación se presenta la descripción de la geomorfología local de cada una de las zonas que conforman el Área de Estudio Específico.

##### **4.2.2.1 La Costa Atlántica**

La Costa Atlántica o Zona 1 se caracteriza por la presencia de formaciones del periodo cuaternario reciente actual y del periodo terciario (Figura 4-4).

La mayor parte de la Zona 1, está conformada por formaciones del periodo terciario, siendo estas rocas sedimentarias, valles y planicies aluvio coluviales, principalmente al Este del canal de navegación, mientras que en dirección Suroeste se encuentran rocas ígneas extrusivas y relieves residuales de planalto.

Del periodo cuaternario reciente se encuentran en las zonas costeras formaciones de costa baja arenosa y superficies de abrasión marina. Ambos extremos costeros, Este y Oeste, de la entrada Atlántica del canal de navegación, presentan cordones litorales y flechas.

El relieve de la zona es propio de regiones bajas y planicies litorales.

#### 4.2.2.2 Esclusas de Gatún

En la Zona de las Esclusas de Gatún, o Zona 2, se encuentran principalmente formaciones del periodo terciario, conformadas por rocas sedimentarias, valles y planicies aluvio coluviales (Figura 4-4).

Al igual que en la zona precedente, el relieve es propio de regiones bajas y planicies litorales.

#### 4.2.2.3 Lago Gatún

La Zona 3, Lago Gatún, es la que presenta formaciones de mayor antigüedad, incluyendo del periodo pre-terciario (Figura 4-4). En esta área existen formaciones de rocas ígneas extrusivas del periodo pre-terciario; rocas sedimentarias, valles y planicies aluvio – coluviales del periodo terciario; rocas ígneas extrusivas y relieves residuales también del periodo terciario; glaciares o explanadas del cuaternario antiguo y medio; y en menor proporción, hacia el Sureste de la zona, superficies de erosión y rocas sedimentarias del periodo terciario.

El relieve de la zona es propio de regiones bajas y planicies litorales, encontrándose también algunos cerros y colinas.

#### 4.2.2.4 Corte Culebra

En la Zona 4, Corte Culebra, se presentan únicamente formaciones del periodo terciario, distinguiéndose principalmente rocas ígneas extrusivas y relieves residuales al Oeste del canal de navegación, y superficies de erosión y rocas sedimentarias en dirección Este del canal de navegación. En menor proporción se observan, en el límite con la Zona 5, rocas sedimentarias, valles y planicies aluvio – coluviales (Figura 4-5).

El relieve incluye regiones bajas y planicies litorales, así como algunos cerros y colinas.

#### 4.2.2.5 Esclusas del Pacífico

En la Zona 5, Esclusas del Pacífico, se presentan formaciones del cuaternario reciente actual, cuaternario antiguo y medio, y del periodo terciario. En ella se observa la presencia de llanuras aluviales de desborde, pertenecientes al cuaternario actual reciente; glacis o explanadas del cuaternario antiguo y medio; y rocas ígneas intrusivas, relieves residuales, rocas sedimentarias, valles, planicies aluvio coluviales y superficies de erosión, todas estas del periodo terciario (Figura 4-5).

Respecto al relieve, el mismo se encuentra conformado por regiones bajas y planicies litorales.

#### 4.2.2.6 La Costa Pacífica

En la porción terrestre de la Zona 6 o Costa Pacífica, se presentan formaciones de llanura aluvial de desborde correspondientes al periodo cuaternario reciente actual, y glacis o explanadas del periodo cuaternario antiguo y medio (Figura 4-5).

El relieve de la Zona es de regiones bajas y planicies litorales, encontrándose también algunos cerros y colinas.

### 4.3 Caracterización del Suelo

Como parte de la caracterización del suelo, en la presente sección se describen los tipos de suelo presentes en el área de estudio, los usos de suelos y deslinde de propiedad, así como su capacidad de uso y aptitud.

#### 4.3.1 Objetivos y Metodología

El propósito de esta sección es presentar una descripción y caracterización de los suelos en el Área de Estudio Específico y en el Area de Impacto Directo del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá. Inicialmente se realiza la identificación y descripción general de los suelos,

destacando sus características constitutivas y propiedades principales. Se presenta también la descripción del uso del suelo en los diferentes sectores dentro del AEE y AID, así como los aspectos relevantes en cuanto al deslinde de la propiedad. Finalmente, se describe la capacidad de uso y aptitud de los suelos para cada zona de interés.

Para este análisis se utilizó la información existente de los estudios de suelos realizados para la definición del Plan Regional y General para el Desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá, aprobado mediante Ley No. 21 del 2 de Julio de 1997; el Plan de Desarrollo Urbano de las Áreas Metropolitanas del Pacífico y del Atlántico del MIVI, aprobado por Decreto Ejecutivo No. 205 de 28 de Diciembre de 2000; el mapa de cobertura de la tierra de la ANAM y el Acuerdo No. 102 del 25 de agosto de 2005 de la Junta Directiva de la ACP que adopta un plan de usos de suelo. Adicionalmente se utilizó información puntual de los siguientes estudios:

- Línea Base Ambiental del Estudio de Impacto Ambiental de la Ampliación de la Autopista Panamá – Colón Tramo 1 (URS Holdings, Inc., 2007).
- Evaluación Ambiental de Opciones para la Construcción de Nuevas Esclusas y Profundización de las Entradas Pacífico y Atlántico del Canal de Panamá (Louis Berger Group, 2004).

Para analizar la topografía de los suelos en el Área de Impacto Directo se emplearon los datos topográficos de la cartografía base de la Autoridad del Canal de Panamá. La información básica fue analizada y estratificada utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG) y los softwares ERDAS 8.5 y ARCGIS. Se obtuvieron coberturas de rangos de pendiente y uso actual de los suelos utilizados para evaluar el uso potencial del suelo según su capacidad de uso agroecológica y posibilitar la estimación de las pérdidas de suelos por erosión hídrica en la fase de evaluación de impactos ambientales.

La capacidad de uso y aptitud de los suelos fue determinada utilizando el método del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (1985), utilizando información de pendientes, profundidad, erosión, inundabilidad, drenaje y toxicidad.

### 4.3.2 Identificación y Descripción de los Suelos

En el Área de Estudio General (AEG), que comprende la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, los estudios de suelos realizados permiten establecer que en la región dominan los suelos ácidos desarrollados a partir de material parental de rocas y conglomerados ígneos bajo intensos procesos de meteorización clasificados como Ultisoles. Estos suelos son ácidos, infértiles y la mayoría de ellos han perdido la capa superficial por procesos erosivos recurrentes. Dichos suelos son de menor erodabilidad o sea son menos susceptibles a la erosión hídrica que los otros tipos de suelo del área. En las llanuras aluviales de los principales ríos como son el Chagres, Gatún y Gatuncillo, se encuentran suelos aluviales recientes que se clasifican como Entisoles. Estos suelos son de textura más gruesa o sea menos arcillosa que los Ultisoles y de mayor fertilidad. En áreas con material parental de roca caliza se han desarrollado suelos con mayor materia orgánica y fertilidad que, sin embargo son menos resistentes a la erosión hídrica.

#### 4.3.2.1 Suelos Ultisoles

En la mayor parte del área predominan los suelos Ultisoles ácidos, ocupando alrededor de un 70% del AID. Estos suelos fueron formados a partir de un material parental de rocas y conglomerados ígneos. Un perfil típico de este tipo de suelos presenta un horizonte superficial entre ócrico y úmbrico con mayor concentración de materia orgánica con un grosor variable, entre 8 y 20 centímetros de profundidad. Es común entre los suelos de la región que este horizonte superficial ya haya sido erosionado por lo que no está presente y en la superficie se encuentra expuesto un horizonte subsuperficial argílico o sea de acumulación de arcilla "Bt". Este horizonte Argílico es mucho más lixiviado y ácido que el ócrico superficial y típicamente mantiene una coloración rojiza debido a la abundancia de óxidos de hierro (Anexo 2 Fotográfico – Suelo - Foto 1).

Como se puede apreciar de la caracterización del perfil de este tipo de suelos (Tabla 4-9), se presenta un horizonte superficial arcilloso con acumulación de material orgánico producto de los procesos de descomposición y deposición de los diferentes organismos que viven en o sobre la superficie del suelo. El primer horizonte subsuperficial exhibe una acumulación de arcilla

producto de la migración en el tiempo a través del medio poroso de la fracción de arcilla. Esta condición define un horizonte conocido como argílico entre los 20 y 40 centímetros de profundidad en los sitios donde el mismo no ha sido removido o perdido por erosión hídrica.

En un perfil de suelo típico siguen a continuación dos a tres horizontes también arcillosos donde la materia orgánica y los nutrientes van disminuyendo con la profundidad. En general, en la región del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá los suelos clasificados como Ultisoles son de medianamente profundos a profundos, ácidos, de baja fertilidad y un poco más resistentes a la erosión hídrica que los suelos aluviales.

**Tabla 4-9**  
**Caracterización de Perfil Típico Correspondiente a un Suelo Ultisol**

Horizonte	Prof (cms)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	pH	Ca (me/100g)	Mg (me/100g)	K (me/100g)	Na (me/100g)	Acidez (me/100g)	Cationes Σ
<b>A</b>	0-20	30	30	40	3.02	5.3	1.81	2.09	1.32	0.16	1.4	8.4
<b>Bt1</b>	20-40	31	20	49	2.68	5.2	3.29	2.49	0.5	0.07	3.9	6.35
<b>B2</b>	40-75	24	22	54	0.87	5.5	1.54	1.1	0.2	0.09	4.8	2.53
<b>B3</b>	75-110	26	18	56	0.67	5.4	5.54	1.74	0.31	0.10	4.3	3.25
<b>C</b>	110-180	24	26	50	0.2	5.1	1.7	4.7	0.14	0.1	3.5	6.71

Fuente: Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá, 1996 Volumen 2. Anexo C

#### 4.3.2.2 Suelos Aluviales

Los suelos Aluviales se encuentran en las llanuras de inundación de los ríos Chagres, Gatún, Chilibre, Gatuncillo y sus tributarios. Estos suelos se caracterizan por ser planos, sin muchas piedras, menos arcillosos y de mejor fertilidad intrínseca que los Ultisoles. Los suelos aluviales se clasifican como Entisoles por ser suelos de llanuras aluviales muy recientes que no presentan horizontes diagnósticos en el perfil del suelo. La textura es más uniforme y abarca desde los franco arcillosos hasta arcillosos (Anexo 2 - Fotográfico - Suelo - Foto 2).

Como son de reciente deposición, desde el punto de vista pedológico no presentan horizontes diagnósticos. Su principal limitación es el potencial de inundabilidad, debido a que se encuentran

en áreas bajo el impacto de las crecidas anuales de los ríos o presas de almacenamiento de agua. En la Tabla 4-10 se presenta la caracterización de un perfil típico aluvial en el río Gatún.

**Tabla 4-10**  
**Caracterización de Perfil Típico Correspondiente a un Suelo Aluvial**

Horizonte	Prof (cms)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	pH	Ca (me/100g)	Mg (me/100g)	K (me/100g)	Na (me/100g)	Acidez (me/100g)	Cationes $\Sigma$
<b>A</b>	0-17	46	24	30	5.24	6.3	4.77	5.57	1.32	0.10	0.1	10.72
<b>B1</b>	17-35	41	24	35	1.85	5.8	2.83	1.53	0.5	0.14	0.3	8.95
<b>B2</b>	35-65	34	28	38	1.51	5.8	2.25	2.1	0.2	0.14	0.5	9.43
<b>B3</b>	65-95	43	20	37	1.17	6.0	4.10	3.5	0.31	0.12	0.3	10.21
<b>B4</b>	95-140	56	16	28	0.85	5.7	2.92	2.6	0.14	0.1	0.4	8.75

Fuente: Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá, 1996 Volumen 2. Anexo C

#### 4.3.2.3 Suelos de Origen Sedimentario

En el AEG se encuentran suelos meteorizados a partir de un material parental de origen sedimentario como son los correspondientes a las Formaciones Gatún, Gatuncillo, Caraba y Bohío, entre otras. Debido al material parental de origen son menos ácidos, contando con un pH entre un rango de 5.9 hasta 7.2 y niveles de materia orgánica, fósforo, calcio y magnesio de los más fértiles de toda el Área de Impacto Directo (Tabla 4-11). Típicamente presentan un horizonte mólico o umbrío superficial de profundidad variable. Su erodabilidad es mayor que los Ultisoles ya que tienen niveles de aluminio bajos.

**Tabla 4-11**  
**Caracterización de Perfil Típico Correspondiente a un Suelo de Origen Sedimentario**

Horizonte	Prof (cms)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	pH	Ca (me/100g)	Mg (me/100g)	K (me/100g)	Na (me/100g)	Acidez (me/100g)	Cationes $\Sigma$
<b>A</b>	0-18	34	18	48	5.7	7.1	4.88	4.67	0.64	0.18	0.3	12.17
<b>B1</b>	18-38	30	12	58	3.2	7.0	5.82	4.18	0.24	0.14	0.2	12.95
<b>B2</b>	38-60	26	14	60	1.74	6.9	6.92	4.97	0.17	0.10	0.1	12.19
<b>C</b>	60-75	12	24	64	0.87	7.2	7.24	4.36	0.10	0.09	0.1	12.35

Fuente: Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá, 1996 Volumen 2. Anexo C

#### 4.3.2.4 Suelos Antrópicos

En el AID, se encuentran suelos de diversos tipos que reciben vertidos recurrentes de sedimentos y materiales removidos de sitios de operación de la Autoridad del Canal de Panamá. En el caso de los dragados del lago Gatún, los sedimentos contienen mayor concentración de limo, lo que es de esperarse en sedimentos lacustres. La alteración por acciones antrópicas hace difícil de caracterizar los mismos debido a la variabilidad del material extraído y luego depositado en la superficie de los sitios, convirtiéndose éstos en material parental para la formación de suelos, que sin embargo es interrumpida por nuevos aportes de materiales.

Desde el punto de vista edafológico estos suelos son clasificados como Entisoles por ser de muy reciente formación y no mostrar ningún horizonte diagnóstico. La designación de Antrosoles que normalmente está destinada a suelos que han recibido aportes de nutrientes o aguas de irrigación por el hombre, en este caso se enmarca en el fuerte impacto que ha tenido el hombre en el proceso de conformación de estos suelos. La Tabla 4-12 presenta la caracterización de un suelo del área de Sherman en el cual son visibles las alteraciones antrópicas referidas. En el caso del sitio en Sherman, la principal diferencia con el resto de los suelos del área se evidencia en el contenido de limo que promedia 38.5% cuando en el resto de la Cuenca el promedio es de 20.52%. Este valor corresponde a una acumulación de más de 80% sobre el promedio.

**Tabla 4-12**  
**Caracterización de un Suelo Antrópico en la Región de Sherman**

Horizonte	Prof (cms)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	M.O. (%)	pH	Ca (me/10)	Mg (me/10)	K (me/10)	P (ppm)	Acidez (me/100g)	Cationes $\Sigma$
<b>A</b>	0-25	29.0	39.0	32.0	5.2	6.0	6.4	3.4	77.0	0.01	0.1	10.9
<b>B</b>	25-55	30.0	38.0	32.0	1.9	6.0	6.1	2.2	120.0	0.01	0.2	9.3

Fuente: Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá, 1996 Volumen 2. Anexo C

Algunos sitios en el AID, donde se encuentran suelos Antrosoles, son sitios que han sido históricamente utilizados como áreas operacionales del Canal y por lo tanto su condición de

perturbación se encuentra muy bien documentada antes de la implementación del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá (Anexo 2 - Fotográfico – Suelo - Fotos 3 y 4).

### **4.3.3 Descripción del Uso del Suelo**

En cuanto al uso del suelo es importante señalar que la mayor parte de los sitios de impacto directo del Proyecto corresponden a áreas que legalmente son de uso privativo de la ACP, en la mayoría de las cuales se han venido desarrollando actividades relacionadas con la operación del Canal. En cuanto a los usos de suelo en las zonas del AEE definidas en el presente Proyecto, a continuación se resumen los principales usos en cada una de estas, mientras que en las Figuras 4-6 y 4-7 se muestra esquemáticamente dichos usos.

#### **4.3.3.1 La Costa Atlántica**

En esta Zona, que ocupa en total unas 35,709 hectáreas, más del 60% corresponde a áreas acuáticas tanto de uso público como para la operación del Canal. Dentro de estas áreas acuáticas se encuentran el sitio de depósito Rompeolas Oeste, así como el Canal de Aproximación actual de la entrada del Pacífico. En cuanto al área ocupada por el AID dentro de esta zona, las áreas acuáticas ocupan un 56.4% de la misma.

En segundo lugar de importancia, en cuanto a los usos de suelo del área, se encuentran las áreas silvestres protegidas, las cuáles ocupan un 11.2% de la superficie; dentro de esta clasificación se encuentran las áreas protegidas de isla Galeta, San Lorenzo y el área recreativa del lago Gatún. Dentro del AID sin embargo, este tipo de uso no se encuentra presente.

Mientras que el 7.7% del territorio corresponde al uso forestal / agroforestal, prácticamente un 5% obedece al uso de empleo industrial/oficina, y alrededor de un 3.7% (un poco más o un poco menos en ciertos casos) se encuentran los usos como área verde urbana, área terrestre de operación del Canal y área de uso mixto – centro urbano.

En lo concerniente al AID el principal uso, después de las áreas acuáticas de operación del canal, es el de área terrestre de operación del Canal, el cual comprende el 36.5% del AID de la Costa Atlántica.

La Tabla 4-13 muestra la distribución de usos de suelo para el total del área, el Área de Estudio Específico y el Área de Impacto Directo.

**Tabla 4-13**  
**Usos de Suelo en la Zona 1**

Uso De Suelo	Hectareas Totales*	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
Agua	15545	43.5	15534	44.2	11	1.9
Area de Operación del Canal-agua	6988	19.6	6674	19.0	314	54.5
Area-verde urbana	1361	3.7	1361	3.9	0	0.0
Area de Impacto y Material Peligroso	308	0.9	308	0.9	0	0.0
Area de Operación del Canal-tierra	1270	3.6	1060	3.0	210	36.5
Area Silvestre Protegida	3984	11.2	3984	11.4	0	0.0
Empleo-Industrial y oficina	1753	4.9	1738	4.9	15	2.6
Forestal / Agroforestal	2749	7.7	2749	7.8	0	0.0
Mixto-centro urbano	1195	3.3	1169	3.3	26	4.5
Mixto-centro vecinal	2	0.0	2	0.0	0	0.0
Residencial-alta densidad	341	1.0	341	1.0	0	0.0
Residencial-baja densidad	192	0.5	192	0.5	0	0.0
Residencial-mediana densidad	21	0.1	21	0.1	0	0.0
<b>Total</b>	<b>35709</b>		<b>35133</b>		<b>576</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.3.3.2 Esclusas de Gatún

El área de las Esclusas de Gatún, o Zona 2, ocupa una extensión aproximada de 902 hectáreas, dominada principalmente por las áreas de operación del canal en más de un 80%. Las áreas terrestres de operación del canal ocupan el 66.9% de la zona, mientras que las áreas acuáticas de operación del canal representan el 14.1% de la misma. En el caso del AID, estas zonas ocupan el 94% de la misma.

En tercer nivel de importancia para dicha zona dentro del AID, se encuentra el uso del suelo como Industrial – Oficina, representando este el 9.1% de la superficie de la misma. Otros usos presentes dentro del AID de la zona incluyen el de área verde urbana, con un 4.5%, el uso forestal / agroforestal, con un 3.2%, y el uso residencial de baja densidad con un 2.0%.

En la Tabla 4-14 se muestran los diferentes usos del suelo por tipo de área para esta zona.

**Tabla 4-14**  
**Usos de Suelo en la Zona 2**

Uso de Suelo	Hectareas Totales*	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
Agua	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Area de Operación del Canal-agua	127	14.1	4	1.3	123	20.9
Area-verde urbana	41	4.5	39	12.6	2	0.3
Area de Operación del Canal-tierra	604	66.9	172	55.0	432	73.2
Empleo-Industrial y oficina	82	9.1	49	15.7	33	5.6
Forestal / Agroforestal	29	3.2	29	9.4	0	0.0
<b>Total</b>	<b>902</b>		<b>312</b>		<b>590</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.3.3.3 Lago Gatún

La Zona 3, denominada en el presente estudio como Lago Gatún, incluye aproximadamente 58,228 hectáreas, de las cuáles el 65.2% corresponden a áreas acuáticas de operación del Canal. Este tipo de uso representa el 99.7% del AID.

Otro uso importante en la Zona del Lago Gatún es el de Área Silvestre Protegida, que comprende el 15.4% de la Zona, y básicamente se refiere a la Isla de Barro Colorado y una porción del Parque Nacional Soberanía. Este tipo de uso representa únicamente el 0.1% del AID.

Los siguientes mayores usos del suelo de la Zona 3 corresponden al uso como áreas terrestres de operación del Canal, con un 10.4%, a uso forestal / agroforestal con un 5.5%, y al uso como área de impacto y material peligroso, con un 2.3%.

En la Tabla 4-15 se muestran los diversos usos de suelo para la Zona del Lago Gatún o Zona 3.

**Tabla 4-15**  
**Usos de Suelo en la Zona 3**

Uso de Suelo	Hectareas Totales*	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
Agua	90	0.2	90	0.2	0	0.0
Area de Operación del Canal-agua	37954	65.2	34043	62.7	3911	99.7
Area-verde urbana	139	0.2	139	0.3	0	0.0
Area de Impacto y Material Peligroso	1326	2.3	1326	2.5	0	0.0
Area de Operación del Canal-tierra	6041	10.4	6032	11.1	9	0.2
Area Silvestre Protegida	8948	15.4	8945	16.5	3	0.1
Areas no desarrollables, no declaradas-tierra	14	0.0	14	0.0	0	0.0
Empleo-Industrial y oficina	148	0.3	148	0.3	0	0.0
Forestal / Agroforestal	3228	5.5	3228	5.9	0	0.0
Matorrales y Rastrojos	92	0.2	92	0.2	0	0.0
Mixto-centro urbano	66	0.1	66	0.1	0	0.0
Mixto-centro vecinal	14	0.0	14	0.0	0	0.0
Paja blanca	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Pastizales	123	0.2	123	0.2	0	0.0
Pecuaría	26	0.0	26	0.0	0	0.0
Residencial-baja densidad	9	0.0	9	0.0	0	0.0
Residencial-mediana densidad	10	0.0	10	0.0	0	0.0
<b>Total</b>	<b>58228</b>		<b>54305</b>		<b>3923</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.3.3.4 Corte Culebra

El Área del Corte Culebra, o Zona 4, abarca una superficie aproximada de 11,620 hectáreas, correspondiendo el mayor uso de la zona a la categoría de área silvestre protegida, con un 37.4%, y representada esta principalmente por la zona que ocupa el Parque Nacional Soberanía. Este tipo de uso no se presenta en el AID.

Otras categorías de uso de suelo relevantes en el área son el forestal / agroforestal y el uso como área terrestre de operación del canal, que representa el 31.3% y 21.0% del territorio, respectivamente. Este último tipo de uso es el de mayor importancia para el AID, representando un 79.5% de la misma.

Finalmente, variando entre un 3.6 y un 2.1%, se aprecian las categorías de uso como área de impacto y material peligroso, área verde urbana y área acuática de operación del canal.

La Tabla 4-16 presenta los diversos usos de suelo para esta zona.

**Tabla 4-16**  
**Usos de Suelo en la Zona 4**

Uso de Suelo	Hectáreas Totales*	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
Area de Operación del Canal-agua	249	2.1	30	0.3	219	20.4
Area-verde urbana	359	3.1	359	3.4	0	0.0
Area de Impacto y Material Peligroso	420	3.6	420	4.0	0	0.0
Area de Operación del Canal-tierra	2445	21.0	1591	15.1	854	79.5
Area Silvestre Protegida	4343	37.4	4343	41.2	0	0.0
Empleo-Industrial y oficina	60	0.5	60	0.6	0	0.0
Forestal / Agroforestal	3631	31.3	3630	34.3	1	0.1
Mixto-centro urbano	93	0.8	93	0.9	0	0.0
Mixto-centro vecinal	8	0.1	8	0.1	0	0.0
Residencial-mediana densidad	12	0.1	12	0.1	0	0.0
<b>Total</b>	<b>11620</b>		<b>10546</b>		<b>1074</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: Elaborado por Consultores de URS Holdings Inc.

#### 4.3.3.5 Esclusas del Pacífico

En la Zona 5, la cual ocupa unas 8,136 hectáreas, el uso predominante del suelo es el forestal/agroforestal, representando este un 30.3% de la superficie. Otro uso importante del suelo es el de área silvestre protegida, que representa el 24.4% de la superficie, y dentro del cuál se incluyen el Parque Nacional Camino de Cruces y el Parque Natural Metropolitano.

Otros usos relevantes para la zona incluyen las áreas terrestres de operación del canal, representando un 14.9%, las áreas de impacto y material peligroso, con un 10.9%, las áreas residenciales de baja densidad, con un 5.8%, y las áreas verdes urbanas que ocupan un 5.3% del territorio.

Para el AID el principal uso es el de área de operación del canal-tierra, que corresponde a un 65.3%, seguido de los usos como área de operación del canal-agua y área de impacto y material peligroso, representando cada una de estas el 14.9% del AID.

En la Tabla 4-17 se presentan los diversos usos de suelo para la Zona de las Esclusas del Pacífico.

**Tabla 4-17**  
**Usos de Suelo en la Zona 5**

Uso de Suelo	Hectareas Totales*	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
Agua	80	1.0	80	1.2	0	0.0
Area de Operación del Canal-agua	281	3.5	81	1.2	200	14.9
Area-verde urbana	430	5.3	429	6.3	1	0.1
Area de Impacto y Material Peligroso	884	10.9	685	10.1	199	14.9
Area de Operación del Canal-tierra	1216	14.9	342	5.0	874	65.3
Area Silvestre Protegida	1987	24.4	1987	29.2	0	0.0
Empleo-Industrial y oficina	27	0.3	27	0.4	0	0.0
Forestal / Agroforestal	2464	30.3	2427	35.7	37	2.8
Mixto-centro urbano	133	1.6	133	2.0	0	0.0
Mixto-centro vecinal	72	0.9	51	0.7	21	1.6
Paja blanca	18	0.2	18	0.3	0	0.0
Residencial-baja densidad	469	5.8	464	6.8	5	0.4
Residencial-mediana densidad	75	0.9	75	1.1	0	0.0
<b>Total</b>	<b>8136</b>		<b>6799</b>		<b>1337</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: Elaborado por Consultores de URS Holdings Inc.

#### 4.3.3.6 La Costa Pacífica

La Zona 6 o Costa Pacífica comprende aproximadamente 40,083 hectáreas, siendo el principal uso de estas las áreas acuáticas, de las cuáles las áreas de agua representan el 56.7% y las áreas acuáticas de operación del canal abarcan el 23.9% de la superficie. En el AID, las áreas acuáticas de operación del canal representan el 86.6% de la misma.

En menor proporción se encuentran en la zona los usos de empleo industrial-oficina, con un 6.0%, el uso de área verde urbana, con un 3.6%, y el uso mixto – centro urbano, con un 2.7%.

En la Tabla 4-18 se muestran los diversos usos de suelo para la Zona 6.

**Tabla 4-18**  
**Usos de Suelo en la Zona 6**

Uso de Suelo	Hectareas Totales*	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
Agua	22714	56.7	22577	63.6	137	3.0
Area de Operación del Canal-agua	9569	23.9	5614	15.8	3955	86.6
Area-verde urbana	1458	3.6	1407	4.0	51	1.1
Area de Operación del Canal-tierra	635	1.6	408	1.1	227	5.0
Area Silvestre Protegida	746	1.9	746	2.2	0	0.0
Areas no desarrollables, no declaradas-tierra	3	0.0	3	0.0	0	0.0
Empleo-Industrial y oficina	2424	6.0	2396	6.7	28	0.6
Forestal / Agroforestal	277	0.7	277	0.8	0	0.0
Mixto-centro urbano	1091	2.7	984	2.8	107	2.4
Mixto-centro vecinal	159	0.4	157	0.4	2	0.0
Residencial-baja densidad	711	1.8	653	1.8	58	1.3
Residencial-mediana densidad	296	0.7	296	0.8	0	0.0
<b>Total</b>	<b>40083</b>		<b>35518</b>		<b>4565</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings Inc.

#### 4.3.4 Deslinde de la Propiedad

El Proyecto se realizará principalmente en áreas patrimoniales de la ACP y en áreas bajo su administración privativa, debidamente inscrita en el registro público. Por lo tanto, el Proyecto propuesto no requerirá la adquisición de nuevas tierras, salvo en algunos casos concretos (Ejemplos: Cocolí, José Dominador Bazán) en los cuáles se traspasarán terrenos y/o propiedades administradas por otras instituciones de gobierno.

Según el Plan de Uso de Suelo de la ACP (Acuerdo N° 102 de 25 de agosto de 2005 de la Junta Directiva de la ACP), el Proyecto se ubica dentro de la zona de compatibilidad y patrimonio de la ACP, en un área de operación de Tipo I, que corresponde a un área de propiedad de la ACP o del patrimonio inalienable de la Nación, bajo administración privativa de la ACP, crítica para el funcionamiento y modernización del Canal y para actividades directamente asociadas a esas funciones. Por otro lado, en el Ordenamiento Territorial establecido por la Ley 21, que

contempla el Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica, el tipo de uso especificado del área donde se desarrollará el Proyecto de Ampliación del Canal, es el de áreas reservadas para las mejoras del Canal, entre otros, y la construcción del Tercer Juego de Esclusas (ACP, 2006).

#### **4.3.5 Capacidad de Uso y Aptitud**

A continuación se analiza la capacidad de uso y aptitud de los suelos en el área de estudio sobre la base de criterios agroecológicos.

##### **4.3.5.1 Clasificación de Suelos**

El uso predominante del suelo en el AID del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá está reservado a la Operación del Canal de Panamá. En las áreas de construcción de las nuevas esclusas, en ambos extremos Pacífico y Atlántico, el uso de la tierra está relacionado al Plan de Uso del Suelo de la ACP y al Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica.

Considerando los suelos como elemento ambiental básico para el desarrollo y sustento de los ecosistemas terrestres, se utiliza el concepto de capacidad de uso máximo o aptitud de los suelos. La capacidad de uso de los suelos, es decir, el potencial que tiene una unidad homogénea de suelo para ser utilizada en forma sostenida sin afectar su capacidad productiva, ha sido definida en función de las características que determinan su aptitud para las actividades antrópicas. La capacidad de uso indica el uso mayor, aptitud ó intensidad con que se puede utilizar una determinada unidad de suelo. Es importante establecer la capacidad de uso del suelo a fin de poder definir las medidas de mitigación y remediación necesarias de manera que el Plan de Manejo Ambiental sea efectivo. Según CATIE (1985) la capacidad de uso de los suelos se determina utilizando los siguientes parámetros agroecológicos:

- Pendiente.
- Erosión
- Profundidad efectiva.
- Textura.

- Pedregosidad.
- Fertilidad
- Salinidad / Toxicidad.
- Drenaje.
- Inundabilidad.
- Zona de Vida.
- Periodo Seco.
- Viento.

En 1996, dentro del análisis del uso actual y potencial de los recursos para el desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá, se definió la capacidad de uso máximo de los suelos utilizando la información edafológica de los estudios de suelos existentes.

De acuerdo a la capacidad de uso, los suelos pueden utilizarse en actividades de la clase a la cual pertenecen o actividades de menor intensidad de uso que garantice su sostenibilidad. Los mejores suelos son los Clase I que por sus cualidades no tienen ninguna restricción en su uso. A medida que aumenta el número de la clasificación se van restringiendo los usos hasta llegar a la Clase VIII que son suelos que, por sus muchas limitaciones, no deben utilizarse para ninguna actividad que no sea la de protección.

En general, en el área de estudio las principales limitaciones son las pendientes, la fertilidad y el drenaje. Los suelos de mayor capacidad de uso en la región, son los aluviales (Clases III y IV), de las llanuras y suelos de origen de roca caliza. Los aluviales son relativamente planos, de mediana a buena profundidad, mientras que los de origen calcáreo son mas fértiles, sin embargo mucho menos profundos y mas susceptibles a la erosión hídrica.

Las características generales de las diferentes categorías de uso de suelos descritas en el Plan Regional de 1997 se presentan a continuación.

## **Suelos Clase I**

Estos suelos corresponden a suelos arables, prácticamente sin restricciones de uso.

## **Suelos Clase II**

Estos suelos son arables, con algunas limitaciones en la selección de plantas y que requieren de una conservación moderada.

## **Suelos Clase III**

Son los mejores suelos que se encuentran en el área de estudio del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá. Son suelos con pendientes de hasta 5 por ciento, moderadamente profundos, de mediana a baja fertilidad y riesgo de inundación bajo. Se encuentran en áreas de depósitos fluviales de la red hidrográfica. Su aptitud de uso máxima son los cultivos semi-permanentes y permanentes.

## **Suelos Clase IV**

Son suelos relativamente planos con pendientes de hasta 9 por ciento, moderadamente profundos, de mediana a baja fertilidad y riesgo de inundación moderado. Se encuentran en áreas de depósitos fluviales de la red hidrográfica y en suelos calcáreos. Su aptitud de uso máxima son los cultivos semi-permanentes y permanentes.

## **Suelos Clase V**

Los suelos Clase V son los suelos de aptitud principalmente para la actividad ganadera y los cultivos permanentes. Los suelos Clase V tienen pendientes de hasta 25% con alguna o varias de las siguientes limitantes: suelos someros, pedregosidad fuerte, problemas de erosión moderada, o riesgo de inundación severo. Su capacidad de uso máximo es el pastoreo y los cultivos

permanentes, pudiéndose utilizar sistemas de manejo de agricultura sostenible. En áreas boscosas, el manejo del bosque natural es permitido.

### **Suelos Clase VI**

Los suelos clasificados como Clase VI son aptos para la producción forestal, tales como los sistemas de manejo sostenible como la agroforestería con frutales y café. Los suelos Clase VI presentan pendientes de hasta 35% con alguna o varias de las siguientes limitaciones: pedregosidad fuerte, problemas de erosión severos o intensidad de vientos moderada.

### **Suelos Clase VII**

Los suelos Clase VII tienen severas limitaciones por lo cual sólo se permite el manejo forestal en áreas con cobertura boscosa, siempre que se garantice la preservación del bosque. Si el uso actual del suelo no es bosque, se debe propiciar la Restauración Forestal por Regeneración Natural. Los suelos Clase VII tienen pendientes de hasta 60% y profundidad mayor a 30 centímetros.

### **Suelos Clase VIII**

Los suelos identificados como Clase VIII son áreas estrictamente restringidas a la preservación de la flora y fauna y la protección de áreas de recarga de acuíferos. Son suelos con pendientes mayores de 75% y menos de 30 centímetros de profundidad efectiva, los suelos con problemas de erosión muy severos son incluidos en esta categoría. También se incluyen en esta categoría los suelos dentro de las áreas protegidas. En general, se ubican en las áreas más escarpadas y de difícil acceso.

La descripción de las categorías de pendiente y capacidad agroecológica de los suelos se presenta a continuación, enfatizando las características predominantes de los suelos en el área de estudio. En el Mapa de Capacidad de Uso de los Suelos (Figuras 4-6 y 4-7) se puede observar la distribución de los mismos. La primera inferencia que se puede realizar es que en el área

estudiada no existen suelos de Clase I, y los de Tipo II se limitan a unas 5 hectáreas en la Zona 1. A continuación se describen las categorías de pendiente y capacidad de uso de los suelos dentro del AEE y AID para las diferentes zonas.

#### 4.3.5.2 La Costa Atlántica

Como se aprecia en la Tabla 4-19 los suelos del AEE de la Costa Atlántica se encuentran principalmente dentro del rango de pendientes de 25 a 45%.

En la región de la Costa Atlántica, dentro del AID, predominan los suelos planos con pendientes menores de 7% que han sido descritos de manera general desde 1929 por Bennet como suelos arcillosos, pantanosos saturados, suelos de manglar y rellenos de dragado al Sudoeste de las esclusas de Gatún.

A lo largo de la Costa Atlántica, en las desembocaduras de ríos y quebradas entre Punta Toro y en la desembocadura del río Chagres se encuentran franjas estrechas de arena fina suelta. En el AEE, que incluye Sherman y San Lorenzo, se ubican suelos que se han desarrollado a partir de material sedimentario como areniscas y limolitas y se encuentran pendientes más pronunciadas que en el resto de la región de la Costa Atlántica.

En el AEE del Proyecto de Ampliación del canal se encuentran suelos desde la Clase II a la VIII. En la Tabla 4-20 se observa que en el AID la capacidad de uso de los suelos es marginal, dominando las clases IV, V, VI y VIII.

**Tabla 4-19**

**Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de la Costa Atlántica**

<b>Rangos</b>	<b>AEE (ha*)</b>	<b>%</b>	<b>AID (ha*)</b>	<b>%</b>
0 - 7%	1928	14.9	198	78.8
7 - 15%	2371	18.3	10	4.0
15 - 25%	2438	18.9	9	3.8
25 - 45%	5342	41.3	27	10.7
45 y mas	847	6.6	7	2.7
<b>Total</b>	<b>12926</b>		<b>251</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings, Inc.

**Tabla 4-20**  
**Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en la Zona de la Costa Atlántica**

Capacidad de Uso	Total de Área (ha*)	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
II	5	0.0	5	0.0	0	0.0
III	156	1.2	156	1.2	0	0.0
IV	4511	34.2	4479	34.6	32	12.7
V	1992	15.1	1842	14.3	150	59.7
VI	1997	15.2	1959	15.2	38	15.3
VII	2334	17.7	2334	18.1	0	0
VIII	2182	16.6	2151	16.6	31	12.3
<b>Total</b>	<b>13177</b>		<b>12926</b>		<b>251</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings, Inc. -Estudios de Suelos de la Región Interoceánica de Panamá.

#### 4.3.5.3 Esclusas de Gatún

En el AEE las categorías de pendiente están repartidas entre las diferentes categorías, dominando las pendientes entre 25% y 45%. En el sector de las esclusas de Gatún es común encontrar rellenos del dragado efectuado durante la construcción de las esclusas de Gatún en el periodo anterior a 1914. Las pendientes en el AID son relativamente planas, menores al 7% (Tabla 4-21).

La capacidad de uso de los suelos se concentra en las clases IV, V, VI y VIII. En la Tabla 4-22 se presenta la superficie y porcentaje correspondiente a cada categoría de uso de suelo de este sector.

**Tabla 4-21**  
**Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de las Esclusas de Gatún**

Rangos	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
0 - 7%	96	31.2	231	49.5
7 - 15%	47	15.3	74	15.8
15 - 25%	47	15.2	58	12.5
25 - 45%	110	35.8	44	9.5
45 y más	8	2.5	60	12.8
<b>Total</b>	<b>308</b>		<b>467</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings, Inc.

**Tabla 4-22**  
**Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en la Zona de las**  
**Esclusas de Gatún**

Capacidad de Uso	Total de Área (ha*)	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
IV	401	51.8	156	50.7	245	52.5
V	235	30.3	106	34.4	129	27.7
VI	31	4.0	13	4.3	18	3.8
VIII	108	13.9	33	10.6	75	16.1
<b>Total</b>	<b>775</b>		<b>308</b>		<b>467</b>	

Fuente: URS Holdings, Inc. Estudios de Suelos de la Región Interoceánica de Panamá.

#### 4.3.5.4 Lago Gatún

La Zona del Lago Gatún incluye todas las riberas del lago Gatún más los suelos insulares incluyendo las islas de Barro Colorado, Juan Gallegos, Tigre, Las Brujas, Zorra, Advent, Guacha, Guarapo, Gorgona y Santa Cruz.

En el AEE, que incluye las áreas insulares del lago Gatún, predominan las pendientes entre 25% y 45%, principalmente en las islas de mayor tamaño como son Barro Colorado y Juan Gallegos.

Como se aprecia en la Tabla 4-23, la pendiente de los suelos en el entorno del lago Gatún, que definen el AID, es bastante plana, como es de esperarse de zonas ribereñas. Más del 50% de las pendientes son de categoría plana, entre 0 y 7%.

La Tabla 4-24 presenta las categorías de uso del suelo en el AEE y el AID del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá para la Zona del Lago Gatún. Los suelos Clase VI y VII representan más del 74% del AEE, por lo que su uso está restringido a la mayoría de las actividades antrópicas. En el AID predominan los suelos tipo IV.

**Tabla 4-23****Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona del Lago Gatún**

Rangos	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
0 - 7%	252	1.3	7	56.3
7 - 15%	1998	9.9	0	0.2
15 - 25%	3596	17.8	1	10.2
25 - 45%	10769	53.4	1	9.2
45 y mas	3555	17.6	3	24.0
<b>Total</b>	<b>20170</b>		<b>12</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados

Fuente: URS Holdings, Inc.

**Tabla 4-24****Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en la Zona del Lago Gatún**

Capacidad de Uso	Total de Área (ha*)	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
III	4	0.0	4	0.0	0	0.0
IV	4579	22.7	4573	22.7	6	51.0
V	350	1.7	350	1.7	0	0.0
VI	6762	33.5	6760	33.5	2	13.0
VII	8196	40.6	8193	40.6	3	29.9
VIII	291	1.4	290	1.4	1	6.1
<b>Total</b>	<b>20182</b>		<b>20170</b>		<b>12</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings, Inc. Estudios de Suelos de la Región Interoceánica de Panamá.

#### 4.3.5.5 Corte Culebra

En el sector designado como Corte Culebra, predominan suelos Ultisoles rojos y ácidos con las pendientes más altas de toda el área de estudio. En esta zona, se ubican los cerros más prominentes como son los cerros Nitro, Contractor's, Empire, Hodges, Goyo, Paraíso, Oro, Marieta y Zion, entre otros.

La Tabla 4-25 presenta las categorías de pendiente en el AEE y el AID para la Zona del Corte Culebra. El AID incluye el cerro Nitro, Oro, Paraíso y Goyo y las llanuras entre el cerro Cocolí y cerro Luisa. En el AEE predominan las pendientes entre 25 – 45%; mientras que en el AID las pendientes que predominan son las del rango de 0-7% y de 25 –45%.

Como se puede apreciar en la Tabla 4-26 más de un 87% de los suelos pertenecen a las categorías de uso VI, VII y VIII, por lo que su uso potencial es muy restringido para actividades que no sean las de operación del Canal de Panamá. En el AEE los suelos dominantes son los de la categoría de uso VI, mientras que en el AID predominan suelos de categoría VIII.

**Tabla 4-25**  
**Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de Corte Culebra**

Rangos	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
0 - 7%	284	2.7	249	29.2
7 - 15%	996	9.5	154	18.0
15 - 25%	2021	19.2	138	16.2
25 - 45%	6169	58.7	247	28.9
45 y mas	1045	9.9	66	7.7
<b>Total</b>	<b>10515</b>		<b>854</b>	

Fuente: URS Holdings, Inc.

**Tabla 4-26**  
**Distribución de Categorías de Capacidad de Uso de Suelos**  
**en la Zona de Corte Culebra**

Capacidad de Uso	Total de Área (ha*)	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
III	197	1.7	121	1.2	76	8.9
IV	1157	10.2	1020	9.7	137	16.0
V	48	0.4	0	0.0	48	5.6
VI	4724	41.6	4494	42.7	230	27.1
VII	4103	36.1	4041	38.4	62	7.2
VIII	1140	10.0	839	8.0	301	35.2
<b>Total</b>	<b>11369</b>		<b>10515</b>		<b>854</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings, Inc. Estudios de Suelos de la Región Interoceánica de Panamá.

#### 4.3.5.6 Esclusas del Pacífico

El sector de las Esclusas del Pacífico incluye las áreas destinadas a la construcción de las nuevas esclusas del Pacífico y las estructuras conexas como son las tinajas de reutilización de aguas. En esta zona se encuentran los cerros Cocolí y Aguadulce.

La Tabla 4-27 presenta las categorías de pendiente en esta zona; en el AEE, se presentan pendientes más inclinadas, en rangos de 25-45%, en alrededor del 46% del área.

En el AID predominan las pendientes más planas (menores de 15%) que representan el 60% de la misma. En estas áreas se han estado depositando intermitentemente sedimentos de los dragados del programa de modernización del Canal de Panamá, en la actualidad se encuentran cubiertas de paja blanca y han sido designadas como sitios de depósito del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá. Entre los sitios de depósito ubicados en esta zona están Victoria y Velásquez.

**Tabla 4-27**  
**Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona**  
**de las Esclusas del Pacífico**

Rangos	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
0 - 7%	249	3.8	404	35.6
7 - 15%	1309	19.7	268	23.6
15 - 25%	1696	25.5	149	13.1
25 - 45%	3069	46.2	263	23.1
45 y mas	315	4.7	53	4.6
<b>Total</b>	<b>6638</b>		<b>1137</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados

Fuente: URS Holdings, Inc.

La Tabla 4-28 muestra las categorías de capacidad de uso de los suelos en la zona. En general, se puede observar que la capacidad de uso de estos suelos es marginal ya que en el AEE casi un 70% corresponden a suelos de Clase VI o menor; mientras que en el AID alrededor de un 50% son de Clase VII y VIII.

**Tabla 4-28**  
**Distribución de Categorías de Capacidad de Uso del Suelo en la Zona**  
**de las Esclusas del Pacífico**

Capacidad de Uso	Total de Área (ha*)	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
III	173	2.2	164	2.5	9	0.8
IV	1831	23.6	1651	24.9	180	15.8
V	519	6.7	204	3.1	315	27.7

Capacidad de Uso	Total de Área (ha*)	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
VI	2012	25.9	1971	29.7	41	3.6
VII	2811	36.1	2525	38.0	286	25.1
VIII	429	5.5	123	1.9	306	26.9
<b>Total</b>	<b>7775</b>		<b>6638</b>		<b>1137</b>	

Fuente: URS Holdings, Inc. Estudios de Suelos de la Región Interoceánica de Panamá.

#### 4.3.5.7 La Costa Pacífica

En el sector designado como la Costa Pacífica, se incluyen las áreas de Balboa, Rodman, Palo Seco y Farfán. La Tabla 4-29 presenta las categorías de pendiente en la Zona de la Costa Pacífica, donde las elevaciones más conspicuas son cerro San Juan y cerro Sosa. En esta zona, se consideran también a la Calzada de Amador y las Islas Naos, Perico y Flamenco.

En cuanto a pendientes se refiere en el AEE predominan las pendientes entre 25-45%; mientras que en el AID los rangos de pendientes disminuyen significativamente, siendo predominante las pendientes menores de 7%.

**Tabla 4-29**

**Distribución de Categorías de Pendiente en la Zona de la Costa Pacífica**

Rangos	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
0 - 7%	1708	23.3	211	44.6
7 - 15%	1782	24.3	60	12.6
15 - 25%	1294	17.7	41	8.7
25 - 45%	2238	30.6	129	27.2
45 y mas	305	4.2	33	7.0
<b>Total</b>	<b>7327</b>		<b>474</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings, Inc.

La Tabla 4-30 muestra las categorías de capacidad de uso de los suelos en la zona. En general, se observa que la capacidad de uso de estos suelos es marginal, en el AEE existe una mayor variabilidad, no obstante, el 58% de los suelos corresponden a la Clase VI o menor; en el AID alrededor de un 75.10% son de las categorías de uso marginales, es decir, Clase VI, VII y VIII.

**Tabla 4-30**

**Distribución de Categorías Capacidad de Uso de Suelos en la Zona de la Costa Pacífica**

Capacidad de Uso	Total de Área (ha*)	%	AEE (ha*)	%	AID (ha*)	%
III	816	10.5	808	11.0	8	1.8
IV	1647	21.1	1614	22.0	33	6.9
V	708	9.1	631	8.6	77	16.2
VI	1719	22.0	1528	20.9	191	40.3
VII	1327	17.0	1164	15.9	163	34.3
VIII	1584	20.3	1582	21.6	2	0.5
	<b>7801</b>		<b>7327</b>		<b>474</b>	

\* = Los valores de superficie fueron redondeados.

Fuente: URS Holdings, Inc. Estudios de Suelos de la Región Interoceánica de Panamá.

#### **4.4 Topografía y Batimetría**

##### **4.4.1 Metodología**

Los objetivos de esta sección consisten en realizar una descripción de las características topográficas de línea base de las seis (6) zonas que conforman el Área de Estudio Específico definida para el Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá, y describir los aspectos relacionados con la batimetría en las zonas acuáticas.

Para este efecto, se ha realizado una revisión exhaustiva de los estudios existentes en torno al tema, suministrados por la ACP, y se ha superpuesto y analizado la información obtenida sobre la superficie cubierta por las 6 Zonas del Área de Estudio Específico definida en el presente EsIA.

##### **4.4.2 Características Topográficas y Batimétricas del Área de Estudio Específico**

En términos generales, la topografía variable del área que hoy ocupa el Canal de Panamá, es básicamente el resultado de la erosión de arroyos y el proceso de meteorización. Las características de las formaciones de tierra están controladas por la relativa resistencia a la erosión de las rocas en cualquier área dada.

La región del AEG se caracteriza por tener numerosas colinas en forma cónica, las cuales se encuentran espaciadas de forma muy irregular y, por consiguiente, dan una apariencia un tanto caótica al terreno. Las fallas y dobleces juegan un papel secundario en la configuración del paisaje. Se encuentran patrones de drenaje bien desarrollados y agudamente definidos a pesar de su edad geológica comparativamente reciente (Anexo 2 - Fotográfico - Topografía - Foto 1). Los valles, en los cuales los ríos y quebradas han depositado un manto de material aluvial, constituyen áreas características que yacen sobre las rocas.

En áreas donde los gradientes de los ríos y quebradas son suficientemente pronunciados, los arroyos han trazado angostos cañones con paredes de pendientes pronunciadas. En cambio, en áreas donde el drenaje discurre entre formaciones duras y suaves, existe una notable ampliación de los valles y una nivelación de los perfiles de los ríos y quebradas.

En la Figura 3-13, del Capítulo 3, se muestra el mapa topográfico, en escala 1:50,000, para las zonas en consideración. A continuación, se presentan los principales aspectos relativos a la topografía y batimetría en cada una de dichas zonas.

#### 4.4.2.1 La Costa Atlántica

La zona marina caribeña, es una zona sub-litoral, con un lecho fangoso/arenoso (35-70% limo y arcilla) que alcanza una profundidad de 40 m. El litoral es arenoso, con pequeñas bahías y acantilados como la bahía de Limón y los llanos del lado Atlántico, que son tierras muy bajas correspondientes a la antigua desembocadura del río Chagres. El dragado y drenaje del área durante la construcción (y ensanches) del Canal y el desarrollo de la ciudad de Colón, han determinado la forma actual de esta bahía y sus alrededores.

En la zona dominan las pendientes en un rango de 25 a 45%, encontrándose elevaciones entre los 20 y 200 msnm<sup>4</sup>. Las mayores elevaciones se ubican hacia el Sur de la zona, mientras que las

---

<sup>4</sup> Los datos de elevaciones fueron obtenidos del mapa topográfico en escala 1:50,000 y con curvas de nivel en intervalos de 20 metros.

zonas costeras presentan pendientes y elevaciones menores. Algunas elevaciones dentro de la zona incluyen Loma Borracho (60 – 80 metros) y cerro Bruja (100 metros).

En cuanto a la batimetría de la Costa Atlántica, sondeos realizados como parte del Estudio de Impacto Ambiental para la Expansión del Puerto de Cristóbal (Ingemar Panamá, 2005), en el cual se caracterizaron 3 sitios como posibles depósitos de material, al Norte del canal de acceso, reflejan la existencia de pendientes entre los  $-0.007$  y  $-0.013$  grados, y profundidades variables entre los 24 y 51 metros. Los datos obtenidos de dichas batimetrías se muestran en la Tabla 4-31 y la ubicación de los sitios en la Figura 4-8.

**Tabla 4-31**  
**Batimetría en Diversas Áreas del Sector Atlántico**

Sitio de Disposición	Pendiente (Grados)	Profundidad Mínima (m)	Profundidad Máxima (m)
Área 1	-0.013	28	35
Área 2	-0.007	51	58
Área 3	-0.008	24	32

Fuente: Ingemar Panamá, 2005. Elaborado por URS Holdings, Inc.

Estudios llevados a cabo por la ACP del sitio marino de depósito de material de dragado denominado Rompeolas Oeste<sup>5</sup>, en el sector Atlántico, perteneciente este al Área de Impacto Directo del Proyecto, reflejan profundidades entre los -9 y -13.8 metros. El fondo marino del mismo se presenta en forma relativamente uniforme, con declives o mayores profundidades en dirección Noroeste (Figura 4-9).

#### 4.4.2.2 Esclusas de Gatún

La topografía a lo largo del trazado de las nuevas esclusas contiene, desde el Norte hasta el Sur, una entrada inundada por agua marina, un tapón de tierra, una laguna de agua dulce (que formará el cuerpo de las esclusas) y otro tapón junto a la orilla del Lago Gatún.

<sup>5</sup> Este sitio de depósito se ubica más próximo a la costa que las áreas que fueron caracterizadas en el estudio de Ingemar Panamá, 2005.

La zona está compuesta principalmente por pendientes entre 25-45% (el 36% de la zona) y entre 0-7% (el 31% de la zona), las elevaciones varían entre los 20 y 80 msnm, observándose las mayores elevaciones en el sector sureste de la misma.

#### 4.4.2.3 Lago Gatún

El Lago Gatún, Zona 3, fue formado hace casi un siglo por la construcción de la represa de Gatún que inundó las extensiones bajas de los ríos Chagres, Cirí Grande, Trinidad y Gatún. El nivel operativo del Lago está controlado por un vertedero hidráulico ubicado en el lado Oeste de las esclusas de Gatún, el cual vierte las aguas hacia el cauce inferior del río Chagres, y que a su vez desemboca en el mar Caribe. El nivel operativo del Lago oscila entre un mínimo de 24.8 m (81.5') y 26.7 m (87.5') PLD 32 para el nivel superior. Al formarse el lago Gatún, se inundó un área de 45,000 hectáreas. Por la forma de los valles inundados, el Lago es más profundo en el lado Norte-Oeste, alcanzando los 25 m de profundidad cerca de las esclusas de Gatún.

El 53% de la zona está dominada por un rango de pendientes entre 25 – 45%, con elevaciones entre los 20 y 340 msnm. Las elevaciones más altas la constituyen el cerro Urabá y el cerro Balboa, ambos localizados en dirección Sur, en el límite con la Zona 4. Esta zona es la que abarca la mayor cantidad de superficie (aprox. 3555 hectáreas) con pendientes de 45% y más.

#### 4.4.2.4 Corte Culebra

Esta sección del AEE, denominada como Zona 4, se extiende desde la Esclusa de Pedro Miguel hasta la confluencia con el río Chagres, a la altura de Gamboa; en la misma, el 59% de su extensión, está dominada por pendientes entre un 25 – 45%. Las elevaciones varían entre 40 y 300 msns, siendo las elevaciones más altas los cerros Tigre, Mitres y Marieta, distribuidos a ambos lados del canal de navegación.

A lo largo del corte, existen varios sitios terrestres; tales como el T2, T3/T5 y el T4 (Figura 3-15), los cuales han sido designados para depósito de material de excavación seca y dragado, que es extraído por excavación desde la ladera del Canal. Asimismo, también se encuentran otros

sitios que reciben material de dragado húmedo. Estos sitios, por lo general, son áreas relativamente planas y con pendientes suaves, cuya topografía es transformada en función de las tareas relacionadas con el vertido del material proveniente de las excavaciones y de los dragados.

#### 4.4.2.5 Esclusas del Pacífico

La zona que comprende las Esclusas de Miraflores y Pedro Miguel, Zona 5, incluye instalaciones relacionadas a la operación del Canal y los sistemas existentes de esclusas. Dichas esclusas, están separadas por el lago artificial de Miraflores (2.8 km<sup>2</sup>), formado por la construcción de un embalse que cruza el valle del río Grande.

Al Suroeste de las esclusas existentes, está ubicada la huella o trazo del tercer juego de esclusas propuesto. Dicha huella, se encuentra en el área de las excavaciones de 1939 (abandonadas en 1942 y hoy cubiertas por lagunas y bosque secundario). El área mencionada de excavaciones abandonadas incluye, en su recorrido de Sur a Norte, la entrada Sur inundada por agua marina, un tapón de tierra, una laguna profunda de agua salobre, un tapón intermedio, otra laguna, el tapón Norte, fragmentos de un bosque secundario, y una entrada hasta el lago de Miraflores.

En esta zona se encuentran varios sitios de depósito terrestres (T6, T7/Cocoli y T8/Victoria), que han sido utilizados históricamente y aún se siguen utilizando, para el depósito de material de dragado (húmedo) o de excavación (seco). Parte del área localizada al Oeste del Canal se encuentra dentro del antiguo campo de tiro Emperador, el cual aún contiene áreas con material explosivo no detonado. El sitio T6, ubicado dentro de los predios del campo de tiro, ha sido designado como depósito terrestre de materiales.

En más del 45% de esta zona, dominan las pendientes entre un 25 – 45%, mientras que las elevaciones varían entre los 20 y 220 msnm. La elevación más prominente la constituye el cerro Santa Cruz, ubicado al oeste del polígono del Sitio T6. Dentro de esta zona también se encuentran otros cerros como el cerro Paraíso (Cartagena), Aguadulce y Cocolí.

#### 4.4.2.6 La Costa Pacífica

Esta zona cuenta con una extensa área costera que corresponden a áreas portuarias, industrializadas o urbanas.

El 31% de la zona se encuentra dominada por pendientes entre 25 – 45%, y un 24% de la misma presenta pendientes relativamente bajas, entre 7 y 15%. Las elevaciones varían entre 20 y 206 metros, siendo las elevaciones más altas el cerro Ancón y la Sierra Miñón.

En lo que se refiere a la batimetría de la zona, de acuerdo a estudios y registro llevados a cabo por la ACP se conoce que las bordadas de la entrada al Canal han sido dragadas a 16.49 m por debajo del PLD<sup>6</sup>. Otros estudios llevados a cabo en el área del puerto de Rodman, muestran profundidades entre los 3.1 y 12.2 metros, y señalan la modificación del fondo marino debido a la constante sedimentación de material procedente de la red hidrográfica, así como por la continua sedimentación debido a fenómenos de erosión en tierra firme (REA Consulting, 2002).

Estudios llevados a cabo por la ACP de los sitios marinos de depósito de material de dragado de Palo Seco, Tortolita y Tortolita Sur, en el sector Pacífico, reflejan profundidades entre los 0.2 y -13.6 metros. En el caso de Palo Seco, la máxima profundidad registrada fue de unos 2.25 metros (Figura 4-10). En cuanto al sitio de depósito de Tortolita, el fondo marino del mismo muestra un patrón de profundidades bastante uniformes, con algunos picos que seccionan el sitio en dos, y máximas profundidades del orden de 11 metros (Figura 4-11). El sitio Tortolita Sur, presenta profundidades entre los 10 y 13.6 metros, el fondo se distribuye uniformemente, tendiendo a presentar un leve declive en dirección Norte a Sur (Figura 4-12).

En cuanto al comportamiento a lo largo del tiempo de estos sitios, según el análisis comparativo de los cambios en la batimetría de los mismos, entre 1998 y 2006, realizado como parte del Estudio de Impacto Ambiental para el Ensanche y Profundización del Cauce de la Entrada Pacífica del Canal de Panamá, se observa lo siguiente:

---

<sup>6</sup> PLD = Precise Level Datum and approximates mean sea level.

- Palo Seco: Cambios muy pequeños, la mayoría se sitúan entre  $-0.25$  m y  $0.25$  m, una distribución normal alrededor de  $0$ , un valor máximo de  $2.21$  m (adición) y uno mínimo de  $-0.62$  m (erosión). Los cambios mínimos en el nivel del lecho se asocian a que el mismo no fue utilizado en el periodo en que se hizo la comparación. Los datos comparados corresponden a los años 2003-2006.
- Tortolita: Cambios significativos situados en su mayoría dentro de los  $+1$  m con valores extremos de  $-3.95$  m y  $4.59$  m y con una media de  $0.25$  m la cuál refleja una pequeña disminución promedio en las profundidades. Los cambios observados, pueden reflejar o pueden considerarse atribuibles al impacto local asociado a la actividad de depósito de bajo nivel. Los datos comparados corresponden a los años 2002-2006.
- Tortolita Sur: Cambios significativos que reflejan acumulación de un gran montículo de material a través de todo el sitio de depósito, con grandes áreas que muestran una pérdida de profundidad de más de  $2$  m. Las variaciones oscilan entre  $0$  y  $2.5$  m. Este cambio en el sitio puede atribuirse a su uso entre el 2002 y el 2006 para el programa de modernización del canal. Los datos comparados corresponden a los años 1998-2005.

## 4.5 Clima

El reconocimiento de las condiciones climáticas dentro del AEE, es de vital importancia para la interpretación general de las condiciones ambientales del área y su influencia durante la gestión del Proyecto. En esta sección, se presentan las principales características climáticas para la zona donde se desarrollarán los trabajos de ampliación del Canal de Panamá.

### 4.5.1 Metodología

Para el desarrollo de esta sección, se ha realizado una consulta de los estudios previos realizados por la ACP, y se han analizado datos climáticos de algunas estaciones que conforman la red de estaciones hidrometeorológicas de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), ubicadas en las proximidades del Área de Estudio Específico.

Las estaciones de referencia utilizadas son las estaciones de Tipo A, las cuales brindan la información meteorológica más completa para este tipo de análisis. Se hace énfasis en las estaciones ubicadas en zonas representativas del AEE, a saber: en la Zona de La Costa Atlántica, la Estación Limón Bay; para la Zona del Lago Gatún, la Estación Gamboa; y para la Zona de La Costa Pacífica, la Estación de Balboa. Debido a la relativa poca variabilidad espacial de las variables climáticas entre una zona y otra dentro del AEE, se considera suficiente para fines de una caracterización adecuada, utilizar los datos de tres de las zonas, las cuales representan las condiciones climáticas presentes en los extremos (Atlántico y Pacífico) y en una sección intermedia del área de estudio.

En la Figura 4-13 se muestra la ubicación de las Estaciones Hidrometeorológicas consideradas en el presente análisis, mientras que en la Tabla 4-32 se describen las características principales de dichas estaciones.

**Tabla 4-32**

**Estaciones Hidrometeorológicas Consideradas para el Estudio del Clima**

Nº	Nombre	Elevación (m)	Coordenadas UTM		Tipo de Estación	Parámetros	Río, Lago o Mar
			X	Y			
4	Gamboa	31.4	643528.95	1007454.88	Principal (Tipo A) / Limnigráfica	ML	Gatún
26	Balboa FAA	10.1	659468.14	991664.02	Principal (Tipo A)	M	–
31	Limón Bay	3.05	619176.66	1034280.22	Principal (Tipo A) / Mareográfica	MLT	Atlántico

M = Meteorológicos (precipitación; temperatura del aire; velocidad, dirección y ráfaga del viento; humedad relativa; radiación solar; y presión barométrica), L = Nivel de lago o marea, T = Temperatura.

Fuente: Anuario Hidrológico, ACP. 2005.

Para las estaciones estudiadas, se utilizó información del período de registro de 10 años, de 1996 a 2005<sup>7</sup>. Los datos para el análisis fueron facilitados por la Sección de Meteorología de la ACP.

## 4.5.2 Caracterización Climática

Para efectos de caracterizar el clima, se han seleccionado como variables básicas a describir las siguientes: precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, radiación solar y evapotranspiración.

### 4.5.2.1 Tipos de Climas

De acuerdo con el sistema de clasificación de Köppen, se observan tres tipos de climas en el AEG: Clima Tropical Muy Húmedo, Clima Tropical Húmedo y Clima Tropical de Sabana, ubicado este último en el sector Pacífico de la cuenca del Canal (Figura 4-13), según se describe a continuación:

- **Clima Tropical Muy Húmedo (Afi)** :Ubicado en forma limitada a los extremos Noreste y Noroeste del AEG. Este tipo de clima se caracteriza por una precipitación copiosa durante todo el año. Durante el mes más seco (febrero) las precipitaciones suelen ser más de 60mm, la temperatura media del mes más fresco (noviembre) es mayor de 18 °C, y la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido (agosto) y el mes más fresco es menor de 5 °C.
- **Clima Tropical Húmedo (Ami)** :Ubicado a lo largo de toda el AEG, ocupando la totalidad de la superficie en el área Atlántica y gran parte del sector Pacífico. En el AEG aproximadamente el 90% esta bajo la influencia de este tipo de clima, caracterizado por una precipitación anual promedio mayor de 2,500 mm, una estación seca pronunciada de tres meses (enero ó marzo) y una temperatura promedio anual entre 24 °C y 26 °C.

---

<sup>7</sup> En el caso de la Estación de Limon Bay gran parte de los datos iniciaron registro a partir del 2001.

- **Clima Tropical de Sabana (Aw):** Ubicado en el sector Pacífico del AEG. Se caracteriza por precipitaciones anuales menores de 2,500 mm, estación seca prolongada (meses con lluvia menor que 60 mm) en el invierno del hemisferio norte (entre los meses de enero ó marzo), temperatura media del mes más fresco (noviembre) mayor de 18 °C, y diferencia entre la temperatura media del mes más cálido (abril) y el mes más fresco menor de 5 °C.

#### 4.5.2.2 Precipitación

La precipitación promedio anual, registrada en las estaciones de la ACP dentro o próximas al AEE (Limon Bay, Gamboa y Balboa FAA) varía entre 1891.3 mm y 2786.7 mm, correspondiendo el valor más bajo a la estación de Balboa FAA y el más alto a la estación de Limon Bay. En la Tabla 4-33 y en la Gráfica 4-1 se muestra la variación de los valores anuales en cada estación.

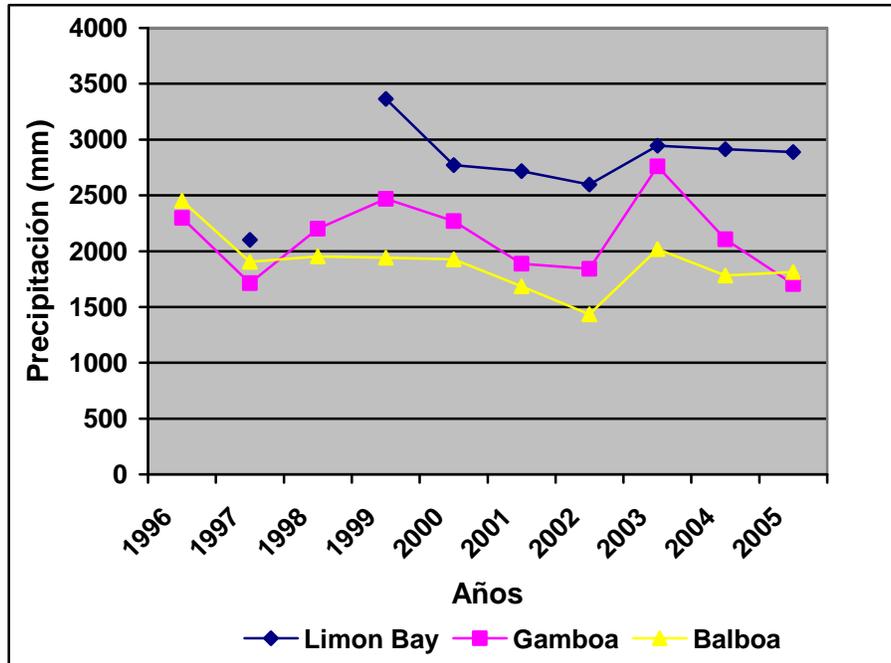
**Tabla 4-33**  
**Precipitación Anual**  
**(mm)**

**Periodo 1996 – 2005 en Estaciones Indicadas**

<b>Año</b>	<b>Limón Bay</b>	<b>Gamboa</b>	<b>Balboa FAA</b>
<b>1996</b>	---	2298.7	2451.1
<b>1997</b>	2100.6	1714.5	1905.0
<b>1998</b>	---	2199.6	1953.3
<b>1999</b>	3363.0	2468.9	1940.6
<b>2000</b>	2771.1	2270.8	1927.9
<b>2001</b>	2717.8	1887.2	1684.0
<b>2002</b>	2595.9	1841.5	1435.1
<b>2003</b>	2943.9	2761.0	2019.3
<b>2004</b>	2913.4	2108.2	1783.1
<b>2005</b>	2888.0	1704.3	1813.6
<b>Promedio</b>	2786.7	2139.60	1891.3

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Gráfica 4-1**  
**Precipitación Anual**  
**Periodo 1996 – 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

Estos datos muestran las características típicas de la región, hacia el Atlántico (Limon Bay) el clima es húmedo y las precipitaciones son mayores, en tanto que para el Pacífico (Balboa FAA) el clima es más seco, con precipitaciones considerablemente menores. Al analizar los datos de la Tabla y Gráfica mostrados arriba, se observa que el año 1997 fue el más seco en los sectores de Gatún y del Atlántico, con una precipitación anual de cerca al 75% y 80% de la media anual respectivamente. Esta condición fue influenciada por la presencia del Fenómeno del Niño en Panamá en dicha época (1997 – 1998), el cual se caracteriza por traer consigo periodos de sequía. Nuevamente, entre los años 2002 –2003, se sintió la presencia de dicho fenómeno climático en Panamá, esta vez con mayor intensidad en el sector del Pacífico, donde la precipitación del año 2002 apenas alcanzó cerca del 76% de la media anual, aunque su intensidad en los otros sectores fue relativamente menos severa que en el periodo precedente.

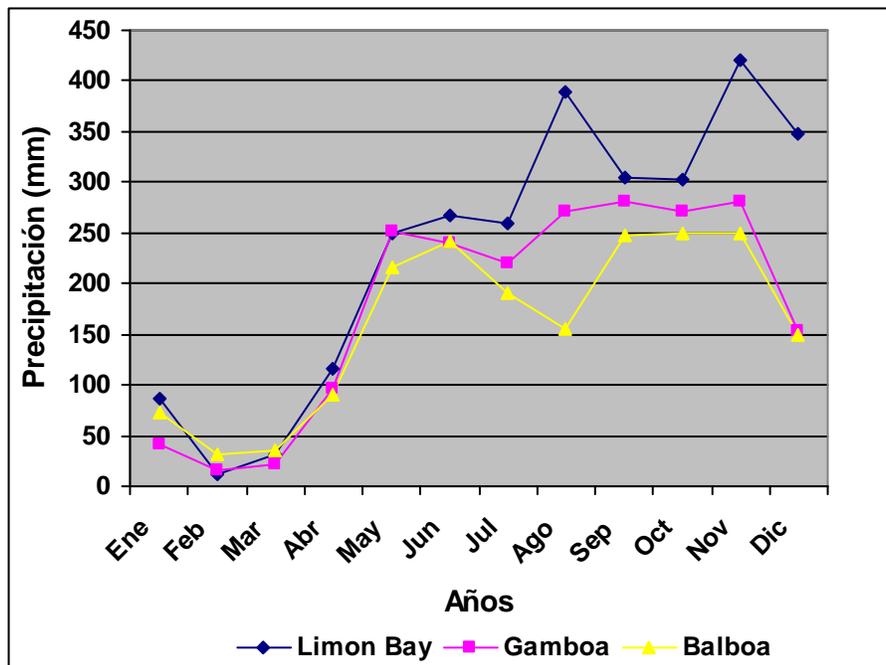
En la Tabla 4-34 y Gráfica 4-2 se muestran los valores de precipitación medios mensuales de las tres estaciones analizadas mencionadas arriba, como promedio del periodo de 10 años comprendido entre 1996 y 2005.

**Tabla 4-34**  
**Precipitación Promedio Mensual y Promedio Anual (mm)**  
**Periodo 1996 –2005**

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Limón Bay	86.7	11.4	31.4	115.9	250.2	267.3	259.1	389.3	305.4	301.9	420.4	347.7	2786.7
Gamboa	40.9	15.5	20.8	95.4	251.9	239.0	219.6	270.9	281.5	270.2	281.2	152.9	2139.6
Balboa	72.0	31.4	35.5	90.3	216.4	241.3	191.5	155.9	247.6	250.2	249.7	149.6	1931.4

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Gráfica 4-2**  
**Precipitación Promedio Mensual (mm)**  
**Periodo 1996 – 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

En términos generales, se observa un aumento considerable en la precipitación promedio mensual entre los meses de mayo y diciembre, contra los niveles de precipitación para los meses de enero a abril, coincidiendo esto con la estación lluviosa y la estación seca típicas del País.

Cabe mencionar que, el funcionamiento del Canal de Panamá depende absolutamente de las lluvias que caen en la Cuenca (3360 km<sup>2</sup>). La estación seca (4 meses de duración), se caracteriza por falta de lluvias debido a la acción de los vientos alisios y el movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical en el Istmo. El régimen pluviográfico de la Cuenca está influenciado por la Zona de Convergencia Intertropical, la cual es responsable de que en Panamá ocurran dos períodos climáticos.

#### 4.5.2.3 Temperatura

El comportamiento de la temperatura ambiente presenta pocas fluctuaciones a lo largo de un período de registro de 10 años (1996 – 2005), de acuerdo a los datos de las Estaciones de Limón Bay, Gamboa y Balboa FAA de la ACP mostrados en las Tablas 4-35 y 4-36.

**Tabla 4-35**  
**Temperatura Promedio Anual (°C)**  
**Periodo 1996 –2005 en Estaciones Indicadas**

<b>Año</b>	<b>Limon Bay</b>	<b>Gamboa</b>	<b>Balboa</b>
<b>1996</b>	--	25.8	26.0
<b>1997</b>	--	26.7	26.8
<b>1998</b>	--	26.7	27.1
<b>1999</b>	--	25.7	26.0
<b>2000</b>	--	25.8	26.1
<b>2001</b>	27.3	26.1	26.3
<b>2002</b>	27.3	26.7	27.1
<b>2003</b>	26.6	25.9	26.8
<b>2004</b>	26.4	26.0	27.0
<b>2005</b>	26.8	26.7	27.5
<b>Promedio</b>	26.9	26.2	26.7

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

La temperatura promedio anual en la Estación de Limon Bay alcanza un valor promedio de 26.9 °C con una máxima de 27.3 °C en el año 2001 y una mínima de 26.4 °C para el 2004. Por su

parte, la Estación de Gamboa presenta una temperatura promedio anual de 26.2 °C, la cual oscila entre un máximo de 26.7 °C para los años 1997, 1998, 2002 y 2005 y un mínimo 25.7 °C en el año 1999. Finalmente, la Estación de Balboa FAA registró un promedio anual de temperatura de 26.7 °C, con máximas de 27.5 °C durante el año 2005 y mínimas de 26.0 °C para los años 1996 y 1999 (Tabla 4-35). Se observa que las diferencias en cuanto a temperatura entre las tres estaciones es muy poca.

Para la Estación de Limon Bay, las temperaturas promedios mensuales estuvieron entre 26.4 °C y 27.1 °C, presentándose las temperaturas más elevadas durante la temporada seca y las menores en la época lluviosa. Las temperaturas promedios mensuales oscilan entre los 25.6 a 27.0 °C en la Estación Gamboa, siendo en promedio el mes de noviembre el más fresco, mientras que el mes de abril resulta ser el más caluroso (Tabla 4-36). Condiciones similares a la registrada en las Estaciones de Limon Bay y Gamboa, se presentan en la Estación Balboa FAA. A manera de conclusión, se puede apreciar en la Tabla 4-36 que, en cuanto a condiciones extremas (máximas y mínimas) se refiere, los meses de marzo y abril presentan los registros más elevados de temperatura máxima, lo que coincide con una escasa precipitación; mientras que en los meses de octubre y noviembre se registran los promedios menos elevados de temperatura, coincidiendo con la temporada lluviosa.

**Tabla 4-36**  
**Promedio Mensual, Máxima Media y Mínima Media de la Temperatura (°C)**  
**Periodo 1996-2005**

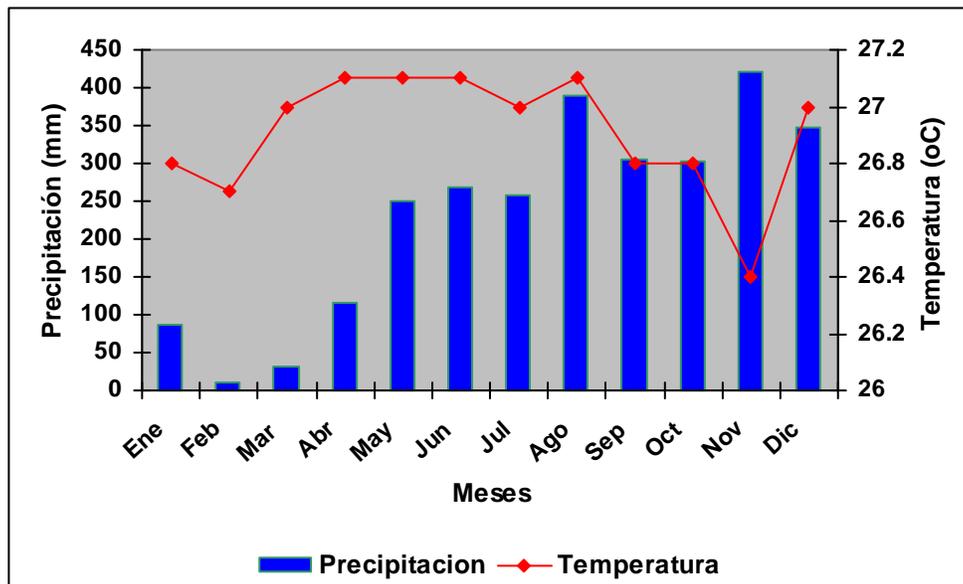
Estaciones Mes	Limon Bay			Gamboa			Balboa		
	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo
Ene	26.8	27.4	26.2	26.0	27.2	24.8	26.5	28.3	25.5
Feb	26.7	27.2	25.9	26.3	27.7	25.0	27.0	27.9	26.1
Mar	27.0	27.5	26.7	26.6	28.1	25.7	27.5	28.6	26.5
Abr	27.1	27.5	26.7	27.0	28.6	26.1	27.7	28.4	27.0
May	27.1	27.5	26.5	26.7	28.1	25.6	27.1	27.9	26.2
Jun	27.1	28.1	26.3	26.4	27.7	25.6	26.6	27.1	25.8
Jul	27.0	27.8	26.1	26.0	27.6	25.1	26.5	27.3	26.0
Ago	27.1	28.3	26.1	26.1	27.5	25.1	26.5	27.3	25.8
Sep	26.8	27.4	26.1	25.8	27.6	24.8	26.2	27.0	25.3
Oct	26.8	27.9	26.1	25.8	26.9	24.7	26.2	26.7	25.5

Estaciones Mes	Limon Bay			Gamboa			Balboa		
	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo
Nov	26.4	27.2	25.5	25.6	27.1	24.6	25.9	26.6	25.3
Dic	27.0	27.7	25.9	25.9	27.0	24.7	26.0	27.3	25.6
<b>Promedio</b>	<b>26.9</b>	<b>27.3</b>	<b>26.4</b>	<b>26.1</b>	<b>27.5</b>	<b>25.1</b>	<b>26.6</b>	<b>27.5</b>	<b>25.8</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

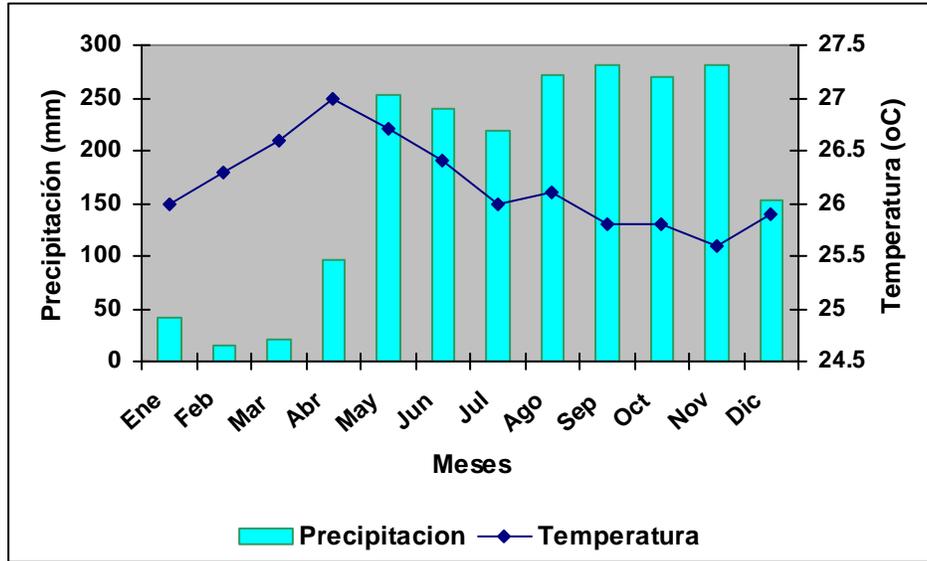
La temperatura y la precipitación guardan una relación de variables directa, observándose, en base a los promedios mensuales para ambos parámetros, en el periodo entre 1996 y 2005, que las mismas son generalmente inversamente proporcionales, en particular para los meses de noviembre a febrero. Es decir, a mayor precipitación menor temperatura, y viceversa; esto puede apreciarse en las Gráficas 4-3, 4-4 y 4-5 de las Estaciones de Limon Bay, Gamboa y Balboa AFAA mostradas a continuación.

**Gráfica 4-3**  
**Precipitación y Temperatura Promedio Mensual**  
**Registrada en la Estación de Limon Bay**  
**Periodo 1996 – 2005**



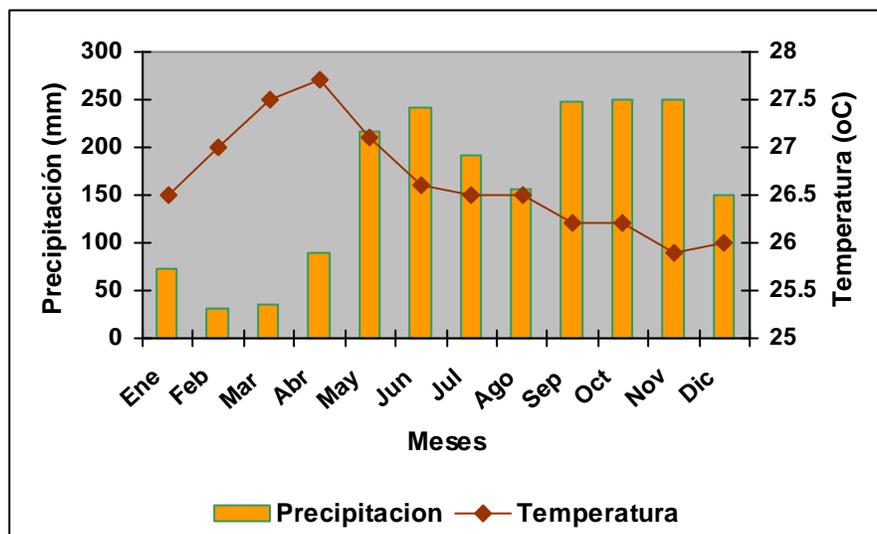
Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Gráfica 4-4**  
**Precipitación y Temperatura Promedio Mensual**  
**Registrada en la Estación de Gamboa**  
**Periodo 1996 – 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Gráfica 4-5**  
**Precipitación y Temperatura Promedio Mensual**  
**Registrada en la Estación de Balboa FAA**  
**Periodo 1996 – 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

#### 4.5.2.4 Humedad Relativa

La humedad relativa se encuentra muy relacionada con la precipitación, siendo en términos generales directamente proporcional; es decir, a mayor precipitación corresponde una mayor humedad relativa y viceversa.

Esta relación se puede apreciar en los datos de la Estación Limon Bay (Tabla 4-37), donde se muestra que la menor humedad relativa se registró durante los primeros meses, o sea, en la temporada seca y éstas estuvieron entre 83.1 y 85.6%. En tanto que, valores más elevados de humedad relativa fueron documentados en los meses de la estación lluviosa, encontrándose ente 89.5 y 99.3%.

**Tabla 4-37**  
**Humedad Relativa Promedio Mensual y Anual (%)**  
**Estación de Limon Bay**  
**Periodo 2001-2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Prom</b>
2001	85.0	83.8	85.1	86.2	87.7	87.8	89.6	89.8	89.3	89.6	90.2	86.2	<b>87.5</b>
2002	87.4	84.6	86.1	86.5	89.4	90.2	91.2	99.3	99.0	99.1	92.4	85.0	<b>90.9</b>
2003	83.1	84.1	83.6	85.6	89.9	90.4	91.1	90.7	89.7	90.1	91.5	89.5	<b>88.3</b>
2004	84.6	84.4	85.3	87.5	89.7	89.9	90.3	91.3	92.7	92.5	90.5	86.7	<b>88.8</b>
2005	87.3	85.6	86.8	87.6	91.4	91.8	89.8	92.5	96.3	94.1	91.1	83.1	<b>89.8</b>
<b>Prom</b>	<b>85.5</b>	<b>84.5</b>	<b>85.4</b>	<b>86.7</b>	<b>89.6</b>	<b>90.0</b>	<b>90.4</b>	<b>92.7</b>	<b>93.4</b>	<b>93.1</b>	<b>91.1</b>	<b>86.1</b>	<b>89.0</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

Como se mencionó anteriormente, los meses con menor humedad relativa corresponden a aquellos marcados por la temporada seca, para los cuáles dicho parámetro, en la Estación de Gamboa, fluctúa entre 65.7 y 70.2 %; mientras que los meses de la estación lluviosa presentan promedios más elevados de humedad relativa, los cuales fluctúan entre 91.4 y 97.4% (Tabla 4-38).

**Tabla 4-38**  
**Humedad Relativa Promedio Mensual y Anual (%)**  
**Estación de Gamboa**  
**Periodo 1996-2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Prom</b>
1996	82.1	78.6	76.1	78.0	79.9	82.2	83.3	84.8	84.8	78.3	84.7	81.0	<b>81.1</b>
1997	78.5	73.9	68.0	68.6	77.3	82.7	81.0	81.6	81.1	80.3	80.5	73.4	<b>77.2</b>
1998	70.2	69.0	65.7	68.7	74.5	77.0	76.8	76.5	74.1	73.2	74.4	84.8	<b>73.7</b>
1999	76.1	71.6	70.6	72.5	78.5	86.8	79.3	76.6	74.9	73.1	72.9	75.7	<b>75.7</b>
2000	84.8	78.0	73.7	77.7	86.0	88.4	86.0	77.1	85.3	86.2	84.5	84.6	<b>82.7</b>
2001	81.6	78.6	79.2	77.8	82.1	84.4	85.8	84.3	82.9	82.5	82.0	82.5	<b>82.0</b>
2002	78.0	74.8	75.2	76.0	77.4	82.0	82.5	82.7	82.4	82.4	82.4	78.1	<b>79.5</b>
2003	75.2	74.5	73.5	76.7	82.1	82.1	84.3	84.3	84.4	94.0	85.5	83.7	<b>81.7</b>
2004	88.1	84.9	82.8	87.0	91.1	91.6	94.4	96.3	97.1	97.0	95.9	95.5	<b>91.8</b>
2005	86.3	83.1	85.3	86.2	91.4	91.1	91.6	91.5	92.5	96.6	97.4	95.4	<b>90.7</b>
<b>Prom</b>	<b>80.1</b>	<b>76.7</b>	<b>75.0</b>	<b>76.9</b>	<b>82.0</b>	<b>84.8</b>	<b>84.5</b>	<b>83.6</b>	<b>84.0</b>	<b>84.4</b>	<b>84.0</b>	<b>83.5</b>	<b>81.6</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

Con relación a la Estación de Balboa FAA, el análisis de la humedad relativa en este sitio, brinda resultados similares a los obtenidos para Limon Bay y Gamboa, donde la humedad relativa más baja se presenta durante los primeros meses del año, con un rango de 64.9 a 70.5%. Mientras que los mayores valores fueron obtenidos en los meses de la temporada lluviosa, los cuales oscilaron de 88.8 hasta 93.8% (Tabla 4-39).

**Tabla 4-39**  
**Humedad Relativa Promedio Mensual y Anual (%)**  
**Estación de Balboa**  
**Periodo 1996-2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Prom</b>
1996	80.2	75.2	72.8	74.2	83.7	85.3	83.6	84.0	84.9	84.1	83.2	80.0	80.9
1997	75.3	72.3	66.1	69.3	77.3	83.5	82.5	82.7	85.2	85.2	85.4	75.9	78.4
1998	70.5	70.2	64.9	70.9	81.1	84.6	84.3	84.7	82.5	82.8	84.3	85.4	78.9
1999	76.2	70.7	69.9	75.3	82.2	84.2	83.0	84.1	82.5	82.9	83.3	82.7	79.8
2000	73.7	68.8	65.4	69.8	80.4	83.0	81.8	81.7	82.7	82.8	81.7	80.3	77.7
2001	74.7	70.9	71.6	70.5	77.9	80.3	80.7	80.6	82.4	82.5	82.2	82.2	78.0
2002	77.3	72.8	72.0	74.9	74.7	77.4	81.3	81.9	82.8	83.3	82.9	79.2	78.4
2003	74.2	72.0	73.2	73.8	82.5	84.4	83.2	83.6	83.6	85.1	85.4	81.7	80.2
2004	82.5	78.8	75.3	80.0	86.0	88.8	92.2	93.8	92.5	93.4	93.2	88.2	87.1

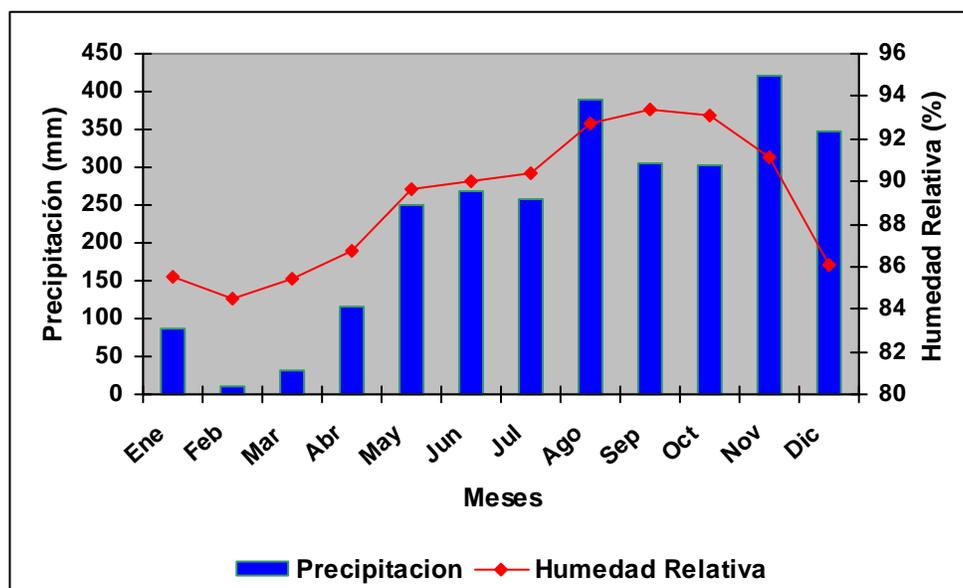
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
2005	80.7	76.1	80.1	83.3	89.1	88.2	89.0	91.6	93.2	92.9	92.5	88.5	87.1
<b>Prom</b>	<b>76.5</b>	<b>72.8</b>	<b>71.1</b>	<b>74.2</b>	<b>81.5</b>	<b>83.9</b>	<b>84.1</b>	<b>84.8</b>	<b>85.2</b>	<b>85.5</b>	<b>85.4</b>	<b>82.4</b>	<b>80.6</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

Los datos de las tres Estaciones demuestran que, durante los primeros años la humedad relativa fue menor, para el caso de las Estaciones de Gamboa y Balboa FAA fue el año de 1998, en cuanto a la Estación de Limon Bay, para la cual sólo se cuenta con cinco (5) años de registro, fue el año 2001. Por su parte, los registros más elevados de humedad relativa, coinciden para las Estaciones de Gamboa y Balboa FAA en los años 2004 y 2005, mientras que Limon Bay presentó mayor humedad relativa en los años 2002 y 2005 (Tablas 4-37, 4-38 y 4-39).

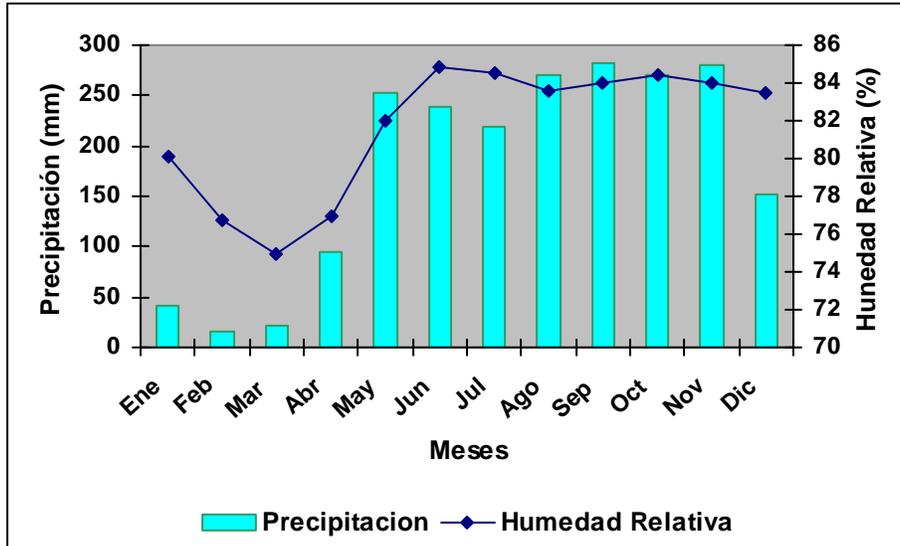
En las Gráficas 4-6, 4-7 y 4-8 se muestra la relación existente entre los promedios mensuales de precipitación y los promedios mensuales de humedad relativa para las Estaciones de Limon Bay, Gamboa y Balboa FAA respectivamente.

**Gráfica 4-6**  
**Precipitación y Humedad Relativa Promedio Mensual**  
**Estación de Limon Bay**  
**Periodo 2001 – 2005**



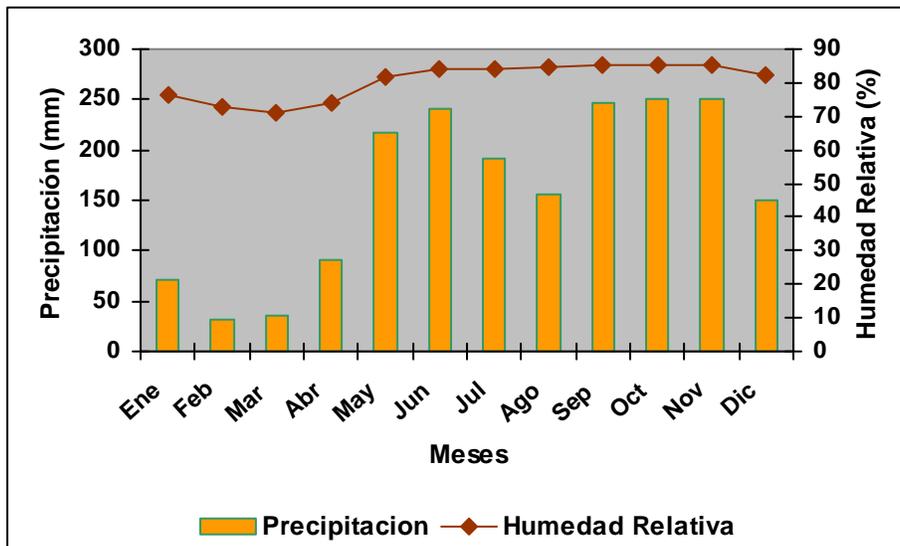
Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Gráfica 4-7**  
**Precipitación y Humedad Relativa Promedio Mensual**  
**Estación de Gamboa**  
**Periodo 1996 - 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Gráfica 4-8**  
**Precipitación y Humedad Relativa Promedio Mensual**  
**Estación de Balboa AFAA**  
**Periodo 1996 - 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

#### 4.5.2.5 Velocidad del Viento

Para un periodo de cinco años de registro (2001-2005), la Estación de Limon Bay presenta velocidades promedio del viento relativamente altas, con intensidades que van a lo largo del año desde 11.7 km/hr en el mes de septiembre hasta 28.8 km/hr durante febrero. Las mayores velocidades del viento se registran en los primeros meses del año (enero, febrero, marzo y abril), en tanto que la misma comienza a disminuir a medida que inicia la temporada lluviosa, o sea en los meses de mayo a diciembre (Tabla 4-40).

Por su parte, los promedios mensuales de la velocidad del viento medidos en la Estación Meteorológica de Gamboa, son de intensidad moderada, alcanzando su máximo durante la temporada seca y oscilando durante todo el año entre una velocidad promedio de 2.9 a 7.0 km/hr, correspondiendo la mayor velocidad promedio al mes de marzo. Tal como se observa en la Tabla 4-41, los meses de enero a abril son los que registran las mayores velocidades promedio de viento, lo cual coincide con la temporada seca y es característico de la misma.

Con respecto a la Estación de Balboa AFAA, los vientos promedio máximos se presentan igualmente durante la estación seca, con una velocidad promedio que fluctuó de 5.4 a 8.7 km/h durante un período de 10 años (1996 – 2005), coincidiendo con la Estación de Gamboa con el mes de marzo como el de mayor velocidad promedio (Tabla 4-42). Los meses que registraron las mayores velocidades promedio de viento, fueron los meses desde enero hasta abril (Tabla 4-42), lo que es característico de la época seca.

**Tabla 4-40**  
**Velocidad Promedio del Viento (km/hr)**  
**Estación de Limon Bay**  
**Periodo 2001 – 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Promedio</b>
<b>2001</b>	27.0	32.5	23.8	29.1	16.1	18.5	15.4	15.6	12.4	13.4	15.6	16.7	19.7
<b>2002</b>	26.9	30.4	29.8	28.0	22.0	12.4	15.8	16.7	11.3	12.2	16.4	23.0	20.4
<b>2003</b>	27.2	25.6	23.3	19.3	13.7	11.6	12.4	14.0	11.1	11.1	12.6	20.1	16.8
<b>2004</b>	26.1	26.9	32.2	23.2	17.1	14.0	13.2	13.4	11.1	11.6	14.8	23.8	18.9
<b>2005</b>	29.5	28.8	19.2	20.0	12.1	11.4	13.2	12.9	12.7	13.4	15.3	19.0	17.3
<b>Promedio</b>	<b>27.3</b>	<b>28.8</b>	<b>25.7</b>	<b>23.9</b>	<b>16.2</b>	<b>13.6</b>	<b>14.0</b>	<b>14.5</b>	<b>11.7</b>	<b>12.3</b>	<b>14.9</b>	<b>20.5</b>	<b>18.6</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Tabla 4-41**  
**Velocidad Promedio del Viento (km/hr)**  
**Estación de Gamboa**  
**Periodo 1996 – 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Promedio</b>
<b>1996</b>	6.3	7.7	7.7	6.2	3.6	3.7	3.9	3.7	3.2	3.4	5.5	4.6	5.0
<b>1997</b>	5.7	7.6	8.4	6.6	5.3	3.5	4.5	5.4	3.9	3.0	4.8	4.8	5.3
<b>1998</b>	6.0	5.6	7.5	6.5	4.3	3.2	3.6	3.3	2.5	3.0	4.8	4.0	4.5
<b>1999</b>	4.5	6.0	6.4	5.3	3.2	2.7	3.9	2.6	2.3	2.6	4.1	3.9	4.0
<b>2000</b>	5.0	5.1	5.1	4.8	3.5	3.4	4.2	3.2	2.7	4.3	7.0	5.0	4.5
<b>2001</b>	4.8	6.9	7.4	6.6	5.1	4.0	4.0	4.3	3.2	3.2	5.2	5.0	5.0
<b>2002</b>	5.1	6.1	6.0	6.3	4.8	3.4	4.2	4.3	2.7	2.1	3.4	4.7	4.4
<b>2003</b>	6.6	7.7	7.1	5.8	4.0	2.9	3.7	4.3	3.1	2.6	4.1	4.5	4.7
<b>2004</b>	5.5	7.2	9.0	6.1	4.3	4.2	4.2	4.0	2.9	2.3	3.6	4.3	4.8
<b>2005</b>	5.5	7.9	5.8	6.0	3.4	2.4	2.6	3.1	2.9	2.6	4.1	3.4	4.1
<b>Promedio</b>	<b>5.5</b>	<b>6.8</b>	<b>7.0</b>	<b>6.0</b>	<b>4.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.9</b>	<b>3.8</b>	<b>2.9</b>	<b>2.9</b>	<b>4.7</b>	<b>4.4</b>	<b>4.6</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Tabla 4-42**  
**Velocidad Promedio del Viento (km/hr)**  
**Estación de Balboa**  
**Periodo 1996 – 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Promedio</b>
<b>1996</b>	5.0	6.1	6.7	5.8	3.4	4.0	4.2	4.3	4.0	5.4	6.5	5.2	5.1
<b>1997</b>	6.4	6.6	8.4	8.3	7.1	5.6	6.5	6.9	5.4	4.8	5.4	8.3	6.6
<b>1998</b>	8.8	7.7	9.4	7.8	6.3	5.5	5.9	5.8	5.7	6.4	4.6	4.7	6.5
<b>1999</b>	5.1	7.4	7.7	6.9	5.5	5.3	6.4	5.6	6.0	6.0	6.1	6.6	6.2
<b>2000</b>	6.1	6.8	6.8	7.4	6.3	5.6	6.3	6.0	5.5	6.6	5.3	6.9	6.3
<b>2001</b>	8.7	10.6	9.8	9.2	7.2	5.5	6.3	6.6	5.3	5.3	6.9	6.6	7.3
<b>2002</b>	8.0	9.5	9.7	6.9	8.0	6.6	5.8	6.4	4.8	5.3	5.5	7.2	7.0
<b>2003</b>	10.6	9.8	9.0	8.2	6.1	5.8	5.5	6.9	5.1	4.8	5.6	5.5	6.9
<b>2004</b>	7.2	8.9	10.1	8.2	6.8	6.4	6.4	6.9	6.3	5.3	6.3	7.6	7.2
<b>2005</b>	8.2	10.5	9.0	9.0	6.8	5.6	5.5	6.8	6.1	6.9	7.1	6.4	7.3
<b>Promedio</b>	<b>7.4</b>	<b>8.4</b>	<b>8.7</b>	<b>7.8</b>	<b>6.4</b>	<b>5.6</b>	<b>5.9</b>	<b>6.2</b>	<b>5.4</b>	<b>5.7</b>	<b>5.9</b>	<b>6.5</b>	<b>6.7</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

Con relación a la velocidad máxima del viento, la Estación de Limon Bay llega a presentar velocidades que alcanzan en promedio en el mes de octubre hasta 63.2 km/hr. Durante los cinco años de registro, se obtuvo que en agosto de 2001 la velocidad del viento llegó a 77.1 km/hr (Tabla 4-43). En cuanto a velocidad máxima se refiere, obtenida de la Estación de Gamboa, en promedio estas llegan hasta los 41.1 km/hr durante el mes de marzo; no obstante, la velocidad máxima de viento registrada corresponde al mes de mayo del año 2000, cuando alcanzaron los 70.5 km/hr (Tabla 4-44). Por su parte, para la Estación de Balboa, el mayor promedio en cuanto a velocidad máxima se obtuvo para el mes de marzo, con 42.7 km/h (Tabla 4-45). Sin embargo, el mes de julio del año 2004, registra la velocidad máxima de viento alcanzando los 61.8 km/h (Tabla 4-45).

**Tabla 4-43**  
**Velocidad Máxima del Viento (km/hr)**  
**Estación de Limon Bay**  
**Periodo 2001 – 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Promedio</b>
<b>2001</b>	65.2	61.3	55.2	58.4	65.5	50.9	64.1	77.1	58.4	72.9	64.5	69.0	63.5
<b>2002</b>	55.8	64.1	54.1	57.6	58.7	55.8	58.6	53.1	56.5	67.9	57.0	58.3	58.1
<b>2003</b>	57.8	53.4	48.6	54.7	51.2	46.8	48.1	45.9	52.3	43.1	57.3	59.9	51.6
<b>2004</b>	64.9	62.9	57.1	53.3	64.4	61.3	55.7	67.4	52.8	73.9	55.7	63.6	61.1
<b>2005</b>	66.3	56.8	49.7	54.1	48.8	64.1	55.5	55.7	51.3	58.3	59.5	53.8	56.2
<b>Promedio</b>	<b>62.0</b>	<b>59.7</b>	<b>52.9</b>	<b>55.6</b>	<b>57.7</b>	<b>55.8</b>	<b>56.4</b>	<b>59.8</b>	<b>54.3</b>	<b>63.2</b>	<b>58.8</b>	<b>60.9</b>	<b>58.1</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Tabla 4-44**  
**Velocidad Máxima del Viento (km/hr)**  
**Estación de Gamboa**  
**Periodo de 1996 – 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Promedio</b>
<b>1996</b>	45.2	46.7	39.6	35.2	44.1	33.5	34.6	30.3	32.3	34.6	43.1	40.6	38.3
<b>1997</b>	40.2	44.1	45.5	40.2	39.1	38.5	46.3	39.9	31.4	31.4	33.8	42.3	39.4
<b>1998</b>	41.7	35.2	41.7	38.8	35.9	35.6	33.5	34.1	42.6	37.3	33.2	30.3	36.7
<b>1999</b>	34.6	36.4	43.5	38.1	45.9	33.2	32.0	29.9	29.6	35.9	32.0	42.3	36.1
<b>2000</b>	44.1	40.6	44.6	35.6	70.5	30.9	31.7	36.4	26.7	31.9	29.3	32.8	37.9
<b>2001</b>	35.2	42.5	36.2	35.2	34.9	27.7	32.3	30.4	32.3	31.7	28.8	29.5	33.1
<b>2002</b>	29.9	33.8	39.9	35.6	32.0	35.2	33.6	35.1	35.1	27.2	42.2	31.7	34.3
<b>2003</b>	35.7	41.2	40.9	38.1	30.1	32.8	30.9	34.4	51.2	30.1	32.5	35.2	36.1
<b>2004</b>	43.1	41.0	43.5	36.5	29.9	33.5	30.4	34.8	27.0	29.1	36.2	31.7	34.7
<b>2005</b>	33.2	41.5	35.4	32.3	31.7	29.5	29.9	29.3	27.0	25.6	30.3	30.9	31.4
<b>Promedio</b>	<b>38.3</b>	<b>36.1</b>	<b>41.1</b>	<b>36.6</b>	<b>39.4</b>	<b>34.0</b>	<b>33.5</b>	<b>33.4</b>	<b>33.5</b>	<b>31.5</b>	<b>34.1</b>	<b>34.7</b>	<b>35.8</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

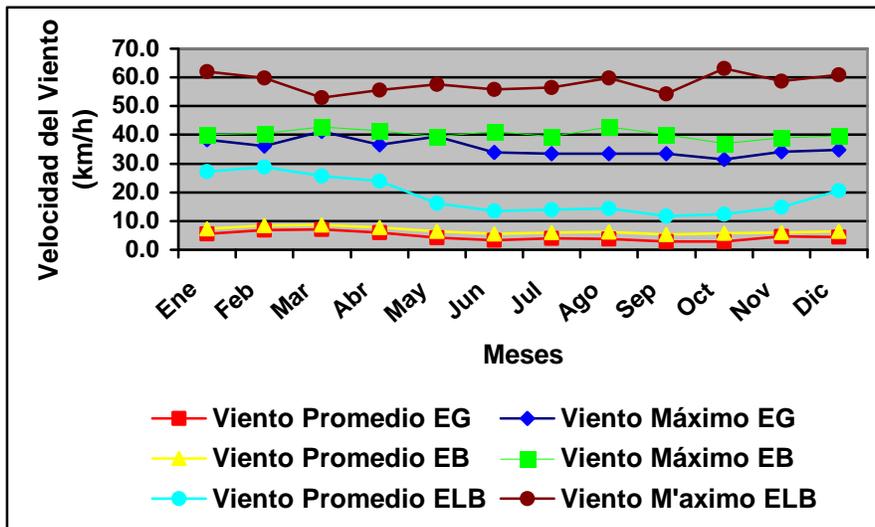
**Tabla 4-45**  
**Velocidad Máxima del Viento (km/hr)**  
**Estación de Balboa FAA**  
**Periodo 1996 – 2005**

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
1996	40.2	38.1	49.6	38.5	34.1	34.9	38.1	34.6	31.7	37.3	38.5	34.1	37.5
1997	35.9	37.0	42.3	40.2	36.7	42.6	46.7	48.4	47.3	33.5	39.1	45.2	41.3
1998	43.5	40.6	48.4	49.1	39.9	48.4	37.3	41.7	35.6	44.6	37.8	37.0	42.0
1999	37.8	40.2	39.9	39.6	33.8	35.9	37.3	34.6	34.9	42.3	34.6	43.8	37.9
2000	53.8	40.6	40.2	42.6	43.5	35.2	40.9	53.6	45.2	37.2	40.4	39.9	42.8
2001	39.1	41.7	41.0	39.4	38.6	49.1	35.9	46.5	47.3	35.9	35.6	39.3	40.8
2002	36.7	40.9	39.4	45.7	35.2	43.3	34.0	40.2	32.3	35.2	49.6	41.4	39.5
2003	38.3	45.5	41.4	43.1	41.4	35.4	30.1	40.7	54.9	34.1	44.1	38.1	40.6
2004	39.1	38.6	45.5	34.9	54.4	46.3	61.8	44.3	32.8	35.2	31.9	38.5	42.0
2005	38.1	42.5	39.3	40.6	37.0	41.5	32.8	43.5	39.3	36.0	37.7	39.8	39.0
<b>Promedio</b>	<b>40.2</b>	<b>40.6</b>	<b>42.7</b>	<b>41.4</b>	<b>39.5</b>	<b>41.3</b>	<b>39.5</b>	<b>42.8</b>	<b>40.1</b>	<b>37.1</b>	<b>38.9</b>	<b>39.7</b>	<b>40.3</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

La Gráfica 4-9 compara la velocidad promedio mensual del viento y las velocidades máximas mensuales registradas en las Estaciones de Limon Bay, Gamboa y de Balboa.

**Gráfica 4-9**  
**Promedio Mensual y Máximo de la Velocidad del Viento**  
**Estaciones de Limon Bay Periodo 2001-2005 (ELB), Gamboa (EG) y de Balboa FAA (EB)**  
**Periodo 1995 – 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

En las Tablas 4-46 y 4-47, se presentan los registros de dirección del viento para las Estaciones de Gamboa y de Balboa FAA. Al comparar los datos obtenidos con la Rosa de los Vientos (Figura 4-14), se observa que para ambas Estaciones, durante todo el año, los vientos siempre se dirigen con dirección hacia el Oeste, con rumbos que oscilan desde el Sur Sudoeste (SSO) hasta el Norte Noroeste (NNO).

**Tabla 4-46**  
**Dirección del Viento (grados)**  
**Estación de Gamboa**  
**Periodo 1996 - 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>1996</b>	349.7	4.4	344.8	333.4	348.5	297.6	304.0	302.1	278.8	144.8	285.6	346.4
<b>1997</b>	339.9	5.3	349.2	338.8	336.1	294.9	312.3	309.1	297.5	313.0	283.6	332.2
<b>1998</b>	337.2	338.7	340.9	328.9	310.0	294.3	293.1	286.5	147.1	162.1	307.5	304.8
<b>1999</b>	356.2	357.0	350.6	336.8	306.0	291.0	297.4	281.0	162.0	172.9	297.2	306.3
<b>2000</b>	357.1	8.2	358.1	337.0	322.8	303.5	301.6	298.8	50.9	289.8	302.7	314.0
<b>2001</b>	344.2	352.2	326.7	343.1	316.5	316.1	310.2	304.3	294.1	306.3	296.8	297.8
<b>2002</b>	331.4	359.1	349.0	342.3	338.3	325.2	302.3	294.8	299.7	288.5	309.4	329.7
<b>2003</b>	341.7	338.6	337.5	325.4	324.1	318.7	306.7	293.4	341.0	99.0	292.8	320.7
<b>2004</b>	1.2	352.9	1.9	340.5	331.8	298.0	305.3	296.9	129.8	276.6	295.9	332.8
<b>2005</b>	356.5	350.7	326.9	319.3	298.4	118.0	295.2	291.5	285.4	139.7	277.8	321.0
<b>Promedio</b>	<b>311.5</b>	<b>246.7</b>	<b>308.6</b>	<b>334.6</b>	<b>323.3</b>	<b>285.7</b>	<b>302.8</b>	<b>295.8</b>	<b>228.6</b>	<b>219.3</b>	<b>294.9</b>	<b>320.5</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Tabla 4-47**  
**Dirección del Viento (grados)**  
**Estación de Balboa**  
**Periodo 1996 - 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>1996</b>	331.9	346.1	342.4	329.2	202.7	297	301.2	337.2	279	216.3	278.3	335.1
<b>1997</b>	336.9	344.2	349.7	341.8	334.2	287.6	325.3	326.6	316.5	285.4	288.3	337.5
<b>1998</b>	341.5	336.8	346.8	335.4	328.7	307.5	314.8	309.9	219.8	206.7	308.5	327.7
<b>1999</b>	357.5	354.4	351.4	338.4	315.8	300.7	320.8	299.7	193.6	194.5	316.2	327.4
<b>2000</b>	351.8	353.4	354.7	354.5	321.3	302.9	311.6	299	184.5	301.7	296.3	313
<b>2001</b>	328.6	332.9	325.6	336	295.9	296.3	298.3	302.8	267.9	267.8	303.8	319.1
<b>2002</b>	340.3	352.2	348.6	346.7	292.7	256.6	319.8	313.1	239.3	287.9	323.3	331.3
<b>2003</b>	355.1	347.9	352.6	337.4	317.4	191.4	311.8	284.1	190.5	174.2	311.6	327.9
<b>2004</b>	347.6	347.6	359.2	342.6	318.2	317.9	321.7	321.2	209.9	204.3	314.3	336.8
<b>2005</b>	351.2	352.4	336.2	335.7	300.1	190.7	289.7	291.3	293.9	186.6	313.8	329.3
<b>Promedio</b>	<b>344.2</b>	<b>346.7</b>	<b>346.7</b>	<b>339.7</b>	<b>302.7</b>	<b>274.8</b>	<b>311.5</b>	<b>308.4</b>	<b>239.4</b>	<b>232.5</b>	<b>305.4</b>	<b>328.5</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

#### 4.5.2.6 Radiación Solar

La radiación solar se intensifica mayormente en los meses de estación seca, que corresponde normalmente durante los cuatro primeros meses del año. Con el inicio de esta estación, a fines del mes de diciembre, se incrementa significativamente el valor de la radiación solar a valores superiores a los 10,000 Langleys, mientras que el resto de los meses se presentan valores por debajo de los 8,000 Langleys.

Para las Estaciones de Limon Bay, Gamboa y de Balboa, es en el mes de marzo cuando se alcanzan los valores de mayor radiación solar promedio con 12,758, 11,800.49 y 12,774.09 Langleys respectivamente. Mientras que la intensidad más baja se registra en el mes de noviembre para las tres Estaciones Meteorológicas; con 8,287 Langleys para Limon Bay, 7,861.94 Langleys en Gamboa y 8,609.03 Langleys para Balboa FAA. Los promedios mensuales de los parámetros antes descritos se presentan en las Tablas 4-48, 4-49 y 4-50, así como en la Gráfica 4-10. El valor de la radiación también puede variar con la presencia o no de vegetación arbórea y su densidad, así como con la presencia de nubes durante el año.

**Tabla 4-48**  
**Radiación Solar Mensual y Anual (Langleys)**  
**Estación de Limon Bay**  
**Periodo 2002 - 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
<b>2002</b>	13,494	13,796	12,348	11,483	11,238	7,787	8,464	9,005	9,633	8,861	8,391	12,334	126,834
<b>2003</b>	11,860	11,700	13,081	10,363	5,332	7,703	10,429	13,892	12,583	9,630	5,608	8,077	120,258
<b>2004</b>	13,169	12,900	12,471	10,404	11,066	10,579	10,163	9,705	12,463	12,423	8,902	12,114	136,359
<b>2005</b>	11,943	12,224	13,131	11,765	9,534	11,563	11,238	9,507	10,139	12,622	10,246	14,193	138,105
<b>Prom.</b>	<b>12,617</b>	<b>12,655</b>	<b>12,758</b>	<b>11,004</b>	<b>9,293</b>	<b>9,408</b>	<b>10,074</b>	<b>10,527</b>	<b>11,205</b>	<b>10,884</b>	<b>8,287</b>	<b>11,680</b>	<b>130,389</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Tabla 4-49**  
**Radiación Solar Mensual y Anual (Langleys)**  
**Estación de Gamboa**  
**Periodo 1996 - 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
<b>1996</b>	7,797	8,226	10,161	8,783	8,076	7,511	7,820	9,537	10,077	9,876	7,560	8,716	104,139
<b>1997</b>	11,249	9,848	12,764	11,662	9,803	10,057	10,198	10,690	9,557	9,607	8,191	10,837	124,463
<b>1998</b>	10,637	10,130	12,312	11,602	10,570	8,530	8,918	8,773	10,042	9,369	8,105	8,246	117,235
<b>1999</b>	11,754	9,775	12,023	10,944	9,118	8,210	8,415	8,691	8,636	8,848	7,537	6,534	110,485
<b>2000</b>	10,531	10,894	11,996	10,393	7,870	6,996	7,824	7,353	8,311	7,946	8,476	7,756	106,346
<b>2001</b>	9,408	10,664	12,314	10,178	9,147	8,258	7,723	8,356	8,702	9,799	6,804	8,827	110,180
<b>2002</b>	12,998	11,906	12,550	11,300	11,253	7,493	7,988	8,390	8,564	8,551	7,454	10,364	118,811
<b>2003</b>	10,624	10,089	12,325	10,349	7,356	7,151	7,151	7,455	8,220	8,061	9,619	8,000	106,398
<b>2004</b>	8,502	10,431	11,197	10,137	8,597	7,615	7,336	6,893	9,002	9,426	7,450	10,111	106,697
<b>2005</b>	9,493	9,298	10,364	10,543	7,804	7,683	6,525	6,582	6,490	8,443	7,423	9,845	100,493
<b>Prom.</b>	<b>10,299</b>	<b>10,126</b>	<b>11,800</b>	<b>10,589</b>	<b>8,959</b>	<b>7,950</b>	<b>7,990</b>	<b>8,272</b>	<b>8,760</b>	<b>8,993</b>	<b>7,862</b>	<b>8,923</b>	<b>110,525</b>

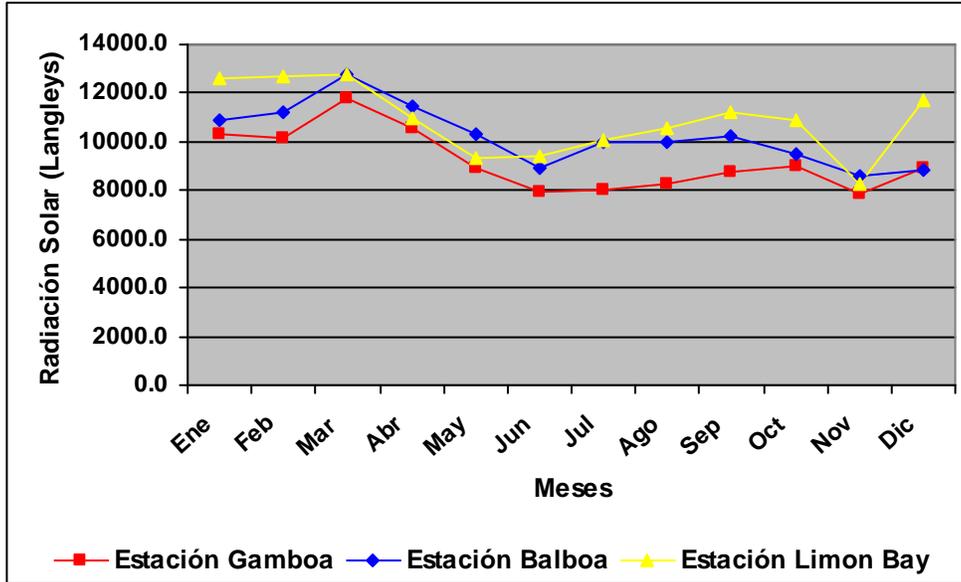
Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Tabla 4-50**  
**Radiación Solar Mensual y Anual (Langleys)**  
**Estación de Balboa**  
**Periodo 1996 - 2005**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
<b>1996</b>	10,362	10,773	14,824	12,118	10,880	8,132	8,821	9,481	8,998	9,248	7,927	7,676	119,240
<b>1997</b>	9,900	8,614	11,460	10,321	9,213	8,515	8,901	9,031	7,933	7,189	8,345	11,444	110,866
<b>1998</b>	11,580	9,811	11,603	10,521	10,615	9,095	9,305	9,184	11,370	9,588	9,132	7,954	119,758
<b>1999</b>	10,350	10,231	12,375	11,693	10,059	8,561	9,181	9,700	9,796	9,866	8,645	7,472	117,930
<b>2000</b>	10,144	11,552	12,004	11,716	9,819	8,938	9,319	9,480	10,350	9,689	9,445	8,681	121,137
<b>2001</b>	12,431	12,712	13,570	12,135	10,766	9,944	10,055	10,188	8,875	9,568	8,523	8,495	127,263
<b>2002</b>	10,688	12,523	13,703	11,543	11,654	7,774	9,482	9,914	10,001	8,670	7,726	9,255	122,934
<b>2003</b>	9,672	10,095	11,421	9,961	8,661	7,579	14,295	13,904	13,437	10,639	9,112	9,482	128,257
<b>2004</b>	12,099	13,467	13,484	11,893	9,764	9,596	10,095	9,412	12,073	11,436	9,939	9,969	133,229
<b>2005</b>	11,700	12,362	13,297	12,832	11,606	10,736	10,692	9,945	9,533	9,175	7,296	7,825	126,998
<b>Prom.</b>	<b>10,893</b>	<b>11,214</b>	<b>12,774</b>	<b>11,473</b>	<b>10,304</b>	<b>8,887</b>	<b>10,015</b>	<b>10,024</b>	<b>10,237</b>	<b>9,507</b>	<b>8,609</b>	<b>8,825</b>	<b>122,761</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

**Gráfica 4-10**  
**Radiación Promedio Mensual**  
**Estaciones de Limon Bay, Gamboa y Balboa FAA**  
**Periodo 1996 - 2005**



Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

#### 4.5.2.7 Evapotranspiración Potencial

De acuerdo a datos obtenidos de la Sección de Meteorología de la ACP, para períodos de registro de 5 (2001-2005) y 10 (1996 – 2005) años, se estimó la evapotranspiración a partir de las Estaciones Meteorológicas localizadas en los extremos del Canal. Hacia el lado Atlántico la Estación de Limon Bay y al Pacífico la Estación de Balboa. La evapotranspiración calculada para ambas Estaciones, es mayor entre los meses de enero a abril (temporada seca) y empieza a disminuir desde mayo hasta noviembre (temporada lluviosa), posteriormente en diciembre empieza a aumentar hasta completar el ciclo en enero.

La evapotranspiración promedio para la Estación de Limon Bay es de 1022.8 mm, con una media mensual máxima de 131.8 mm en el mes de febrero, y una media mensual mínima de 65.5 mm durante el mes de junio (Tabla 4-51). Con relación a la Estación de Balboa FAA, esta presentó una evapotranspiración promedio de 1013.0 mm, con una máxima 994 mm en el mes de marzo y una mínima de 58.18 mm para el mes de noviembre (Tabla 4-51).

**Tabla 4-51**

**Medidas Mensuales de la Evapotranspiración Potencial (mm)  
Estaciones de Limon Bay (2001-2005) y de Balboa (1996-2005)**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Total</b>
<b>Estación Hidrometeorológica de Limon Bay</b>													
<b>2001</b>	---	---	---	47.8	28.3	30.6	23.6	41.1	82.3	99	83.7	74.4	511.3
<b>2002</b>	133	146	129.5	117.7	101.4	61.4	68.3	52.8	58.2	52.8	66.8	124	1112.3
<b>2003</b>	131	121.5	133.5	100.8	48.7	57.8	81.6	110.6	97.1	71.9	41.4	74.9	1071.3
<b>2004</b>	134.5	132.4	135.4	99.6	92.1	85.2	79	75.5	96.6	97.2	72.4	119.1	1219.5
<b>2005</b>	120.3	127.3	118.8	108.1	74.7	92.7	94.1	73.6	69.9	98.9	82.5	138.1	1199.6
<b>Promedio</b>	<b>129.7</b>	<b>131.8</b>	<b>129.3</b>	<b>94.8</b>	<b>69.04</b>	<b>65.54</b>	<b>69.32</b>	<b>70.72</b>	<b>80.82</b>	<b>83.96</b>	<b>69.36</b>	<b>106.1</b>	<b>1022.8</b>
<b>Estación Hidrometeorológica de Balboa</b>													
<b>1996</b>	80.4	95.2	132.9	106.5	81.2	57.1	63.9	68.8	63.9	68.8	61.1	60.7	941
<b>1997</b>	84.1	79.4	116.4	103.8	83.8	65.4	72.8	74.3	58.3	52.9	62.1	104.3	958.1
<b>1998</b>	114.8	96.5	127.5	104.8	90.2	69.3	71.5	69.4	89.6	76.6	65.9	56.7	1033.3
<b>1999</b>	85.5	95.7	118.6	104.2	78.6	62.7	70.7	72.9	75.4	75.6	65.1	57.3	963
<b>2000</b>	87.7	106.9	116.6	113	81	68.7	73	66.6	71	66.4	64.2	63.6	979.2
<b>2001</b>	103.9	117.1	123.3	113.8	85.9	72.7	73.5	75.9	61.1	66.3	59.1	58.2	1011.1
<b>2002</b>	87.1	112.9	127.4	98.5	101.7	61.4	68.5	71.5	69.8	59.4	53.1	71.3	983.1
<b>2003</b>	87.6	94.4	102.4	90	61.8	48.1	107.7	103.3	97.1	70.4	58.2	65.6	987.3
<b>2004</b>	97.3	120.1	131.4	106.4	76.5	71.4	72.3	67	90.8	83.4	73.1	89	1079.1
<b>2005</b>	103.6	119.2	119.9	112.1	88.5	82.6	78.6	70	64.8	61.9	47.4	55.6	1004.8
<b>Promedio</b>	<b>93.2</b>	<b>103.74</b>	<b>121.64</b>	<b>105.31</b>	<b>82.92</b>	<b>65.94</b>	<b>75.25</b>	<b>73.97</b>	<b>74.18</b>	<b>68.17</b>	<b>60.93</b>	<b>68.23</b>	<b>994</b>

Fuente: URS Holdings, Inc con datos proporcionados por la ACP.

#### **4.6 Hidrología**

La presente sección resume las características hidrológicas más importantes del área de estudio.

Entre los aspectos considerados, se desarrollan los siguientes:

- Calidad del Agua
- Disponibilidad de Recursos Hídricos Superficiales
- Uso Actual de los Recursos Hídricos Superficiales
- Aguas Subterráneas
- Corrientes, Mareas y Oleajes en los Sectores Atlántico y Pacífico

Cada aspecto mencionado se describe en función a las seis (6) zonas definidas dentro del AEE, que abarcan desde la Costa Atlántica, hasta la Costa Pacífica. En función del aspecto tratado (calidad del agua, disponibilidad de recursos hídricos, etc.), cuando la información disponible lo permite, se hace mención explícita al AEE y/o AID.

Los aspectos descritos a continuación se derivan de la revisión bibliográfica de estudios y consultorías realizados por encargo de la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), cuyo detalle se incluye en el capítulo correspondiente a Bibliografía.

#### **4.6.1 Aspectos Generales**

Uno de los elementos hídricos de mayor importancia dentro del AEG lo constituye la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, la cuál tiene una superficie de 336,650 hectáreas. Según el Informe de Viabilidad Ambiental (ACP, 2006i), el potencial hídrico de la Cuenca ha permitido satisfacer las necesidades de consumo para los habitantes de Colón, Panamá y sus alrededores, y el funcionamiento del Canal (tránsito de barcos), además de la generación de energía hidroeléctrica. El promedio anual de agua utilizada en el periodo 1994 – 2003 para los usos mencionados alcanzó un valor superior a los 4,200 millones de metros cúbicos (ACP, 2006l). La Cuenca está compuesta por tres lagos (Gatún, Miraflores y Alhajuela) y seis subcuencas (río Chagres, río Gatún, río Boquerón, río Pequení, río Trinidad y río Ciri) (Figura 4-15).

El sistema de lagos artificiales, Alhajuela y Gatún, regula el escurrimiento y permite la operación de las esclusas del Canal, distribuyendo el caudal de la Cuenca entre la vertiente del Caribe y la del Pacífico, en función de los requerimientos de agua para los esclusajes, generación de energía hidroeléctrica y para el abastecimiento de agua a la ciudad de Panamá y centros poblados.

Los resultados de monitoreos llevados a cabo por la ACP desde el 2001 al 2006 reflejan que la calidad del agua de la cuenca del río Chagres y los embalses de Gatún y Alhajuela es muy buena. De estos estudios se concluye que la calidad del agua del lago Gatún se encuentra dentro de la categoría de buena a excelente; no obstante, se observa en el río Chagres una capacidad de asimilación finita (ACP, 2006h – Informe de la Calidad del Agua en la cuenca Hidrográfica del

Canal de Panamá). Dicho estudio concluye que la calidad del agua en las estaciones de vigilancia de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá se encuentra principalmente entre buena y excelente, calificándola como adecuada para diversos usos, saludable y con una capacidad de autodepuración.

#### **4.6.2 Calidad de Aguas Superficiales**

La mayoría de los datos cuantitativos presentados a continuación, se encuentran en el Informe de Calidad de Agua de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá 2003-2005, Volumen I y II, Año 2006. Estos datos son comparados con valores guía (Anexo 2- Hidrológico Valores Guía) de la Agencia de Estados Unidos para la Protección Ambiental (EPA-USA, 1986).

##### **4.6.2.1 La Costa Atlántica**

La zona marina Caribeña es una zona sub-litoral, con un lecho fangoso/arenoso (35-70% limo y arcilla) que alcanza una profundidad de 40 m. El litoral es arenoso, con pequeñas bahías y acantilados, y en muchos lugares posee una franja de arrecifes coralinos y pastos marinos, aunque de una biodiversidad reducida por los impactos humanos asociados con el desarrollo de la región.

La bahía de Limón y las planicies costeras del lado Atlántico, son tierras de la antigua desembocadura del río Chagres. La bahía de Limón (~75 km<sup>2</sup>) es un área de agua salada, generalmente de poca profundidad que se ha habilitado para proveer un buen fondeadero para buques a través de actividades de dragado en áreas específicas. La Bahía está protegida de la acción de las olas por un rompeolas, el cual prácticamente cierra la conectividad al mar con la excepción del Canal de entrada y un canal al este que conecta con los puertos de Manzanillo y Evergreen. Existen algunos sitios en la Bahía, más por el lado Oeste, que son restos del ambiente anterior a la construcción del Canal, donde se encuentran corales, pastos marinos y otra fauna y flora béntica, aunque no en buen estado. Generalmente, el lecho de la Bahía es muy fangoso y de carácter orgánico (>80% limo y arcilla, ~10% materia orgánica).

La Bahía es utilizada principalmente para las operaciones del Canal, donde el mantenimiento y su operación han sido históricamente y actualmente asociados con el depósito de materiales dragados. De acuerdo con las campañas de muestreo realizadas en esta área, los resultados (D’Croz *et al*, 1994) muestran que la calidad del agua es aceptable y la concentración de metales pesados en los sedimentos está dentro de la amplitud normal para áreas costeras (ACP-ESM/PAC 2003).

Debido a la acción combinada de las corrientes y el oleaje, existe el potencial de erosión continua y la dispersión de los materiales finos de dragado localizados en los sitios de depósito marinos.

Estudios de calidad de agua, realizados en el área de Cristóbal, en el marco de desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental de la Expansión del Puerto de Cristóbal (Ingemar Panamá, 2005), concluyen que la misma posee una buena calidad de agua y que resulta apta para el desarrollo de la vida. En dicho estudio se señala que una condición que ha resultado en mejoras sobre la calidad del agua ha sido la apertura del rompeolas para el acceso a la zona portuaria de manzanillo; igualmente, se destaca como un indicativo de la buena calidad del agua, la presencia de colonias de coral *Siderastrea siderea* en las rocas del relleno del muelle de Cristóbal. Los resultados obtenidos en el monitoreo realizado como parte de dicho estudio se muestran en la Tabla 4-52 y la ubicación de los sitios de monitoreo se muestra en la Figura 4-16.

**Tabla 4-52**  
**Calidad de Agua en Sitios del Área de Cristóbal**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Muelle PPCC</b>	<b>Telfer PPCC</b>
PH		*	8.2
Transparencia	%	*	98.8
Color		*	Incolora
Aceites Minerales	mg/L	*	0
Indice de Fenol	mg/L	*	0
Partículas Suspendidas	mg/L	*	837.9
Temperatura	°C	28.5	29.0

Parámetro	Unidad	Muelle PPCC	Telfer PPCC
Conductividad	mmhos/cm	48620.0	49420.0
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.2	5.7
Salinidad	%	30	31
Cadmio	mg/L	<0.02	<0.02
Aceites y Grasas	mg/L	<0.1	<0.1
Hidrocarburos Totales	mg/L	<0.001	<0.001
Coliformes Totales	CFU/100ml	0	0
Coliformes Fecales	CFU/100ml	0	0
<i>Streptococcus</i> sp	CFU/100ml	*	(-)
<i>Salmonella</i> sp	CFU/100ml	*	(-)

\* No se analizó.

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental de la Expansión del Puerto de Cristóbal (Ingemar Panamá, 2005)

Estudios sobre las características de los sedimentos, llevados a cabo por la ACP (PB Consult, 2006) reflejan que para el sector Atlántico, los mismos están compuestos en gran parte por limo (44.1%) y arena (30.2%), y en menor proporción por arcilla (24.1%) y grava (1.6%). Como parte de este estudio, se tomaron un total de 13 muestras de sedimentos para el sector Atlántico.

En cuanto a la calidad de los sedimentos se refiere, los estudios realizados por PB Consult reflejan un contenido promedio de carbón orgánico de 2.7 %, distribuido uniformemente en el área de muestreo, salvo para el sitio A.6.1 y A.6.2 (Figura 4-16), donde este llega hasta aproximadamente 5% pudiendo ser causado por la influencia de una fuente puntual.

En lo concerniente a metales traza, se ha identificado la presencia de Bario, Plomo, Mercurio, Níquel, Vanadio y Zinc; encontrándose la mayoría de las concentraciones de dichos metales por debajo del nivel de seguridad, a excepción del mercurio cuyos niveles de concentración sobrepasan los niveles de seguridad de referencia de <0.15 mg/kg, específicamente en la muestra correspondiente al sitio A.3.1<sup>8</sup> (Figura 4-16).

<sup>8</sup> Además de los metales indicados, el estudio incluyó en todos los casos el análisis de Arsénico, Cadmio, Cromo y Cobre.

En todas las muestras (Figura 4-16), se evidenció la presencia de plaguicidas, aunque en general en niveles muy bajos; el análisis de plaguicidas no detectó en ninguna muestra la presencia de compuestos organo fosforados<sup>9</sup>. De aquellos plaguicidas para los cuáles existe una referencia de niveles de seguridad en sedimento<sup>10</sup>, en esta zona no se presentó ninguno que excediese dichos límites.

Los resultados de concentraciones en sedimentos de Bifenilos Policlorados (PCB's), muestran para esta y todas las demás zonas concentraciones muy por debajo de los niveles de seguridad, al ser comparados con otros sedimentos costeros de América Central, así como al relacionarlos con niveles seguros establecidos (50,000 ng kg<sup>-1</sup><sup>10</sup>). Además, se presenta una relación entre las concentraciones de PCB's respecto al tamaño de las partículas de sedimentos que denota su origen en una fuente difusa de largo tiempo.

En lo concerniente a los Hidrocarburos Poli aromáticos, la composición de estos es muy similar a través de todas las zonas y sitios muestreados, presentando condiciones propias de hidrocarburos parcialmente quemados y contaminación por petróleo. Las mayores concentraciones del sector Atlántico se observaron en el fondeadero de Cristóbal y el muelle de Colón (Figura 4-16).

El Tributyl Estaño (TBT), compuesto utilizado como antiincrustante en las embarcaciones y de un conocido efecto negativo sobre los moluscos en concentraciones de 1 ug/kg (O'Connor 1996), fue detectado<sup>11</sup> en las muestras tomadas cerca de los fondeaderos o muelles. En el caso particular del sector Atlántico, en la muestra A.2.2 (Figura 4-16) se detectaron niveles de 130 ug/kg. Es muy probable que las actividades realizadas fuera del fondeadero, tales como fondear, ser empujado por remolcadores o reparado o pintado, produzcan cascarillas de pintura con contenido de TBT como resultado de la abrasión física o de derrames de pinturas. La poca distribución de TBT en el canal sugiere que el mismo se acumuló primordialmente directamente o adyacente a

---

<sup>9</sup> Incluso en las muestras tomadas en el Lago Gatún, Corte Culebra y Pacífico.

<sup>10</sup> Comisión del Canal de Panamá, Análisis de sedimentos del fondo-1974. Proyecto de Profundación del Cauce y Estudio de Factibilidad del Ensanche del Corte Culebra-1987, Oficina de Planificación Ejecutiva.

<sup>11</sup> El límite de detección del método empleado fue de 20 ug/kg.

los fondeaderos, lo cual es consistente con la ausencia de corrientes persistentes que diseminan el sedimento a otras áreas<sup>12</sup>.

Con relación a las corrientes de agua que desembocan en forma natural en el sector de La Costa Atlántica, se han identificado alrededor de 20 ríos y quebradas, entre ellos los ríos Williams, Piña, La Providencia, Indio, Iglesias, Grande, Coco Solo, Chagres, Caño Sucio, Buena Vista, Arenal, Aguas Claras y las quebradas Paulina y Morito, entre otros. De éstos, el río Chagres es por mucho el de mayor potencial hídrico y constituye la principal fuente de agua que aporta al lago Gatún, y a través de la presa y esclusas de Gatún, al mar Caribe en el sector de la costa Atlántica. El río Chagres nace en la Cordillera de San Blas y en la Zona 1 ocurre el drenaje del mismo desde el lago Gatún hacia el Atlántico. Una descripción más detallada de las características de este río se presenta como parte del AEE de la Zona 3.

#### 4.6.2.2 Esclusas de Gatún

El medio ambiente acuático de la zona está dominado por las operaciones de las esclusas y el tránsito de buques. Para la zona, Esclusas de Gatún, se ha identificado la presencia de tan sólo un cuerpo de agua, el río Agua Clara, con un área de drenaje hasta el puente cercano al poblado de José Dominador Bazán (antiguo poblado de Davis) de 584 ha y una capacidad hidráulica estimada de 0.18 m<sup>3</sup>/s<sup>13</sup>.

En el estudio mencionado (Louis Berger, 2004), se realizaron mediciones in situ de parámetros físicos de calidad de agua en 9 sitios de este río (pH, conductividad, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto (OD) y sólidos disueltos totales) y se tomaron muestras de agua en dos sitios para análisis en laboratorio de parámetros microbiológicos y químicos (coliformes fecales, DBO5, DQO, nitratos, nitritos, fosfatos y sólidos suspendidos totales). La evaluación de calidad de agua se realizó en función del uso (pezca, recreación o estética), utilizando para el efecto los criterios para evaluación de aguas superficiales de las Normas Chilenas de calidad de agua.

---

<sup>12</sup> ACP, 2007. Respuesta a comentarios de la ANAM al Estudio de Impacto Ambiental Categoría II: Ensanche y Profundización de la Entrada del Pacífico.

<sup>13</sup> The Louis Berger Group, Inc., 2004. Informe Final Evaluación Ambiental de opciones para la construcción de nuevas esclusas y profundización de las entradas Pacífico y Atlántico del Canal de Panamá.

Con base en los resultados hallados, en el mencionado informe se indica que en general el agua es de buena calidad, no habiéndose encontrado fuentes importantes de contaminación, con excepción de dos sitios con OD < 4 mg/l (valor límite que pudiera representar una limitación a la vida aerobia) donde el agua se encontraba represada o corría muy lento, y un sitio cercano al poblado de José Dominador Bazán, donde se midió la turbiedad más elevada (28.7 NTU) y un valor para coliformes fecales de 3600 NMP, ambos valores probablemente debidos a la descarga de efluentes de dicha área poblada.

#### 4.6.2.3 Lago Gatún

Al formarse el lago Gatún se inundó un área de 45,000 hectáreas. El Lago recibe, de sus afluentes principales, un volumen anual promedio de 2,744 millones de m<sup>3</sup> de agua. Además, a este sistema contribuyen otros ríos y quebradas de subcuencas menores que no están aforadas, las cuales se han estimado que representan el 40% de la superficie de captación del sistema, produciendo anualmente 1,031 millones de m<sup>3</sup> de agua como aporte neto (ACP, Plan Maestro del Canal de Panamá 2006l).

Las aguas se utilizan para diversos propósitos que incluyen: fuente de agua cruda para abastecimiento humano (áreas operativas del Canal, áreas revertidas, Arraiján, Colón y parte de las ciudades de Panamá y La Chorrera, a través de las plantas potabilizadoras de Miraflores, Monte Esperanza y Laguna Alta), tránsito de barcos, generación de energía eléctrica, actividades agroindustriales, recreación, turismo y pesca.

En términos de calidad de agua, los estudios que se han realizado indican que mayormente la calidad de agua, aunque variable en su composición físico-química dependiendo del lugar de evaluación, es generalmente buena. El lago Gatún, como lago artificial, posee excelente calidad de agua (URS, 2005c). Lo mismo se indica en el Estudio de la Modelación de la Calidad de los Lagos, en el que se indica que los parámetros de calidad de agua del lago Gatún se mantienen por debajo de los límites máximos permisibles establecidos para abastecimiento humano, por entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS) (cloruro=250mg/l y sólidos totales disueltos=1000 mg/l) (United States Army Corps of Engineers, 2000).

El nivel de sólidos suspendidos en el Lago varía dependiendo de la ubicación del sitio de muestreo y la estación del año. El lado Oeste del Lago siempre se mantiene más claro, por su mayor profundidad (que no permite la suspensión de sedimentos finos desde el lecho del Lago por la acción de olas). Al Este, las aguas se mantienen más turbias por su menor profundidad, y por el tránsito permanente de buques y la actividad esporádica de las dragas. Durante la estación seca, el contraste entre las aguas profundas del Lago, y el Canal de navegación es mucho más marcado. El rango de valores de sólidos suspendidos en el Lago se encuentra entre 1-78 mg/l (ACP, Plan Maestro del Canal de Panamá, 2006l).

Los niveles de saturación del oxígeno en el Lago se mantienen altos (80-90%) durante la estación seca y bajan hasta alrededor del 60% de saturación en la estación lluviosa. Las concentraciones de nutrientes disueltos en el agua del Lago son bajas, por ejemplo los nitratos, presentan promedios de menos de 0.2 mg/l. El nitrógeno, en concordancia inversa con el patrón anual de niveles de oxígeno, sigue un ciclo de concentraciones más altas durante la estación lluviosa por la carga de materia orgánica transportada por los ríos.

Aunque en general, los niveles de nutrientes son bajos, el lago Gatún tiene un crecimiento excesivo de plantas acuáticas como hidrilla y lirio acuático en ciertos sitios. Esto se debe a la presencia de concentraciones de nutrientes mayores al promedio por fuentes puntuales, así como a la forma de las riberas (márgenes) que lo protegen contra el oleaje y las corrientes.

De acuerdo a mediciones realizadas por la ACP (2004) los niveles de cloruros en el lago Gatún se encuentran por debajo de 20 mg/l; de igual forma los niveles de conductividad oscilan entre 44.6 y 144.3 uS/cm.

La Unidad de Calidad de Agua de la ACP, estableció 11 estaciones de colecta de muestras de agua y registro de parámetros a dos profundidades en el lago Gatún (0,5 m de la superficie y a 1 m del fondo), ejecutando un programa de monitoreo regular de periodicidad mensual entre el 2003 y el 2005 (ACP 2006). Las estaciones de colecta reciben los nombres de: Humedad, Raíces, Escobal, Batería 35, Monte Lirio, Barro Colorado, Laguna Alta, Gamboa, Toma de Agua de Paraíso, Arenosa y La Represa. En la Figura 4-17 se muestra la ubicación de los sitios de

muestreo de calidad del agua realizados por la ACP del 2003 al 2005. Los datos recolectados en estas estaciones entre el 2003 y el 2005, se presentan en la Tabla 4-53.

Durante el período de muestreo (2003-2005), la temperatura promedio en superficie osciló entre 27.9 y 29.9°C y en el fondo entre 27.2 y 29.0°C. La variación térmica en la columna de agua no fue significativa (se hicieron pruebas estadísticas que lo demuestran), con un promedio de 1°C de diferencia entre superficie y fondo. En cuanto al oxígeno disuelto, en general, en la superficie todas las estaciones del Lago presentaron concentraciones adecuadas para la vida acuática, es decir, por encima del valor guía de referencia de 5 mg/l. Los valores promedio en superficie se encontraron entre 5.19 mg/l y 7.84 mg/l, en tanto que para el fondo los valores promedio estuvieron entre 1.56 mg/l hasta 6.92 mg/l.

Las concentraciones de oxígeno disuelto en el fondo, parecen indicar la presencia de cantidades importantes de materia orgánica en descomposición. Por la cantidad de maleza acuática en el sitio, también se puede pensar en aportes importantes de nutrientes que permiten su desarrollo y la eutrofización de las aguas, representando amenazas potenciales para el sistema de abastecimiento de agua potable de las poblaciones aledañas.

**Tabla 4-53**  
**Parámetros Químicos y Microbiológicos Registrados**  
**para el Lago Gatún (2003- 2005)**

Temperatura °C		Oxígeno Disuelto mg/l		Nitratos mg/l		Fosfatos mg/l		<i>Escherichia coli</i> NMP/100 ml		Índice de Calidad del Agua
Sup.	Fondo	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo	Sup.	Fondo	
27.9-29.9	27.2-29.0	5.19-7.84	1.56 - 6.92	0.001 - 0.188	0.001 - 0.197	0.003 - 0.015	0.002 - 0.020	5 - 163	5 - 152	53.71% 91-100 (E) 45.71% 71-90 (B) 0.57% 51-70 (R)

Nota: Sup. = Superficie; (E) = Excelente; (B) = Bueno; (R) = Regular.

Fuente: ACP Informe de Calidad de Agua en la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, 2003-2005 Volumen II.

En cuanto a los nitratos, la concentración promedio registrada para todo el período 2003-2005 en superficie varió entre 0.001 mg/l y 0.188 mg/l. En el fondo, los valores oscilan entre 0.001 mg/l hasta 0.197 mg/l. El valor máximo en la superficie fue de 0.415 mg/l y en el fondo fue de 0.379 mg/l. Cabe mencionar que en la Toma de Agua de Paraíso el 10% de los valores (nitratos)

estuvieron por encima del valor guía recomendado (0,3 mg/l) utilizado como máximo para evitar eutrofización. Asimismo, la estación Gamboa (2005) también registró un valor atípico que sobrepasó el valor guía. La estación Gamboa recibe las aguas del curso medio del río Chagres que son ricas en nutrientes; dando como resultado que en esta área haya un aumento en la concentración de este parámetro (materia orgánica), con la disminución del oxígeno disuelto.

Por su parte, la concentración promedio de fosfatos en superficie registrada para todo el período, varió entre 0.003 mg/l y 0.015 mg/l, mientras que para el fondo, los valores promedio variaron desde 0.002 mg/l hasta 0.020 mg/l. En superficie el valor máximo fue de 0.090 mg/l y en el fondo de 0.087 mg/l. La mediana de fosfatos se reportó por debajo del valor guía recomendado como máximo para prevenir la eutrofización (0.025 mg/l) y por debajo del límite de detección del método.

Con relación a la presencia de *Escherichia coli*, la concentración promedio registrada en superficie para todas las estaciones de muestreo reportó valores entre 5 NMP/100 ml y 163 NMP/100 ml; y en el fondo, los valores promedio se reportaron entre 5 NMP/100 ml y 152 NMP/100 ml. El valor máximo en superficie fue de 1014 NMP/100 ml y en el fondo de 836 NMP/100 ml. El valor mínimo en superficie y fondo es de 5 NMP/100 ml.

Se observó similitud en la mediana de *E. coli* en nueve de las estaciones de muestreo, con valores muy por debajo (10 NMP/100ml) de los valores guía recomendados para uso recreacional de contacto directo (200 NMP/100 ml), uso recreacional de contacto secundario (1000 NMP/100ml) y uso de abastecimiento de agua previo tratamiento (2000 NMP/100ml). En las otras dos estaciones de muestreo la mediana también se reportó por debajo de los valores guía recomendados, pero en concentraciones mayores que en las anteriores estaciones (50-60 NMP/100ml). Aproximadamente, el 20% de los datos, en las estaciones de Gamboa y Paraíso, se encontraron por encima del valor guía recomendado para uso recreacional con contacto directo.

Para cada una de las estaciones de muestreo se estimó el Índice de Calidad del Agua (ICA), basado en la metodología desarrollada por la Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (por sus siglas en Inglés NSF). Dicho índice, considera parámetros tales como: coliformes fecales (en

NMP/100 ml), pH, demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub> en mg/l), nitratos (NO<sub>3</sub> en mg/l), fosfatos (PO<sub>4</sub> en mg/l), cambio de la temperatura (en °C), turbidez (en NTU), sólidos disueltos totales (en mg/l), oxígeno disuelto (OD en % saturación). Donde, mediante la aplicación de una ecuación, se genera un valor entre 0 y 100, el cual califica la calidad del agua y determina su uso. En la Tabla 4-54 se muestran los parámetros de la calificación del Índice de Calidad de Agua y Uso Propuesto desarrollado por la NSF.

**Tabla 4-54**

**Parámetros de la NSF para el Índice de Calidad de Agua y Uso Propuesto**

<b>Estado de la Fuente (ICA)</b>	<b>USO</b>
<b>Excelente</b> (91 – 100)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo doméstico</li> </ul>
<b>Bueno</b> (71 – 90)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recreativo</li> <li>• Preservación y reproducción de flora y fauna</li> <li>• Pesca artesanal, deportiva e industrial</li> </ul>
<b>Regular</b> (51 – 70)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultura</li> <li>• Pecuario</li> </ul>
<b>Malo</b> (26 – 50)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrial</li> <li>• Estético</li> <li>• Aprovechamiento de material de arrastre</li> </ul>
<b>Muy Malo</b> (0 – 20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte de aguas residuales y asimilación</li> </ul>

Fuente: Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (por sus siglas en Inglés NSF)

Como resultado de la aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA), se obtuvo que el 53.71% de todas las muestras de agua tomadas para evaluar este parámetro está en la categoría de excelente, el 45.71 % se considera bueno y sólo el 0.57 % se encuentra en la categoría de regular. De acuerdo con los valores del índice calculado, las aguas del lago Gatún son aptas para los siguientes usos: abastecimiento público, recreativo, conservación de vida acuática.

Los estudios de sedimentos desarrollados por PB Consult (2006) muestran que la composición de estos, en el lago Gatún, presentan condiciones muy similares a la de los sedimentos del sector Atlántico, estando compuesto en un 41.9% por limo, 29.7% por arena, 27.4% por arcilla y 0.9% por grava. Para esta zona se tomaron un total de 20 muestras con el fin de caracterizar las propiedades de éstos.

El contenido promedio de carbón orgánico en los sedimentos es de 2.0%, y este refleja una muy pobre relación respecto al tamaño de las partículas, lo que sugiere que el mismo puede deberse a la existencia de fuentes de carbón no difusas.

En lo concerniente a metales trazas, se encontraron altas concentraciones de Bario (199-353 mg/kg) en todas las muestras de sedimentos, posiblemente debido a las características naturales de la zona. Igual situación presentó el Cadmio (1.28 mg/kg) con valores sobre el nivel de seguridad de <0.6 mg/kg en la muestra identificada como G.12.1 y el Plomo (32-34 mg/kg) encontrándose con niveles ligeramente por encima del valor de seguridad de 31 mg/kg para las muestras G.6.1 y G.19.1.

Al igual que en el sector Atlántico, en el caso del lago Gatún, de aquellos plaguicidas para los cuáles existe una referencia de niveles de seguridad en sedimento, en esta zona no se presentó ninguno que excediese dichos límites.

Las mayores concentraciones de Hidrocarburos Poli aromáticos del sector del Lago Gatún se observaron en el fondeadero de Gatún; no obstante los valores se encontraron por debajo de los niveles de seguridad.

El Tributyl Estaño fue detectado en la muestra G.0.1 en concentraciones de 200 ug/kg.

El lago Gatún recibe aportes de unos 39 cuerpos de agua, entre quebradas y ríos. Entre ellos, se pueden mencionar a las quebradas Ancha, El Congal, Harina, Juan Gallegos, Leona, La Puerca, La Tagua, Larga, Las Pavas, Las 3 Hermanas y López, entre otras, y los ríos Agua Clara, Agua Salud, Agua Sucia, La Seda, Culo Seco, Los Hules, Gatún, Canito, Cirí, Baila Mono, Frijoles,

Frijolito, Frijolita, Palenque, Pelón, Trinidad, Caño Quebrado, etc. (Figura 4-20). A continuación, se presentan las características químicas y microbiológicas de algunos de los principales ríos que conforman esta zona. Dicha información, proviene de los muestreos y análisis realizados por la Unidad de Calidad de Agua de la ACP durante el período 2003 – 2005 (ACP 2006), llevados a cabo con el objetivo de monitorear la calidad del agua de estos ríos. La Tabla 4-51 resume los principales resultados obtenidos para cada uno de estos ríos.

### **Río Chagres**

El río Chagres nace en las montañas donde inicia la Cordillera de San Blas, a 609 msnm y luego sigue su curso con dirección Este-Suroeste en casi todo su recorrido de 50.8 km, hasta su ingreso en el lago Gatún. Esta cuenca es alimentada por otros afluentes menores que confluyen por el margen izquierdo del río (ríos Las Cascadas o Indio Este, Piedras y la quebrada Las Palmas).

Con relación a la temperatura, registrada en este cuerpo de agua, el valor más bajo fue de 24.0°C y el más alto de 27.9°C, con una temperatura media de 25.1°C. Por su parte, las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron un valor mínimo de 5.79 mg/l y una máxima de 9.20 mg/l, registrando una media de 8.4 mg/l. Cabe señalar que, todos los valores se encontraron por encima de 5.0 mg/l, valor guía utilizado como mínimo que permite la vida en condiciones adecuadas para la mayoría de las especies acuáticas.

En cuanto a los nitratos en el río Chagres, el valor más bajo fue de 0.000 mg/l y el más alto de 0.277 mg/l, con una media de 0.084 mg/l, valor que se encuentra muy por debajo del valor guía (0.3 mg/l) utilizado como máximo para evitar procesos de eutrofización. Los valores de fosfatos registrados durante el período de muestreo, variaron de 0.000 mg/l hasta 0.038 mg/l, con un valor promedio de 0.013 mg/l. Los referidos valores, estuvieron muy por debajo del valor guía (0.05 mg/l) establecido como máximo para prevenir procesos de eutrofización en ríos que descargan sus aguas directamente a lagos o embalses.

El valor de la mediana del contenido de *Escherichia coli*, fue de 74 NMP/100 ml, encontrándose muy por debajo de 200 NMP/100 ml, el cual representa el valor guía establecido como máximo para uso recreativo con contacto.

Los valores calculados del Índice de Calidad de Agua (ICA) para el río Chagres hasta el punto de ingreso en el lago Gatún, durante el período considerado en este análisis (2003-2005), indican que el 31% de los valores del ICA corresponden a la clasificación de excelente calidad y el 69% de los valores restantes caen dentro de la clasificación buena calidad. Por lo tanto, sus usos pueden estar orientados al consumo doméstico, recreación, vida silvestre, pesca, etc.

### **Río Gatún**

El río Gatún nace en cerro Bruja, que forma parte de la Sierra Llorona, a 650 msnm. Su recorrido discurre en dirección Noreste-Suroeste y tiene una longitud de 45.3 km. Su área de drenaje se ubica en el sector Noreste de la Cuenca y tiene una superficie de 131 km<sup>2</sup> lo que representa el 5.7% del sistema hídrico del lago Gatún.

Los parámetros analizados incluyen la temperatura, la cual registró un mínimo de 24.3°C y un máximo de 26.7°C, con una mediana que indicó una temperatura de 25.4°C. Las concentraciones de oxígeno disuelto variaron de un mínimo de 5.59 mg/l a un máximo de 9.49 mg/l, generando una mediana de 8.0 mg/l. Todos los valores se encontraron sobre los 5.0 mg/l, valor guía utilizado como mínimo que permite la vida acuática. Por su parte, el valor mínimo de nitratos fue de 0.000 mg/l y el máximo de 0.201 mg/l, registrando una mediana de 0.041 mg/l, la cual se encuentra muy por debajo del valor guía (0.3 mg/l), utilizado como máximo para evitar eutrofización. Los fosfatos, presentan valores bajos de 0.000 mg/l y altos de 0.057 mg/l, siendo la concentración mediana de 0.030 mg/l. Dichas concentraciones, estuvieron por debajo del valor guía de 0.05 mg/l, establecido para prevenir procesos de eutrofización en ríos que descargan sus aguas a lagos o embalses.

Los resultados del análisis microbiológico del agua (*Escherichia coli*), indican concentraciones mínimas de 5.0 NMP/100 ml y máximas de 5,855 NMP/100 ml. La concentración mediana sobrepasó el valor guía de 200 NMP/100 ml, establecido como máximo para uso recreativo con contacto directo.

De acuerdo a la aplicación del Índice de Calidad del Agua, se determinó que la calidad del agua en el río Gatún se ubica dentro de tres categorías: Excelente (6%), Buena (91%) y Regular (3%).

Estos resultados permiten clasificar la calidad del agua de este río como buena, ya que 97% de los valores estuvieron dentro de las categorías de buena y excelente.

### **Río Caño Quebrado**

La subcuenca del río Caño Quebrado está ubicada al Noroeste del distrito de La Chorrera. El río nace al sureste de la comunidad El Amargo (corregimiento de Iturralde), y tiene una longitud total de 19.7 km. Tiene un área de drenaje de 74.4 km<sup>2</sup> y su principal afluente es un riachuelo llamado Riecito. Ambos se unen aproximadamente a 1 km al Norte de la comunidad de Cerro La Silla (CICH, 2003). El área de drenaje de este río es importante, porque desemboca en un brazo de la región Suroeste del lago Gatún, donde ha sido ubicada la toma de agua de la potabilizadora de Laguna Alta.

El valor más bajo registrado para la temperatura fue de 25.1°C y el más alto de 27.2°C, con una mediana de 26.1°C. En cuanto al oxígeno disuelto las concentraciones variaron de 5.78 mg/l a 9.03 mg/l y la mediana fue de 7.60 mg/l. Todos los valores estuvieron por encima del valor guía (5.0 mg/l) utilizado como mínimo para permitir la vida de las especies acuáticas. Los nitratos variaron entre 0.053 mg/l a 0.260 mg/l y su mediana fue de 0.128 mg/l, muy por debajo de 0.3 mg/l valor guía utilizado como referencia del máximo para evitar eutrofización. Los fosfatos variaron, entre el valor más bajo de 0.010 mg/l hasta el más alto que fue de 0.030 mg/l. La mediana de fosfatos fue de 0.010 mg/l, encontrándose muy por debajo del valor guía (0.05 mg/l). Las concentraciones de *Escherichia coli* variaron de 132 NMP/100 ml hasta 1,644 NMP/100 ml, registrando una mediana de 300 NMP/100 ml. La mayoría de los valores superaron el valor guía de 200 NMP/100 ml.

Al aplicar el Índice de Calidad del Agua se determinó que 6% de las muestras reflejaban Excelente calidad y el restante 94% caen dentro de la calidad Buena.

### **Río Trinidad**

El río Trinidad nace en la ladera Oeste del cerro Los Monos (893 msnm), dentro del Parque Nacional Altos de Campana. Este río tiene, en su parte alta, al río Cacao como afluente importante que confluye sus aguas por la margen derecha a 16 km aguas abajo de sus nacientes.

El río Trinidad tiene una longitud de 51.9 km y corre en dirección Sur-Norte, formando en su trayectoria drenajes paralelos que se extienden hasta su desembocadura. Su área de drenaje abarca una superficie de 198.2 km<sup>2</sup>, que representa el 8,6% de la superficie del sistema hídrico del lago Gatún.

Como resultado de los análisis químicos y microbiológicos de muestras tomadas en este río, se registró que el valor más bajo de temperatura era de 24.4°C, el más alto de 27.4°C y la mediana fue de 26.2°C. Las concentraciones de oxígeno disuelto estuvieron en el rango de 5.67 mg/l a 8.69 mg/l, con una mediana de 8.00 mg/l. Estos valores están por encima del valor guía (5.0 mg/l), de manera que permite la vida en condiciones adecuadas para la mayoría de las especies acuáticas. Los nitratos variaron entre 0.000 mg/l hasta el valor más alto que fue de 0.334 mg/l, reportándose una mediana de 0.034 mg/l. Los fosfatos presentaron un valor bajo de 0.000 mg/l y el alto estuvo por el orden de 0.038 mg/l. La mediana de fosfatos fue de 0.020 mg/l, encontrándose por debajo del valor guía (0.05 mg/l). Las concentraciones de *Escherichia coli*, estuvieron entre 20 NMP/100 ml y 18,514 NMP/100 ml y la mediana fue de 408 NMP/100 ml, superando el valor guía establecido de 200 NMP/100 ml.

De acuerdo al criterio del Índice de Calidad del Agua, los valores calculados ubican la calidad del agua de este río dentro de la clasificación de Buena.

### **Río Cirí Grande**

El río Cirí Grande nace en la divisoria continental a 921 msnm, en el extremo Sur de la Cuenca, desde donde recorre 51.5 km en dirección Norte con un área de drenaje de 208.3 km<sup>2</sup>, que representa el 9.0 % del sistema hídrico del lago Gatún. Es alimentado por dos tributarios principales, los ríos Cirí y Ciricito, además de 15 afluentes pequeños.

El valor más bajo para la temperatura fue de 24.1°C y el más alto de 27.0°C, la mediana fue de 25.7°C. Las concentraciones de oxígeno disuelto presentaron valores de 5.50 mg/l y 8.65 mg/l, la mediana fue de 7.6 mg/l. Estos valores permiten la vida para la mayoría de las especies acuáticas. Los nitratos variaron entre 0.011 mg/l y 0.286 mg/l, presentando una mediana de

0.064 mg/l, valores muy por debajo del valor guía (0.3 mg/l) el cual evita procesos de eutrofización. Por su parte, los valores de fosfatos estuvieron entre 0.001 mg/l y 0.025 mg/l con una mediana de 0.008 mg/l. Los valores de *Escherichia coli*, fluctúan entre los 111 NMP/100 ml hasta 6,910 NMP/100 ml y mediana de 408 NMP/100 ml, sobrepasando el valor guía de 200 NMP/100 ml.

Todos los valores calculados del Índice de Calidad del Agua para el río Ciri Grande, lo ubican dentro de la clasificación de Buena.

**Tabla 4-55**  
**Valores Máximos, Mínimos y Medianas de los Parámetros Evaluados**  
**y su Comparación con los Valores Guía**  
**Afluentes del Lago Gatún – Zona 3**

	Temperatura (°C)			Oxígeno Disuelto (mg/l)			Nitratos (mg/l)			Fosfatos (mg/l)			Escherichia Coli (NMP/100 ml)		
	V.Máx.	V.Min	Mediana	V.Máx.	V.Min	Mediana	V.Máx.	V.Min	Mediana	V.Máx.	V.Min	Mediana	V.Máx.	V.Min	Mediana
<b>Valores Guía</b>	<b>NA</b>			<b>5.0</b>			<b>0.3</b>			<b>0.05</b>			<b>200</b>		
Río Gatún	25.7	25.4	25.4	9.49	5.59	8.00	0.201	0.000	0.041	0.057	0.000	0.030	5,855	5	>200
Río Boquerón	27.9	23.8	25.5	9.85	5.90	8.50	0.260	0.003	0.091	0.042	0.002	0.021	15,648	5	<200
Río Pequení	28.4	23.7	25.7	9.60	6.30	8.50	0.274	0.000	0.072	0.060	0.003	0.022	4,130	10	126
Río Chagres	27.9	24.0	25.1	9.20	5.79	8.40	0.277	0.000	0.084	0.038	0.000	0.013	5,731	10	74
Río Caño Quebrado	27.2	25.1	26.1	9.03	5.78	7.60	0.260	0.053	0.128	0.030	0.010	0.010	1,644	132	300
Río Trinidad	27.4	24.4	26.2	8.69	5.67	8.00	0.334	0.000	0.034	0.038	0.000	0.020	18,514	20	408
Río Ciri Grande	27.0	24.1	25.7	8.65	5.50	7.60	0.286	0.011	0.064	0.025	0.001	0.008	6,910	111	408

V. Max. = Valor máximo.

V. Min. = Valor mínimo.

Fuente: Informe de Calidad de Agua de la cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá 2003-2005. Volumen I y II. Año 2006.

Por otra parte, la ACP encontró que el oxígeno disuelto en todos los ríos muestreados presentó valores aceptables para la vida acuática. El parámetro *Escherichia coli*, excedió el valor guía de 200 NMP/100 ml para uso recreativo con contacto directo, en la mayoría de las muestras analizadas. Esta condición se presentó en sitios de muestreos muy puntuales, por lo que puede estar más relacionado a la presencia de animales silvestres y ganado que a asentamientos humanos. En cuanto al Índice de Calidad del Agua (ICA), del total de los cuerpos de agua monitoreados, el 8% están en la clasificación de Excelente y el 92% restante califica como de

calidad Buena. Estos resultados indican que la calidad del agua en los principales ríos de la Cuenca es adecuada para el abastecimiento de agua, uso recreativo (contacto directo y/o indirecto) y soporte de la vida acuática.

#### 4.6.2.4 Corte Culebra

Para la Zona de Corte Culebra, se ha podido determinar la presencia de aproximadamente 20 cursos de agua, entre ríos y quebradas. Entre las quebradas se pueden mencionar a la quebrada Aguas Azules, De Oro, Del Gaso y entre los ríos, Cabuya, Cabaya, Cuevas, Grande (brazo Norte), Mandinga, Mariposa, Obispo, Sardinilla, Camacho, entre otros (Figura 4-18).

En cuanto a la calidad de las aguas de estos ríos y quebradas, The Louis Berger Group (2004), presenta una caracterización del río Grande. La desembocadura de dicho río está situada próxima a las esclusas de Pedro Miguel y drena sus aguas al lago Mirafloes. Este es un río de Orden 3, con una superficie de drenaje de 1,112 ha y una longitud de 4.6 km. Posee un ancho aproximado de 3.00 m, una profundidad de 0.35 m. con una velocidad promedio de 0.89 m/seg. Su caudal aproximado es de 0.93 m<sup>3</sup>/seg.

De acuerdo a los análisis de calidad de agua realizados en el río Grande (TLBG 2004), éste presentó, con relación a los parámetros físicos; un pH de 7.2; con temperatura de 27.0°C y una turbiedad de 5.6 NTU. Mantenia, al momento de los muestreos, una concentración de oxígeno disuelto (OD) de 6.1 mg/L y no se registraron condiciones de salinidad, finalmente presentó una concentración de sólidos totales (SDT) de 89.2 mg/L. Con relación a los parámetros químicos y microbiológicos; se encontró que el río Grande presenta una demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO<sub>5</sub>) de 6.0 mg/L, la demanda química de oxígeno (DQO) alcanzó los 13.8 mg/L, de los nitritos sólo fueron halladas trazas y los nitratos y fosfatos no fueron detectados. En cuanto a los coliformes fecales, éstos estuvieron por el orden de 800 NMP. En términos generales, los resultados mostraron una buena calidad de agua, no habiéndose detectado fuentes importantes de contaminación.

La calidad del agua de los ríos Mandinga, Obispo y Camacho fue analizada como parte de la Evaluación de Alternativas para Sitios de Depósito de Material Excavado y Dragado en el Pacífico (Moffatt & Nichol et al., 2004). Los resultados obtenidos para estos cursos de agua mostrarán valores más elevados en cuanto a sólidos totales se refiere, respecto a los resultados presentados previamente para el río Grande, y en el caso del río Obispo también se presentan valores más bajos de oxígeno disuelto. Los análisis de calidad de agua reflejaron los siguientes resultados:

- Río Mandinga: pH 6.3, conductividad 604 uS/cm, temperatura 31.6 °C, turbiedad 5.1 NTU, oxígeno disuelto 8.4 mg/l y sólidos disueltos totales 258 mg/l.
- Río Obispo (Brazo Obispo 3): pH 7.0, conductividad 314 uS/cm, temperatura 24.0 °C, turbiedad 3.5 NTU, oxígeno disuelto 4.5 mg/l y sólidos disueltos totales 154 mg/l.
- Río Camacho: pH 7.6, conductividad 244 uS/cm, temperatura 27.4 °C, turbiedad 4.6 NTU, oxígeno disuelto 6.2 mg/l y sólidos disueltos totales 11.4 mg/l.

En lo que respecta a los sedimentos encontrados en esta zona, los mismos se componen principalmente de limo (61.8%) y arcilla (31.1%), con arena en menor proporción (7.0%). El contenido promedio de carbón orgánico en los sedimentos es del orden de un 2.2%. Para la caracterización de sedimentos, se tomaron un total de 2 muestras de esta zona (PB Consult, 2006).

El contenido de metales traza para el área del Corte Culebra fue muy similar a las condiciones encontradas en el lago Gatún, hallándose igualmente en todas las muestras colectadas, altas concentraciones de Bario posiblemente debido a características naturales del área.

Las concentraciones de plaguicidas para los cuáles existe una referencia de niveles de seguridad en sedimento, no muestran que ninguno exceda dichos límites; no obstante, el reporte llama la atención sobre el Chlorotoluron (Tipo Urea), encontrado en las muestras CC1.21 y CC2.1 en concentraciones de 5.99 y 5.97 ug/kg, respectivamente, lo cuál a pesar de no existir una referencia se señala como un nivel alto.

#### 4.6.2.5 Esclusas del Pacífico

Las esclusas de Pedro Miguel y Miraflores están separadas por el lago artificial de Miraflores (2.8 km<sup>2</sup>), formado por la construcción de un embalse que cruza el valle del río Grande (brazo Sur). Este lago recibe un gran volumen de aguas desde el lago Gatún a través de las esclusas de Pedro Miguel, y menor es el aporte de los ríos de su cuenca. Como ejemplo, mientras las descargas provenientes del lago Gatún se estiman en 5,000m<sup>3</sup>/s, los aportes de los ríos Cocolí y Grande (brazo Sur) son 16 y 1000 veces menor, respectivamente<sup>14</sup>. El nivel del Lago (16.5 m PLD) está controlado por un vertedero que permite una descarga de agua a través de un cauce al lado Norte de las esclusas de Miraflores, dicha descarga proviene del lago Gatún (aprox. 5,000 m<sup>3</sup>/s) (Moffat & Nichol 2005) y del caudal aportado por el río Cocolí (aprox. 300 m<sup>3</sup>/s), el cual es afluente del lago Miraflores (The Louis Berger Group 2004, PB Consult 2006).

El medio acuático del área está dominado por las operaciones de las esclusas y el tránsito de buques, con un nivel de corrientes/energía medio-alto que mantiene siempre las aguas en un estado de alta turbidez. Las aguas también tienen un nivel medio de contaminación por desagües que provienen de las áreas pobladas alrededor del Canal en esta región<sup>15</sup>.

Estudios de la salinidad del lago de Miraflores, realizados por la ACP (2004), reflejan niveles variables entre 0. y 2 ppt; mientras que para la conductividad, estos oscilan entre 153 y 3672 uS/cm.

Por su parte, la red hidrográfica en esta zona está conformada por más de 10 ríos y quebradas, entre ellos las quebradas Conga y Victoria; los ríos Caimitillo, Cocolí, Pedro Miguel, Perico, Sierpe, Velásquez, Grande (brazo Sur), entre otros (Figura 4-19).

La ACP lleva a cabo desde el 2003 un monitoreo de los sitios que representan las condiciones del lago Gatún en el área del Corte Culebra, y en el 2006 realizó muestreos para determinar la calidad de los ríos Grande (brazo Sur) y Cocolí (Tabla 4-56). Los resultados obtenidos en estos

<sup>14</sup> Datos suministrados por ACP.

<sup>15</sup> The Louis Berger Group, Inc. 2004. Informe Final de Evaluación Ambiental – Profundización, Sector Pacífico, citado en ACP, 2007, Evaluación Ambiental Preliminar.

monitoreos reflejaron que las concentraciones de oxígeno disuelto en las estaciones del lago Gatún (Corte Culebra) y río Grande (brazo Sur) se encuentran en la mayoría de los resultados dentro de valores aceptables para mantener la vida acuática, oscilando entre 5.00 y 7.94 mg/l y 3.52 y 8.71 mg/l, respectivamente; en el caso del río Cocolí, los resultados obtenidos variaron entre 3.04 y 4.37 mg/l. En todas las estaciones de muestreo se obtuvieron valores de pH dentro de los niveles aceptables, estando este alrededor de 7.0 . Los valores de sólidos totales disueltos variaron entre 60 y 838 mg/l para el lago Gatún (Corte Culebra), 251 y 480 mg/l en el río Grande (brazo Sur), y entre 152 y 675 mg/l en el río Cocolí. Las concentraciones de nitratos varían para el lago Gatún (Corte Culebra) entre 0.005 y 0.377 mg/l, el río Grande (brazo Sur) entre 0.011 y 0.050 mg/l, y para el río Cocolí se encuentran entre 0.008 y 0.665 mg/l. Los nitritos, para el lago Gatún (Corte Culebra) se encuentran entre 0.027 y 0.001 mg/l, mientras ambos ríos, se encuentran en la mayoría de los casos en niveles menores a los 0.002 mg/l. La alcalinidad por su parte en el lago Gatún (Corte Culebra) es de 59 a 37 mg/l, mientras que para los ríos Cocolí y Grande (brazo Sur), los niveles se observan muy por encima de los valores recomendados para mantener la vida acuática, oscilando entre 64 y 245 mg/l.

**Tabla 4-56**

**Resultados de Calidad de Agua en el Río Grande y Río Cocolí**

Estación	Coordenadas	Fecha Colecta	Hora	CL	AA	Temp. °C	Turb NTU	OD mg/l	PH Unid	Cond uS/cm	STD mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	Alcal mg/l
Río Grande Brazo Sur Descarga al Lago Miraflores	652532, 996330	22 Dic. 05	9:50	1	3	25.3	1.8	4.95	7.17	460.0	359	0.019	<0.002	139
		9 Feb. 06	9:40	1	3	24.7	3	3.52	7.04	504.1	480	0.014	<0.002	181
		29 Mar. 06	9:49	2	2	25.8	s/d	4.50	7.21	709.0	417	0.011	<0.002	74
Río Grande Brazo Sur Aguas Arriba	651689, 996535	22 Dic. 05	10:25	1	3	25.3	3.4	5.11	7.65	540.0	251	0.064	<0.002	171
		9 Feb. 06	10:09	1	2	26.3	6	8.71	7.46	594.1	427	0.050	<0.002	245
		29 Mar. 06	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Río Cocolí Aguas Arriba	s/d	22 Dic. 05	12:25	1	3	26.2	6.9	4.37	7.67	196.0	152	0.478	0.002	87
		9 Feb. 06	11:15	1	3	26.9	2.5	3.80	7.33	201.8	181	0.362	0.004	89
		29 Mar. 06	11:38	2	4	27.1	s/d	3.57	7.22	238.0	153	0.665	0.016	157
Río Cocolí Descarga al Lago Miraflores	s/d	22 Dic. 05	12:45	1	4	28.2	21.9	3.04	7.30	237.0	167	0.095	0.003	64
		9 Feb. 06	11:50	1	3	28.9	3.5	4.02	7.16	522.1	380	0.008	<0.002	76
		29 Mar. 06	11:19	2	2	28.5	s/d	4.29	7.17	1020	675	0.028	<0.002	196
Lago Gatún	s/d	2003 - 2005 <sup>16</sup>	---	---	---	30.1 27.2	133.8 6.0	7.94 5.0	8.42 7.06	194.0 93.7	838 60	0.377 0.005	0.027 0.001	59 37

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental Categoría II: Movimiento de Tierra y Nivelación del Cerro Cartagena. Preparado por: PB Internacional. ACP, División Ambiental. 2007; Informe de Calidad del Agua de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá 2003 – 2005. ACP, 2006.

<sup>16</sup> Rango de valores máximos y mínimos obtenidos en este periodo.

#### 4.6.2.6 La Costa Pacífica

Esta zona está dominada por el tránsito de los buques por el Canal, y las operaciones portuarias del área de Balboa. Unos 25 km de la zona de costa son utilizados como área portuaria, industrializada o urbana. Sólo en la esquina Sur-Oeste existen algunas áreas vegetadas una ciénaga extensiva con una franja de manglares, y pequeñas áreas de bosque secundario y paja blanca.

En el área del estuario más cerca del mar, y en aguas a poca profundidad a los lados del Canal, la acción combinada de corrientes y olas produce erosión y circulación de sedimentos. Esa zona del Canal está identificada por tener un alto nivel de sedimentación. El estuario recibe todos los desagües sin tratamiento desde Balboa, Ancón y otras áreas urbanas de la ciudad de Panamá, por sistemas de ríos, canales y tuberías. El nivel de contaminación orgánica es muy alto (sólidos orgánicos, bacterias, patógenos, etc.). No existe una buena estimación del tiempo de residencia de materia contaminada en esta zona, ni su destino último, pero es cierto que el vector de dispersión está vinculado con la navegación, los mares, las corrientes prevalecientes en el área, la circulación de sedimento fino, y los periodos de dragado.

La bahía de Panamá, en la Zona Costera Pacífica es una zona sub-litoral, con un lecho muy fangoso (90-99% limo y arcilla), alcanza una profundidad de 20 m a unos 10-15 km de la costa. El litoral es arenoso, con pequeñas bahías y acantilados. La zona entre mareas está compuesta de fango y arena, con áreas extensivas de rocas. Una cadena de pequeñas islas, de origen volcánico, se extiende al Sur de la entrada al Canal.

Los cursos de agua que desembocan en esta zona son río Cardenas, Castillas, Curundú, Dejalí, Farfán, Matutele y Venado, entre otros (Figura 4-19). Estos cursos de agua, por estar fuera de la cuenca del Canal, no pertenecen a la red de monitoreo de la calidad de las aguas por lo que la información disponible sobre la calidad de sus aguas es muy limitada (Tabla 4-57).

**Tabla 4-57**

**Calidad de las Aguas Superficiales de los Ríos Farfán y Velásquez**

<b>Nombre del Río</b>	<b>pH</b>	<b>EC (µS/cm)</b>	<b>T<sup>a</sup> (°C)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>DO (mg/l)</b>	<b>Salinidad (ppt)</b>	<b>TDS (mg/l)</b>
Farfán	8.0	52,600	28.0	23.5	7.3	32.3	24,206
Velásquez	7.1	356	26.0	3.2	1.5	-	167.5

Fuente: Evaluación de Alternativas para Sitios de Depósito de Material Excavado y Dragado en el Pacífico (Moffatt & Nichol et al., 2004).

Estos resultados muestran la influencia de fuentes naturales y antropogénicas sobre la calidad de las aguas de estos ríos. Los altos niveles de salinidad del río Farfán demuestra la gran influencia de las mareas en estos ecosistemas. Se registraron niveles de oxígeno disuelto muy bajos en el río Velásquez, que junto con unos niveles de conductividad muy altos indican que la calidad del agua es pobre.

Los sedimentos del sector Pacífico presentan características muy particulares, estando estos compuestos mayormente por arcilla (50.4%) y limo (29.2%), con arena (15.8%) y grava (4.6%) en menor proporción. Para esta zona fueron tomadas 15 muestras de sedimentos (PB Consult, 2006).

En cuanto al contenido de carbono orgánico los sedimentos de este sector presentan los niveles más elevados, estando el promedio en 3.1%, y al igual que en el caso del lago Gatún, la débil relación existente entre el contenido de este parámetro y el tamaño de las partículas, sugiere la existencia de fuentes no difusas.

El contenido de metales trazas, presentó concentraciones para el caso del Cobre (73 mg/kg), estando ligeramente sobre el valor de seguridad de <70 mg/kg, específicamente para la muestra P.4.1. En cuanto a los parámetros registrados, como el Arsénico (7.0 mg/kg), Bario (48-61 mg/kg), Plomo (20-27 mg/kg) y Zinc (108 mg/kg), todos sus niveles estuvieron por debajo de las normas de seguridad (PB Consult 2006).

El sector Pacífico fue la única zona donde las concentraciones de plaguicidas sobrepasaron los niveles de seguridad establecidos. Estos resultados se reflejan en la Tabla 4-58 a continuación:

**Tabla 4-58**  
**Plaguicidas en Sedimentos en Concentraciones Elevadas (ug/Kg)**  
**Sector Pacífico**

Muestra	Organo Halogenados <sup>17</sup>		
	4,4'-DDE	4,4'-DDD	4,4'-DDT
P.1.1	3.36	1.93	4.23
P.2.1	---	2.09	3.07
P.3.2	---	1.89	---
Nivel de Referencia	2	1	2

Fuente: URS Holdings, Inc. a partir de PB Consult 2006.

Las mayores concentraciones de Hidrocarburos Poli aromáticos del sector Pacífico se observaron en el área de Balboa; presentándose niveles cerca o ligeramente sobre el nivel de referencia en las muestras P.2.1, P.3.2 y P.4.1.

En el estudio mencionado (PB Consult, 2006), se encontró Tributilestaño en concentraciones bajas en todas las muestras excepto en la recolectada frente al Puerto de Balboa.

El Tributitl estaño (TBT) es un compuesto empleado en las pinturas anti-incrustantes para barcos y conocido por sus efectos extremadamente nocivos sobre los moluscos<sup>18</sup>. Con el límite de detección utilizado en el sondeo realizado ( $20 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), de los 16 sitios examinados, solamente se detectaron concentraciones en una muestra, la P.4.1 ( $790 \mu\text{g kg}^{-1}$ ), recolectada cerca de las áreas

<sup>17</sup> Sólo se muestran las concentraciones para aquellas muestras que excedieron los valores de seguridad utilizados como referencia.

<sup>18</sup> Se cree que una concentración de  $1 \mu\text{g kg}^{-1}$  en los sedimentos tiene efectos. O'Connor, P. T. (1996). Tendencias de las Concentraciones Químicas en Mejillones y Ostras Recogida a lo Largo de la Costa Estadounidense de 1986 a 1993. Mar. Environ. Res. 41 (2), 183-200.

del puerto de Balboa. En los puertos las concentraciones comúnmente exceden los 5000  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , y pueden exceder los 50,000 en situaciones extremas (fuera del astillero) en otras partes del mundo.

En términos generales, de acuerdo a los muestreos y análisis realizados por la Unidad de Calidad de Agua de la ACP (ACP, 2006h), la calidad de agua de los principales ríos de la cuenca del Canal, en los sitios de muestreo es buena. La mayoría de las muestras tomadas cumplen con sus respectivos valores guías para cada uno de los parámetros analizados. Sólo algunas muestras de fosfatos y otras de nitratos, exceden el valor guía respectivo, sin embargo, se mantienen dentro de los límites aceptables para evitar procesos de eutrofización.

#### 4.6.3 Caudales (Máximos, Mínimos y Promedio Anual)

El caudal es definido como el volumen de agua que pasa a través de una sección transversal de un río por unidad de tiempo (ACP, 2005a). Considerando lo anterior, de las estaciones hidrométricas que mantiene la Autoridad del Canal de Panamá en la Cuenca, se obtuvieron datos de caudales máximos, mínimos y medios de algunos ríos localizados en el AEE (Tabla 4-59).

Como se aprecia en la Tabla 4-59, el río Chagres, ubicado en la Zona de la Costa Atlántica, presenta la mayor descarga media anual o caudal medio, siendo éste de 26.6  $\text{m}^3/\text{s}$ , en tanto que el menor promedio anual de caudal lo registra el río Caño Quebrado, localizado en la Zona del Lago Gatún, con un valor de 1.94  $\text{m}^3/\text{s}$ . El resto de los ríos Gatún, Trinidad y Cirí Grande, reportan caudales medios de 4.54  $\text{m}^3/\text{s}$ , 5.66  $\text{m}^3/\text{s}$  y 7.39  $\text{m}^3/\text{s}$  respectivamente.

**Tabla 4-59**  
**Valores Máximos, Mínimos y Promedios de Caudal para Ríos dentro del**  
**Área de Estudio Específico**

Caudales Ríos	Caudal Máximo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Caudal Mínimo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Caudal Promedio Anual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Río Chagres (Z1)	730	7.20	26.6
Río Gatún (Z3)	177	0.852	4.54

Ríos	Caudales		
	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Mínimo (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Promedio Anual (m <sup>3</sup> /s)
Río Caño Quebrado (Z3)	46.0	0.178	1.94
Río Trinidad (Z3)	156	0.861	5.66
Río Ciri Grande (Z3)	131	1.32	7.39

Nota: Z1 = Zona Costa Atlántica; Z3 = Zona Lago Gatún.

Fuente: Anuario Hidrológico 2005 (ACP, 2006).

Del mismo modo, el mayor valor de caudal máximo lo registró el río Chagres (730 m<sup>3</sup>/s), seguido por los ríos Gatún (177 m<sup>3</sup>/s), Trinidad (158 m<sup>3</sup>/s) y Ciri Grande (131 m<sup>3</sup>/s), mientras que el menor caudal máximo fue reportado para el río Caño Quebrado (46.0 m<sup>3</sup>/s). Con relación a los valores de caudal mínimo, el río Chagres y el río Grande reportan valores de 7.20 m<sup>3</sup>/s y 1.32 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Los demás ríos, registraron valores de caudal mínimo < 1.0 m<sup>3</sup>/s.

Debido a los altos valores de caudal registrados para el río Chagres, éste presenta un alto potencial hídrico, lo cual le ha permitido satisfacer las necesidades de consumo para los habitantes de las ciudades de Colón, Panamá y sus alrededores, y el funcionamiento del Canal (tránsito de barcos). Esta doble demanda de agua ha sido abastecida por la misma fuente hídrica, durante los últimos 90 años, por lo que se le considera uno de los ríos de mayor importancia para el País.

#### 4.6.4 Corrientes, Mareas y Oleajes

A través de las secciones subsiguientes se presentan los principales aspectos relacionados con las corrientes, mareas y oleajes de las AEE definidas como La Costa Atlántica y La Costa Pacífica debido a que las mismas constituyen las únicas zonas con un componente marino.

##### 4.6.4.1 La Costa Atlántica

Esta es una zona sub-litoral, con un lecho fangoso/arenoso (35-70% limo y arcilla) que alcanza una profundidad de 40 m aproximadamente a 4 km de la costa. El litoral es arenoso, con pequeñas bahías y acantilados, y en muchos lugares posee una franja de arrecifes coralinos y

pastos marinos, aunque de una biodiversidad reducida por los impactos humanos asociados con el desarrollo de la región. En el sector de La Costa Atlántica o Zona 1 la oscilación de las mareas es pequeña (~0.3 m) y las corrientes resultantes son igualmente débiles. Existe una corriente oceánica por la circulación del Mar Caribe, que en esta costa fluye casi permanentemente hacia el Este a una velocidad de ~0.25 m/s. Bajo la influencia de los vientos alisios, el oleaje es medio-fuerte (>2 m altura 50% del tiempo, con periodo modal de 8-10 segundos).

#### 4.6.4.2 La Costa Pacífica

La circulación de aguas está dominada por los movimientos inducidos por las mareas (semi-diurnas) las cuales tienen una amplitud de 5.0 m en mareas vivas y 2.7 m en mareas muertas. Esta circulación produce corrientes de velocidades máximas de 0.2-0.3 m/s generalmente en el estuario. En la zona del estuario más cerca del mar, y en aguas a poca profundidad a los lados del Canal, la acción combinada de corrientes y olas produce erosión y circulación de sedimentos. Esta zona del Canal está identificada por tener un alto nivel de sedimentación.

Las corrientes de la zona están forzadas por la corriente oceánica del Golfo de Panamá combinada con la oscilación de las mareas. La corriente oceánica cambia con la estación del año. Durante la estación de lluvias aparece una corriente al Oeste en el Norte del Golfo, de una velocidad de aproximadamente 0.2 m/s. Durante la estación seca, vientos más fuertes desde el Caribe desplazan las aguas de la superficie al Sur-Oeste, causando un ‘upwelling’ o ‘afloramiento’ de aguas frías desde las profundidades del océano. En la bahía de Panamá generalmente los flujos más fuertes se alinean Norte-Sur, controlados por el efecto de las mareas, y el efecto de la corriente oceánica proporciona un componente hacia el oeste. Las velocidades máximas de las corrientes no exceden de alrededor de 0.3 m/s. El flujo residual se dirige hacia el Oeste o Sur-Oeste.

Las olas en la Bahía están formadas por vientos locales y por un oleaje que entra desde el océano, con dirección Sur Sudoeste-Oeste Sudoeste (200-250°). En agua profunda el oleaje normal tiene una amplitud de 1.0 m a 1.75 m y un periodo de 10-18 segundos, pero esta energía

se disipa más adentro de la Bahía, y a la entrada del Canal es menos fuerte (la condición que ocurra cada 100 años es 0.7 m de amplitud con un periodo de 17 s). Los vientos locales pueden formar olas de una amplitud de alrededor de 1.0 m y un periodo de alrededor de 4 segundos durante tormentas. Las corrientes inducidas por el pasaje de una ola son de carácter fuerte en aguas de poca profundidad, y en combinación con las corrientes oceánicas y las corrientes inducidas por la marea pueden erosionar y transportar los sedimentos existentes en el lecho de la Bahía; esta es una consideración importante en el análisis de destino de materiales dragados depositados en el mar.

Cabe mencionar que, la Costa Pacífica se encuentra altamente influenciada por la Corriente de Colombia. Dicha Corriente se mueve en sentido contrario de las manecillas del reloj, con dirección predominante NNE, y se manifiesta con toda intensidad entre Cabo Manglares (Colombia) y Punta del Coco (Costa Rica), jugando un importante papel en la dinámica de sedimentación y disposición de las barras arenosas paralelas a la costa. Durante los meses de diciembre a abril la velocidad puede ser de unos 150 cm/seg. mientras que en mayo a junio es de 50 cm/seg, dependiendo de la intensidad de los vientos (Stevenson, et al. 1970). Esta corriente arrastra agua de baja salinidad hacia el norte a lo largo de la costa colombiana y permite la entrada de aguas oceánicas de temperaturas más bajas provenientes del frente ecuatorial de transición.

#### **4.6.5 Aguas Subterráneas**

La información existente respecto al agua subterránea en el AEE es muy limitada, esto debido principalmente a que los estudios realizados se han enfocado en los cuerpos superficiales como principales recursos que son aprovechados.

##### **4.6.5.1 Caracterización del Acuífero**

Para el AEE, The Louis Berger Group (2004), determinó que el nivel freático del área evidencia un comportamiento estacional, que durante la temporada seca se deprime por debajo de los cinco (5) metros de superficie. Sin embargo, debido a la textura de los suelos, que es de un alto

contenido de arcillas plásticas y a que existe un horizonte argílico (acumulación de arcillas), se produce un nivel freático colgante que se encuentra a menos de un (1) metro de la superficie. Estos niveles suben en la temporada lluviosa a menos de 50 cm de la superficie, causando problemas de drenaje superficial, y en algunos casos, aflorando a la superficie. Mediante perforaciones profundas realizadas, se encontró que el nivel de las aguas subterráneas permanente, se encuentra más profundo, entre cuatro (4) y cinco (5) metros de profundidad (Berger, 2004).

Estudios recientes realizados por la ACP en el sector donde se establecerán los diques de Borinquen reflejan la existencia de agua subterránea en niveles entre los 0.5 y 16.6 metros, así como niveles freáticos entre los 12 y 26.4 metros. Estudios previos (Universidad de Panamá, 2003), describen la ocurrencia de aguas subterráneas del Canal haciendo referencia a pozos perforados con profundidad de 65 metros. En ese estudio se describen los acuíferos localizados desde las Esclusas de Pedro Miguel con una longitud de 10 kilómetros en la línea de base tanto al este como al oeste de dicha línea, al este de la línea de base (Gamboa) y al este de las esclusas de Gatún. Estos acuíferos locales (intergranulares o fisurados) de productividad limitada, están constituidos por volcanitas, depósitos marinos y lacustres consolidados y no consolidados. Las zonas meteorizadas pueden funcionar como acutardos. La calidad química de las aguas es variable, desde calidad buena hasta aguas salubres.

#### **4.7 Calidad de Aire**

La calidad del aire sigue siendo uno de los aspectos menos evaluados en la mayoría de los escenarios mundiales, a excepción de algunos puntos muy precisos como son las grandes ciudades y/o sitios donde el deterioro de la misma es de tan flagrante evidencia que literalmente no puede pasar desapercibida.

Lo más valioso en cuanto a datos científicos<sup>19</sup> de la calidad del aire para el Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá, son una serie de análisis llevados a cabo regularmente por el

---

<sup>19</sup> Considerando los periodos monitoreados y las técnicas empleadas.

Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá desde mediados de 1996 en la ciudad de Panamá dentro del programa de Aire Puro. Otros estudios de calidad de aire que han sido revisados para el presente análisis incluyen el “Estudio Exploratorio de la Calidad de Aire y Ruido en los Distritos de Panamá, San Miguelito y Colón, y su Programa de Capacitación” realizado por la empresa francesa BCEOM durante los años 2001 y 2002, y monitoreos realizados por el Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá para la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) o bien como parte del presente Proyecto.

Adicionalmente, resultan de interés los estudios realizados por la empresa PB Consult para la ACP tendientes al establecimiento de un inventario de emisiones atmosféricas y la determinación de los posibles efectos de las obras en los niveles de calidad de aire en las áreas aledañas a los sitios donde se desarrollarán los trabajos de ampliación durante el periodo pico de construcción<sup>20</sup>.

#### **4.7.1 Sitios de Monitoreo y Metodología de Evaluación**

A través de esta sección se presentan las principales metodologías aplicadas tanto para efectos de monitorear la calidad del aire, como para el análisis de las fuentes de emisión presentes en el sitio de desarrollo del Proyecto.

##### **4.7.1.1 Monitoreos de Calidad del Aire**

De los estudios revisados sobre monitoreos de calidad del aire, se puede decir que el de mayor rigor científico es el ejecutado en el marco del Programa de Aire Puro de la Universidad de Panamá (a través del IEA), debido a la continuidad de dicho monitoreo durante un periodo de más de diez (10) años.

Entre las estaciones de monitoreo establecidas en el Programa de Aire Puro, existen tres sitios que se consideran como interesantes para este EsIA debido a su ubicación respecto a las áreas

---

<sup>20</sup> La simulación realizada estima la calidad del aire únicamente durante la etapa de construcción, por lo que dichos datos no son considerados en este análisis de línea base.

definidas en el presente trabajo como de Estudio Específico (AEE) e Impacto Directo (AID). Estas estaciones son la del Casco Viejo - adyacente a la entrada Pacífica del Canal, la Estación identificada como Balboa - próxima al local del actual mercado de artesanías de Balboa y contiguo al YMCA<sup>21</sup>, y la estación identificada como Curundu - en los predios del Campus Universitario Harmodio Arias Madrid, cerca del área portuaria de Balboa.

Las mediciones realizadas por la empresa BCEOM incluyeron el monitoreo de las concentraciones de algunos parámetros indicativos de la calidad del aire durante dos meses de verano y dos meses de invierno, entre los años 2002 y 2003, en diferentes puntos en el área de Colón. Interesantes para este estudio, por estar dentro del AEE, son los resultados obtenidos para el área del Puerto de Cristóbal.

El más reciente de los estudios realizados dentro de las zonas de desarrollo del Proyecto, es el monitoreo, actualmente en ejecución, por el Instituto Especializado de Análisis (IEA) de la Universidad de Panamá para la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), que contempla la evaluación de la calidad del aire en el área de las esclusas de Miraflores y de las esclusas de Gatún. Este monitoreo se ha estado desarrollando desde Enero del 2007 y tendrá una duración hasta el mes de agosto de 2007.

Como complemento a estos estudios, en el marco de ejecución del presente Proyecto, se han realizado desde el mes de abril del presente año a la fecha, monitoreos de calidad de aire, específicamente de partículas, en los poblados de Paraíso, Cocolí y Fuerte Davis.

La ubicación de los sitios donde se han desarrollado los monitoreos se presenta en las Figuras 4-20 y 4-21.

Todos los sitios antes mencionados fueron y/o son objeto de monitoreos ambientales por métodos pasivos, continuos y/o gravimétricos. Los estudios evaluaron concentraciones ambientales para Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>), Partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>) y con menor frecuencia, niveles de Monóxido de Carbono (CO);

---

<sup>21</sup> Estación eliminada en el año 2001

mientras que los más recientes incluyeron el monitoreo de Partículas menores de 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>).

Los sitios de monitoreo y los parámetros evaluados en cada uno de estos estudios se resumen en la Tabla 4-60 mostrada a continuación.

**Tabla 4-60**  
**Sitios de Monitoreo de Calidad de Aire y Parámetros Evaluados Según Estudios Disponibles 1997 – 2007**

Sitio	Coordenadas Geográficas		Estudio	Parámetro			
	X	Y		NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	PM <sub>10</sub>
BALBOA	658648	989869	U. DE PANAMÁ - IEA				
CURUNDU	658648	989869	U. DE PANAMÁ - IEA				
CASCO VIEJO	661318	989978	U. DE PANAMÁ - IEA				
CRISTOBAL	620299	1033992	BCEOM - IEA - ANAM				
MIRAFLORES	593799	1044933	IEA - ACP				
GATÚN	611064	1043689	IEA - ACP				
COCOLÍ	655150	992247	URS - IEA - ACP				
PARAISO	650788	998435	URS - IEA - ACP				
JOSE DOMINADOR BAZAN (FUERTE DAVIS)	620091	1026370	URS - IEA - ACP				

Fuente: URS Holdings, Inc.

En la Tabla 4-61 se resumen los métodos de monitoreo empleados en estos estudios.

**Tabla 4-61****Metodología de Monitoreo y Análisis de la Calidad del Aire**

Métodos de referencia	Parámetro	Rango
EQSA-0595-100 USEPA Espectroscopia Fluorescente	SO <sub>2</sub>	500 ppb
ETH – Suiza – Tubo pasivo Glycerin capture / p-Rosanilina UV		
RFNA-1194-099 USEPA Espectroscopía	NO <sub>2</sub>	500 ppb
ETH – Suiza – Tubo pasivo Palmes tube-Griess-Saltzman method		
EQOA-0992-087 USEPA Quemiluminiscencia	O <sub>3</sub>	400 ppb
ETH – Suiza – Tubo pasivo		
RFPS-1287-063 Andersen High Volume Sampler	PM <sub>10</sub>	N/A

Fuente: URS Holdings, Inc.

#### 4.7.1.2 Estimaciones de Emisiones Actuales

En el informe presentado por los contratistas Parsons Brinckerhoff (2006), se analizan las principales fuentes de emisión debido a las operaciones del Canal, los trabajos de ampliación y otras fuentes existentes en el sitio. Para la estimación de emisiones se utilizó como fuente de información la capacidad de los equipos, factores de carga, tasa de utilización, número de equipos en operación, factores de emisión (principalmente de USEPA), y datos de contenido de azufre en combustible marino. Una gran parte de estos datos fueron facilitados por personal de la ACP en función de las condiciones operativas y las prácticas de trabajo llevadas a cabo para los equipos y áreas evaluadas.

#### 4.7.2 Resultados Obtenidos para el Área de Estudio Específico

Los resultados obtenidos a través de los diversos estudios de calidad de aire realizados, según la zona donde se desarrollaron los mismos, se muestran en la Tabla 4-62, en tanto que en la Tabla 4-63 se muestran los valores de referencia. Además, en la Tabla 4-64 se presentan los resultados de la estimación de emisiones.

**Tabla 4-62**

**Resultados de Calidad de Aire**

Sitio	Parámetro (ug/m <sup>3</sup> ) <sup>19</sup>							
	NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>		PM <sub>10</sub>	
	Prom. anual	24 hrs	Prom. anual	24 hrs	8 hrs.	24 hrs	Prom. anual	24 hrs
<b>Costa Atlántica-Zona 1</b>								
CRISTOBAL	17.10		3.10		27.73		47.80	58.1
<b>Esclusas de Gatún – Zona 2</b>								
FUERTE DAVIS								22.2
GATÚN*	7.6		65.7		26.0		24.7	
<b>Esclusas del Pacífico – Zona 5</b>								
PARAISO								23.4
MIRAFLORES*	15.6		20.6		48.7		20.9	
COCOLÍ								18.6
<b>Costa Pacífica – Zona 6</b>								
BALBOA	31.70	40,20			38.80		49.09	41.6
CURUNDU	13.00	38,20			16.70		25.30	
CASCO VIEJO	20.70				14.00		13.50	

\* = Promedio de 4 meses; enero, febrero, marzo, abril y mayo de 2007.

Fuente: URS Holdings, Inc. Instituto Especializado de Análisis, ACP.

**Tabla 4-63**

**Valores Guías o Normas de Referencia**

Valor Guía	NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>		O <sub>3</sub>		PM <sub>10</sub>	
	Prom. anual	24 hrs	Prom. anual	24 hrs	Prom. anual	24 hrs	Prom. anual	24 hrs
OPS-OMS <sup>22</sup>	80	160	80	365	157	235	50	150
OPS-OMS <sup>23</sup>	40	200	20	500	100		20	50
ANAM <sup>24,25</sup>	100	150	80	365	157	235	50	150
EPA	100		80	365	157	235	100	

Fuente: URS Holdings, Inc.

La mayoría de los valores que aparecen en la Tabla 4-62 están dentro de la normativa de los organismos que aparecen en la Tabla 4-63, salvo para los casos del PM<sub>10</sub> que en prácticamente

<sup>22</sup> Valores guías de OPS-OMS hasta Octubre 2006.

<sup>23</sup> Nuevos Valores guías de OPS-OMS desde Octubre 2006.

<sup>24</sup> Anteproyecto de Norma de Calidad de Aire.

<sup>25</sup> Los valores guías considerados en la Norma 2610-ESM-109 establecida por la ACP, coinciden con los valores considerados en el Anteproyecto de Norma de Calidad de Aire de la ANAM.

todos los sitios no cumple con los nuevos lineamientos de OPS-OMS, así como del dióxido de azufre en la zona de las esclusas de Gatún, donde se sobrepasa el nuevo lineamiento de OPS-OMS para dicho parámetro.

En lo concerniente al inventario de fuentes de emisiones, en la Tabla 4-64 se muestran los resultados de los cálculos efectuados.

**Tabla 4-64**  
**Estimación de Emisiones Existentes<sup>26</sup>**

Actividad	Fuente de Emisión	Parámetro (Ton/día)			
		CO	NOx	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Operaciones Marítimas	Tránsito de Embarcaciones	48.6	141.0	4.1	76.3
	Dragado y Perforación	0.3	2.9	0.1	3.8
	Remolcadores	1.1	10.8	0.3	14.4
	Botes de Servicios	1.8	2.7	0.1	NA
	<b>Sub-Total</b>	<b>51.8</b>	<b>157.4</b>	<b>4.6</b>	<b>94.5</b>
Programa de Modernización	Lirio	0.09	0.26	0.02	0.03
	Hodges	0.17	0.46	0.03	0.05
	Bas Obispo	0.11	0.27	0.02	0.03
	La Pita Sur	0.07	0.20	0.01	0.02
	Cartagena	0.16	0.42	0.03	0.05
	<b>Sub-Total</b>	<b>0.60</b>	<b>1.61</b>	<b>0.11</b>	<b>0.18</b>
Otras Fuentes	Planta Termoeléctrica de Miraflores	NA	12.5	0.70	6.10
	Servicio de Tren	0.00002	0.00004	0.0000024	---
	Tráfico Vehicular	3.7	0.50	0.10	0.02
	<b>Sub-Total</b>	<b>3.7</b>	<b>13.0</b>	<b>0.80</b>	<b>6.12</b>
<b>Total</b>		<b>56.10</b>	<b>172.01</b>	<b>5.51</b>	<b>100.80</b>

Fuente: Parsons Brinckerhoff, 2006.

De dichos cálculos se observa que, para todos los parámetros evaluados, las principales fuentes emisoras están relacionadas con las operaciones marítimas, y en particular con el tránsito de embarcaciones a través del canal.

<sup>26</sup> En algunos casos se ajustó la suma total de las emisiones, según el resultado de cada uno de sus componentes individuales.

Los resultados obtenidos, evaluados por zonas, se muestran a continuación<sup>27</sup>.

#### 4.7.2.1 La Costa Atlántica

La calidad de aire que se percibe para este sector en el caso del NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> está dentro de los valores normados y/o de referencia para la misma. En el caso del PM<sub>10</sub> se observa que los datos obtenidos sobrepasan los nuevos valores guías definidos por la OPS-OMS tanto como promedio anual, como en cuanto a concentración de 24 horas.

Además de las fuentes de emisión marítimas del área, es importante mencionar otras fuentes próximas, como son la unidad incineradora de Cristóbal y el Relleno Sanitario de Mount Hope el cual regularmente presenta problemas de combustión espontánea.

#### 4.7.2.2 Esclusas de Gatún

En el caso de las mediciones realizadas en las esclusas de Gatún, se observa el NO<sub>2</sub> y el O<sub>3</sub> dentro de los valores de referencia; en el caso del SO<sub>2</sub> y el promedio anual de PM<sub>10</sub>, estos sobrepasan los nuevos lineamientos de OPS-OMS.

Por su parte, el monitoreo de PM<sub>10</sub> realizado en el área de José Dominador Bazán (Fuerte Davis) se encuentra dentro de los parámetros de referencia utilizados.

#### 4.7.2.3 Lago Gatún

Los monitoreos realizados no contemplan el área del lago Gatún. No obstante, en términos generales, las fuentes de contaminación existentes consisten principalmente en el tránsito constante de embarcaciones, dado que la gran parte de la extensión territorial de la zona corresponde a áreas acuáticas y no existe ningún desarrollo urbano o industrial de consideración en la misma.

---

<sup>27</sup> En el caso de las emisiones debido a las operaciones marítimas, el servicio de tren y el tráfico vehicular, las mismas no corresponden a una zona en particular, sino que se distribuyen a lo largo de las diferentes áreas de estudio específico.

#### 4.7.2.4 Corte Culebra

Para esta zona tampoco existen datos de referencia de calidad del aire. Por ser un área rodeada de bosques y con baja densidad poblacional, la actual calidad del aire debe estar marcada por bajas concentraciones de contaminantes del aire. El contaminante de mayor concentración por las condiciones del terreno podría ser el Ozono, que en áreas boscosas tiende a incrementar su producción. Los niveles de partículas que se generan debido a las obras de modernización que actualmente se llevan a cabo podrían considerarse como contaminantes de importancia<sup>28</sup>, pero muy puntuales, porque se generan ya sea por la maquinaria de construcción que se utiliza o los movimientos de tierra que se ejecutan; sin embargo, se debe considerar que estos podrían ser amortiguados en gran parte por las condiciones de alta humedad del área, principalmente con la llegada de las lluvias.

#### 4.7.2.5 Esclusas del Pacífico

El mayor contribuyente hasta ahora identificado para la zona es el tráfico canalero, en especial el de los grandes barcos que consumen combustible con alto contenido de azufre; otra fuente de emisiones en el área la constituye la planta termoeléctrica de Miraflores, ubicada próxima a las esclusas.

De acuerdo a los monitoreos realizados en las esclusas el NO<sub>2</sub>, y el O<sub>3</sub> se encuentran dentro de los valores de referencia. En el caso del SO<sub>2</sub> y las PM<sub>10</sub> se observa que exceden ligeramente los nuevos lineamientos de la OPS-OMS.

Los datos puntuales de PM<sub>10</sub> obtenidos en las comunidades de Cocolí y Paraíso muestran cumplimiento con las normas y guías de referencia.

---

<sup>28</sup> Los sitios Lirio, Hodges, Bas Obispo y La Pita Sur se encuentran dentro de esta zona.

#### 4.7.2.6 La Costa Pacífica

Esta zona es la más estudiada de todas en cuanto a la calidad del aire, dado que en la misma se cuenta con estaciones de monitoreo continuo.

Los resultados obtenidos del monitoreo muestran mayores niveles de contaminantes en aquellas estaciones ubicadas próximas a vías con un alto tráfico vehicular. En la mayoría de los casos se observa cumplimiento con las normas de referencia salvo para el caso del valor promedio anual de PM<sub>10</sub> en las estaciones de Balboa y Curundú, que sobrepasan los lineamientos establecidos por la OPS-OMS.

Los valores de PM<sub>10</sub> para la estación de Balboa, cuyo promedio estaba cerca de los 50.00 µg/m<sup>3</sup>, y las mayores concentraciones de NO<sub>2</sub> medidas en esta estación, permiten establecer que la calidad del aire se ve más comprometida en las áreas de tráfico pesado, como en el caso de esta estación que recibe las emisiones vehiculares del tráfico que se dirige hacia el puente de las Américas.

De los resultados presentados es importante hacer notar el carácter temporal que tienen la mayoría de los datos, esto debido a que obedecen a monitoreos realizados en periodos muy específicos, y no a un estudio permanente y continuo de la calidad del aire.

En lo concerniente a los nuevos lineamientos de calidad de aire de OPS-OMS, es importante mencionar que, para su cumplimiento, al haberse definido estándares mucho más estrictos que los anteriores, se contempla el establecimiento de metas intermedias para la reducción gradual de los contaminantes en el aire hasta llegar a los nuevos niveles propuestos.

## 4.8 Ruido

El objetivo de esta sección es establecer las condiciones de línea base en cuanto a los niveles de ruido, en aquellas áreas urbanas y recreativas que, debido a su proximidad a las zonas de trabajo

del Proyecto de Ampliación y por las actividades a ser desarrolladas, podrían considerarse como receptores sensibles.

Las condiciones existentes de línea base en materia de ruido fueron establecidas utilizando información secundaria generada en el estudio de Parsons Brinckerhoff (2006) y mediante la realización de monitoreos adicionales por parte de la Universidad de Panamá. Los datos obtenidos corresponden a mediciones en quince (15) puntos, ubicados en La Boca, Diablo, Los Ríos, Clayton, Paraíso, Pedro Miguel, Club de Golf de Summit, Jardín Botánico Summit, Gamboa y José Dominador Bazan (Davis) en el sector Atlántico; en algunas áreas de interés, tales como José Dominador Bazán, Paraíso, Pedro Miguel, Clayton y Gamboa, las lecturas incluyeron dos puntos para una mejor cobertura. De estos sitios, doce (12) están localizados en áreas residenciales y tres (3) en áreas recreativas.

#### **4.8.1 Definición de Receptores Sensibles**

Los sitios de monitoreo seleccionados proveen una amplia cobertura geográfica a fin de caracterizar la gama de condiciones existentes de ruido en los receptores sensibles en el entorno del área propuesta del Proyecto. Los niveles de ruidos, para diversos receptores ubicados en la proximidad de los sitios medidos, pueden ser diferentes debido a las características topográficas del terreno o la distancia. Los receptores incluyeron los sitios más representativos en términos de proximidad al Canal y su operación actual.

La localización de los sitios de monitoreo se muestra en las Figuras 4-20 y 4-21.

#### **4.8.2 Metodología y Equipos de Medición**

Las características de las condiciones acústicas ambientales existentes en los sitios seleccionados fueron determinadas realizando una serie de mediciones de ruido. Las mismas fueron realizadas por la empresa Parsons Brinckerhoff entre septiembre y octubre del 2006. La Universidad de Panamá realizó mediciones complementarias en marzo de 2007, en siete de los quince puntos medidos originalmente.

En el estudio realizado por Parsons Brinckerhoff, las lecturas de ruido fueron tomadas usando un instrumento calibrado de ruido tipo Bruel & Kjaer 2231, Model Sound Level Meter, con un micrófono tipo CEL-250 con protección contra el viento. La calibración del equipo de ruido fue verificada con un calibrador tipo Bruel & Kjaer 4230 antes de cada medida. El instrumento de ruido (Sound Level Meter) computó los niveles de ruido de Leq por periodos de 20 minutos.

Las mediciones ejecutadas por la Universidad de Panamá fueron realizadas con un sonómetro calibrado, marca Quest, modelo Soundpro, con un micrófono tipo 2, con protección contra el viento. Se verificó la calibración del equipo antes y después de cada medición, con un calibrador QC-10. Al igual que en el estudio de Parsons Brinckerhoff, se utilizaron periodos de medición de 20 minutos.

La información correspondiente a las distancias de estos puntos con respecto al Canal y sus operaciones actuales, se presenta en la Tabla 4-65. Para todos los sitios se tomaron mediciones en horario diurno, mañana y tarde, entre las 8:00 a.m. y las 5:00 p.m. aproximadamente. Además de estos periodos, se tomaron lecturas de ruido durante un período nocturno (noche) entre las 11:59 pm y las 3:00 am aproximadamente, en 6 de los 15 sitios. Se determinó el nivel de ruido equivalente en el tiempo de medición (Leq.) y el L10 o nivel de ruido excedido el 10% de las veces durante el periodo de medición.

**Tabla 4-65**  
**Distancia de los Puntos de Medición a las obras del Proyecto**

Sitio de Monitoreo ID	Distancia aproximada a las obras del proyecto (metros)		
	Distancia aproximada a las esclusas propuestas en el Pacífico	Distancia aproximada a las esclusas propuestas en el Atlántico	Distancia aproximada al canal de Acceso
<b>ZONA 2 – Esclusas de Gatún</b>			
M1	-	848	471
M2	-	1191	469
<b>ZONA 3 – Lago Gatún</b>			

Sitio de Monitoreo ID	Distancia aproximada a las obras del proyecto (metros)		
	Distancia aproximada a las esclusas propuestas en el Pacífico	Distancia aproximada a las esclusas propuestas en el Atlántico	Distancia aproximada al canal de Acceso
M11	-	-	102 <sup>^</sup>
M12	-	-	109 <sup>^</sup>
<b>ZONA 4 – Corte Culebra</b>			
M13	-	-	1614 <sup>^</sup>
M14	-	-	1083 <sup>^</sup>
<b>ZONA 5 – Esclusas del Pacífico</b>			
M5	-	-	379
M6	-	-	447
M7	-	-	615
M8	-	-	797
<b>ZONA 6 – La Costa Pacífica</b>			
M3	4977	-	520 <sup>^</sup>
M4	2870	-	650
M9	2293	-	2045
M10	1851	-	1780
M15	1590	-	-

Fuente: Parsons Brinckerhoff, 2006.

<sup>^</sup> Distancia en este sitio fue medida al borde este del Canal.

### 4.8.3 Sitios y Resultados de Medición de Ruido

Los detalles y resultados de las mediciones de Parsons Brinckerhoff 2006 y la Universidad de Panamá 2007, se muestran en la Tabla 4-66. En base a los datos mostrados en dicha tabla, se presenta una discusión de los mismos en función al Área de Estudio Específico a la cuál corresponde cada lectura.

**Tabla 4-66**

**Niveles de Ruido de Fondo o Ambiental Existentes**

ID del Sitio de Monitoreo	Ubicación del Sitio de Monitoreo	Uso del Suelo	Fecha	Hora	Leq (1h) (dBA)	L10 (dBA)
<b>ZONA 2 – Esclusas de Gatún</b>						
M1	José Dominador Bazán (Davis)	Residencial	29/9/2006	11:50 am	44	45
M2	José Dominador Bazán (Davis) - # 1 Ave. Pedro Prestán	Residencial	29/9/2006	12:32 am	53	58
<b>ZONA 3 – Lago Gatún</b>						
M11	Gamboa - # 308 Gaillard Ave	Residencial	03/10/2006	4:15 pm	66**	62**
			03/10/2006	5:23 pm	56	55
			05/10/2006	10:14 am	53	54
			05/10/2006	11:59 pm	46^	48
M11a	Gamboa - # 308 Gaillard Ave	Residencial	28/03/2007	4:00 p.m.	63.7	87.5 <sup>3</sup>
M12	Gamboa - # 167 Willianson Ave	Residencial	03/10/2006	4:52 pm	50	52
			05/10/2006	9:43 am	53***	56***
<b>ZONA 4 – Corte Culebra</b>						
M13	Summit – Club de Golf	Recreativo	04/10/2006	1:06 pm	50	52
M14	Summit – Parque Municipal Jardín Botánico	Recreativo / Parque	04/10/2006	1:45 pm	55	60
M14a	Summit – Parque Municipal Jardín Botánico	Recreativo / Parque	27/03/2007	5:40 p.m.	54.9	68.4
<b>ZONA 5 – Esclusas del Pacífico</b>						
M5	Paraíso - # 120A Vista Hermosa	Residencial	02/10/2006	3:10 pm	47*	50*
			05/10/2006	8:48 am	48*	51*
M6	Paraíso - # 359 Paraiso Rd	Residencial	02/10/2006	5:06 pm	58*	56*
			04/10/2006	10:55 am	61*	62*
			05/10/2006	12:44 am	49^	49
M6a	Paraíso - # 359 Paraíso Rd	Residencial	26/03/2007	3:42 p.m.	71.8 <sup>1</sup>	58.6
M7	Pedro Miguel - # 9207-2 Cruce ferrocarril con Ave Omar Torrijos	Residencial	02/10/2006	3:47 pm	67	71
			04/10/2006	10:14 am	73 */**	71*/**
M8	Pedro Miguel - # 908 Manzanillo Pl	Residencial	02/10/2006	4:30 pm	64	66
			04/10/2006	9:47 am	59	-
			05/10/2006	1:16 am	49^	49
<b>ZONA 6 – La Costa Pacífica</b>						
M3	La Boca - # 912-A Calle Ernesto J.	Residencial	02/10/2006	10:45 am	55	57

ID del Sitio de Monitoreo	Ubicación del Sitio de Monitoreo	Uso del Suelo	Fecha	Hora	Leq (1h) (dBA)	L10 (dBA)
	Castillero R.		04/10/2006	4:10 pm	57	60
			05/10/2006	3:04 am	52 <sup>^</sup>	52
M3a	La Boca - # 912-A Calle Ernesto J. Castillero R.	Residencial	23/03/2007	2:20 p.m.	56.2	67.1
M4	Diablo - # 5964 Smith PI	Residencial	02/10/2006	11:45 am	60	63
			04/10/2006	3:10 pm	62	65
			05/10/2006	2:27 am	53 <sup>^</sup>	54
M4a	Diablo - # 5964 Smith PI	Residencial	23/03/2007	3:05 p.m.	63.5	81.2 <sup>4</sup>
M9	Clayton – Complejo Deportivo Ciudad del Saber – Jarman Field	Residencial / Deportivo	03/10/2006	2:12 pm	52	54
			04/10/2006	8:38 am	53	55
M9a	Clayton – Complejo Deportivo Ciudad del Saber – Jarman Field	Residencial / Deportivo	26/03/2007	4:40 p.m.	58.6 <sup>2</sup>	72.7
M10	Clayton – # 25B Calle Carlos Renato Lara	Residencial	03/10/2006	3:02 pm	60	62
			04/10/2006	9:12 am	56	57
			05/10/2006	1:50 am	46 <sup>^</sup>	47
M15	Los Rios – Crossroads Bible Church	Residencial /Iglesia	04/10/2006	2:32 pm	67	70
M15a	Los Rios – Crossroads Bible Church	Residencial /Iglesia	27/03/2007	6:30 p.m.	57.7	80.5 <sup>5</sup>

Fuente: Modificado de Parsons Brinckerhoff ,2006. Las mediciones con sub-letra fueron realizadas por la Universidad de Panamá.

\* Lectura fue tomada durante actividad de construcción en el Canal.

\*\* Paso de Tren durante la lectura (lectura incluye ruido del tren).

\*\*\* Durante la lectura a las 9:54 am se produjo una voladura sub-acuática (barcaza de perforación Thor ).

<sup>^</sup> Lectura Nocturna.

Nota 1: M5 – Distancia aproximada del sitio al área de construcción en cerro Paraíso, 883 metros.

M6 - Distancia aproximada del sitio al área de construcción en cerro Paraíso, 361 metros.

M7 - Distancia aproximada del sitio al área de construcción en cerro Paraíso, 1083 metros.

Nota 2: Durante las lecturas nocturnas no fue observado trabajo de construcción.

Nota 3: Cada Lectura de ruido fue tomada durante 20 minutos.

<sup>1</sup> Trafico constante de vehículos

<sup>2</sup> Trafico constante de vehículos, alarma de vehículo y paso de aviones

<sup>3</sup> Personas hablando

<sup>4</sup> Ladridos de perros

<sup>5</sup> Barcos transitando, personas hablando, paso de aviones, aves.

Como se observa en la Tabla 4-66, los resultados de las mediciones de ruido realizadas en horario diurno varían de un Leq de 44 a 73 dBA, y de un Leq de 46 a 53 dBA en horario nocturno. A continuación se presentan los resultados obtenidos, de acuerdo a cada una de las zonas definidas dentro del AEE, los cuáles son comparados con la normativa vigente en materia de ruido ambiental (Decreto Ejecutivo N°306 del 2002<sup>29</sup>).

#### 4.8.3.1 La Costa Atlántica

Esta zona no fue incluida como parte de los monitoreos realizados debido a que los trabajos a desarrollarse en esta zona serán de tipo acuático, por lo que el nivel de ruido producido por los mismos, no será significativo en relación a la gran actividad portuaria y comercial que se desarrolla en la zona y muy próxima a áreas residenciales.

#### 4.8.3.2 Esclusas de Gatún

Parsons Brinckerhoff 2006, realizó mediciones en la comunidad de José Dominador Bazán (Davis), tomándose dos lecturas (sitios M1 y M2).

En las mediciones diurnas realizadas en esta zona en los sitios M1 y M2, los resultados varían de Leq. 44 – 53 dBA, por lo que se puede concluir que es una zona de poca afectación por ruido. En ningún momento los valores obtenidos superan los límites establecidos por la norma de ruido ambiental para horario diurno (60 dBA).

#### 4.8.3.3 Lago Gatún

En la consultoría de Parsons Brinckerhoff 2006, se realizaron mediciones en la comunidad de Gamboa, estableciéndose dos sitios de monitoreo de ruido (sitios M11 y M12). En ambos sitios de monitoreo, fueron tomadas lecturas durante el día en los periodos de la mañana y la tarde. Adicionalmente, se tomó una lectura durante la noche en el sitio M11.

---

<sup>29</sup> Modificado por el Decreto Ejecutivo N°1 del 2004.

La Universidad de Panamá realizó mediciones complementarias en Gamboa - #308 Gaillard Ave. (sitio M11a), en horario diurno.

Mientras una de las lecturas diurnas estaba siendo monitoreada en el sitio M11, un tren pasó (ruido de fondo). La Tabla 4-62 muestra las lecturas de ruido de fondo o ambiental en el sitio M11 con la influencia del tren y sin el tren.

La lectura de ruido en el sitio M12 durante el periodo de la mañana incluyó el ruido proveniente de una voladura subacuática (ruido de fondo) en la barcaza de perforación Thor. Esta zona se ve afectada en forma esporádica y discontinua por las actividades de voladura en el Canal (Corte Culebra).

Algunas de las fuentes de ruido identificadas en el área provienen de la División de Dragado de Gamboa, el tren de carga y de pasajeros, y el tráfico vehicular en las calles locales.

Los resultados de las mediciones diurnas variaron entre Leq 50 – 66 dBA, y durante horario nocturno el resultado fue de Leq 46 dBA. Estos resultados reflejan en algunos casos que se sobrepasa la norma nacional para horarios diurnos de 60 dBA; no obstante, en ambos casos en que se sobrepasó dicho nivel, se evidenciaron situaciones muy particulares que pudieron ocasionar dicha excedencia, como fue el paso del tren y de personas conversando.

#### 4.8.3.4 Corte Culebra

Los sitios de monitoreo de esta zona incluyeron una lectura de ruido durante el día en el Club de Golf de Summit (sitio M13) y en el Parque Municipal Jardín Botánico Summit (sitio M14); este sitio de monitoreo está situado en el lado Este del área de excavación de La Pita. La Universidad de Panamá realizó mediciones en el Parque Municipal Jardín Botánico Summit (sitio M14a), en horario diurno.

En la Zona 4, todas las mediciones fueron diurnas, los resultados variaron entre Leq 50 – 54.9 dBA. Este sitio se encuentra relativamente lejos del canal de navegación, el aporte principal de

ruido proviene del paso esporádico de vehículos. Los resultados reflejan cumplimiento del valor diurno definido en la normativa nacional.

#### 4.8.3.5 Esclusas del Pacífico

En la comunidad de Paraíso se tomaron dos lecturas de ruido (sitios M5 y M6). En ambos sitios se realizaron mediciones en los periodos de la mañana y la tarde. Adicionalmente, se tomó una lectura durante la noche en el sitio M6. La Universidad de Panamá también realizó mediciones de ruido en Paraíso - #359 Rd (sitio M6a) en horario diurno.

En el área de Pedro Miguel se ubicaron dos sitios de monitoreo de ruido (sitios M7 y M8). En ambos sitios se tomaron lecturas diurnas en los períodos de la mañana y de la tarde. Adicionalmente, se tomó una lectura durante la noche en el sitio M8. La comunidad de Pedro Miguel está situada en el lado Este del Canal. Los carriles del ferrocarril están localizados en el lado Oeste de Pedro Miguel.

Es importante mencionar que mientras se tomaban las lecturas en el día en los sitios M5 y M6, se llevaban a cabo en el lado Oeste del Canal en cerro Paraíso labores de excavación. Durante la medición diurna en el sitio M6a fue característico el ruido debido al paso constante de vehículos.

En el sitio M7 mientras se realizaba el monitoreo de una de las lecturas diurnas, un tren pasó (ruido de fondo). En la Tabla 4-54 se muestran las lecturas de ruido de fondo o ambiental en el sitio M7 con la influencia del tren y sin el tren. Algunas de las fuentes de ruido identificadas en el área provienen de autos, buses y camiones que transitan en la avenida Omar Torrijos, así como el tren de carga y de pasajeros. Durante las lecturas tomadas en el día en el sitio M7, se llevaban a cabo labores de construcción en el lado Oeste del Canal en cerro Paraíso.

En esta zona los resultados de las mediciones diurnas variaron entre Leq 47 – 73 dBA, y en el horario nocturno variaron entre Leq 46 – 49 dBA. La zona es principalmente residencial, por lo tanto los aportes de ruido provienen básicamente de las actividades en las viviendas y otras fuentes externas como son el paso del tren y la circulación constante de vehículos. En horario

nocturno se cumple con los valores de la norma de ruido ambiental (50 dBA); mientras que en horario diurno en el único sitio donde se cumplió con el valor límite fue en el sitio M5.

#### 4.8.3.6 La Costa Pacífica

En la comunidad de La Boca (sitio M3), se tomaron lecturas de ruido durante el día (períodos de mañana y tarde) y la noche. La Universidad de Panamá realizó mediciones en La Boca – 3912-A, Calle Ernesto J. Castellero R. (sitio M3a), en horario diurno.

En Altos de Diablo (Altos Jesús), se tomaron lecturas de ruido (sitio M4) durante el día y la noche. Algunas de las fuentes de ruido identificadas en este sitio provienen de los autos y camiones que transitan en la Calle Alemania. Igualmente, la Universidad de Panamá realizó mediciones en Diablo - #5964 Smith Pl (sitio M4a).

En la comunidad de Los Ríos (sitio M15), se tomó una lectura de ruido, durante el día, en las cercanías de la Iglesia de Crossroad Bible Church.

En la comunidad de Clayton (Ciudad del Saber) se tomaron dos lecturas de ruido (sitios M9 y M10). En ambos sitios de monitoreo las lecturas fueron tomadas durante el día y en períodos de la mañana y la tarde. Adicionalmente, se tomó una lectura durante la noche en el sitio M10 (zona residencial). La Ciudad del Saber es un área de uso mixto de suelo con zonas residenciales, de oficinas y comerciales. La Universidad de Panamá también realizó mediciones de ruido en Clayton, específicamente en el Complejo Deportivo Ciudad del Saber – Jarman Field (sitio M9a).

Algunas de las fuentes de ruido identificadas en el sitio M3 provienen del tráfico vehicular en el puente de Las Américas y los puertos cercanos.

En lo concerniente a la comunidad de Altos de Diablo (Altos Jesús), sitio M4, las fuentes de ruido identificadas provienen de los autos y camiones que transitan en la Calle Alemania. Para

las mediciones realizadas en el sitio M4a por la Universidad de Panamá, una fuente de ruido característica de la zona fue el ladrido de perros y el paso de personas.

Un factor característico del sitio de medición M9a fue el paso de aviones sobre el mismo, así como el tráfico de vehículos y sonido de alarmas.

En el caso de la comunidad de Los Ríos – cercano a la Crossroads Bible Church, sitio M15a, durante las mediciones fue percibido el ruido generado por diversas fuentes como personas hablando, el paso de aviones y por aves.

En la Zona 6, las mediciones realizadas en horario diurno varían desde Leq 52 – 67 dBA; y durante el horario nocturno varían desde Leq 46 - 53 dBA.

Los sitios donde se percibieron los mayores niveles de ruido fueron en Diablo, con un Leq. de 63.5 dBA, y en Los Ríos, con un Leq. de 67 dBA, estando ambos parámetros sobre el límite para horario diurno de 63 dBA. En cuanto a las mediciones nocturnas, el único sitio en el cuál no se sobrepasó el valor normado de 50 dBA, fue en Clayton donde se registró un Leq. de 46 dBA.

#### **4.9 Olores**

El olor es un atributo organoléptico perceptible por el órgano del olfato por medio de la respiración de algunas sustancias volátiles. Las molestias por olor pueden ser causadas por efectos tanto físicos como mentales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los olores son elementos perturbadores de la salud humana. En algunas ocasiones, los olores percibidos pueden provocar molestias al ser humano, afectando negativamente la sensación de bienestar pudiendo provocar efectos secundarios como dolor de cabeza y náuseas<sup>30</sup>.

Los olores se caracterizan por diferentes factores: i) Intensidad: que mide la fuerza de la sensación percibida; ii) Aceptabilidad: que mide el grado de gusto o disgusto de una sensación

---

<sup>30</sup> Estudio Final Científico y Técnico – Normas de Calidad de Controles de Olores Molestos, URS Holdings, Inc. Noviembre, 2004.

de olor; y iii) Umbral del Olor: que determina la concentración mínima de un estímulo odorífero capaz de provocar una respuesta<sup>31</sup>. Los olores pueden ser generados por varios tipos de fuentes, sean éstas fuentes naturales, fuentes generadas por el hombre y sus actividades, los generados por actividades de tipo industrial, sean de tipo fijas o de área, etc.

Para caracterizar los olores en el AEE del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá como parte de este EsIA, se realizó una investigación de la bibliografía existente referida a estudios realizados en el País, que es muy limitada, recurriendo en particular a un trabajo realizado por URS Holdings, Inc. en el año 2004. Luego, aplicando la metodología y criterios recomendados en dicho estudio, se realizó un monitoreo en puntos seleccionados del AEE, durante el mes de marzo de 2007.

En esta sección se presenta inicialmente una breve descripción de los antecedentes de la medición y caracterización de los olores, y los resultados del monitoreo realizado en el AEE.

#### **4.9.1 Selección de los Puntos de Muestreo en el Área de Estudio Específico**

Para el caso del presente estudio, los puntos de muestreo fueron seleccionados considerando las seis zonas de estudio definidas en el presente EsIA y de acuerdo a los siguientes criterios:

- Comunidades dentro de las seis zonas de estudio del Proyecto para el componente ambiental; y
- Zonas con actividades económicas (turísticas, industriales, recreativas educativas cercanas a las zonas de estudio).

Cabe destacar que los sitios seleccionados consideraron los puntos de muestreo evaluados por la ACP en la Evaluación de los Niveles de Ruido, realizado por PB Consult, 2006<sup>32</sup>, dado que a pesar que dicho estudio se enfocaba hacia el tema de ruido, el mismo consideró los receptores más próximos a los sitios donde se desarrollarán las obras de ampliación del Canal.

---

<sup>31</sup> Elements of Successful Odor /Odour Laws. St. Croix Sensory Inc., 2004.

<sup>32</sup> Parsons Brinckerhoff, 2006. Task Order #30 - Capítulo 5: Evaluación de Niveles de Ruido.

Finalmente, las comunidades consideradas para el monitoreo en la Zona del Lago Gatún han sido seleccionadas tomando como referencia los resultados del estudio en las comunidades ribereñas del lago Gatún realizado por el equipo social de la ACP<sup>33</sup>.

En total se seleccionaron 32 sitios de muestreo cuya ubicación se muestra en la Figura 4-22.

#### **4.9.2 Metodología de Medición de Fuentes de Olores Molestos**

Para la medición de los olores en campo se utilizó el olfatómetro de campo (Nasal Ranger), además del uso de GPS para marcar los puntos de monitoreo, cámara fotográfica y las hojas de campo con los formatos previamente elaborados. En cada punto se registraron dos mediciones como control y la presencia de dos técnicos diferentes. Cabe destacar que todas las mediciones han sido realizadas durante la estación seca.

A continuación se enumeran los pasos seguidos durante el muestreo de olores molestos en cada uno de los sitios seleccionados:

- Medición en campo con el Nasal Ranger (olfatómetro).
- Medición simultánea por dos técnicos de campo y en un lapso de tiempo aproximado de 5 minutos.
- Mediciones a favor y en contra del viento.
- Toma de datos de coordenadas geográficas con GPS y medidas del límite de dilución (D/T) detectado.
- Registro de la información de las condiciones climáticas imperantes: humedad relativa, velocidad y dirección del viento, opacidad del cielo, etc.
- Registro de Fotografías.

---

<sup>33</sup> Informe de Gira. Comunidades Ribereñas al Lago Gatun, del 14 al 18 de febrero del 2005. Equipo Social de Investigación y Relaciones con la Comunidad, ACP, 2005.

#### 4.9.2.1 Descripción de los Equipos de Medición

El Nasal Ranger basa su funcionamiento en una serie calibrada de diluciones mediante la mezcla de los olores ambientales con el aire filtrado por filtros de carbono libre de olor. En el campo de la olfatometría este proceso se define como Límite de Dilución (Dilution to Threshold, D/T). Esta es una medida del número de diluciones necesarias para llevar los olores ambientales a niveles no detectables. Este factor de dilución fue definido por la U.S. Public Health Service (actualmente EPA) de los Estados Unidos en la década de los años 50 y 60. El olfatómetro de campo calcula esta tasa de dilución de la siguiente manera:

$$D/T = \frac{\text{Volumen de Aire filtrado por el Carbón}}{\text{Volumen de Aire Ambiental con Olor}}$$

La literatura cita como valores de referencia de normas de olores, límites de dilución entre 2, 4, 7 y 15. El olfatómetro puede medir límites de dilución que van de 2 a 60, siendo 60 el más diluido y 2 el menos diluido. Al emplear este sistema de medición en campo, entre más intenso es el olor mayor número de diluciones serán necesarias para no ser detectado. Según las instrucciones de uso, para evitar interferencias de persistencia de olores en el olfato del técnico, se debe comenzar la medición con la mayor dilución en el instrumento (60) de manera que no es percibido el olor y consecuentemente ir disminuyendo las diluciones hasta que se percibe el olor. El valor de la dilución que se registra constituye el umbral o límite de dilución (D/T). No obstante lo anterior, si al llegar a la dilución de 2 todavía no se detecta ningún olor, se podrá reportar como valor de 0 (ausencia de olor).

El empleo del olfatómetro es común en los Estados Unidos y es considerado como el procedimiento a seguir en las normativas de olores a fin de evaluar quejas comunitarias y el cumplimiento de dichas normas.

### 4.9.3 Resultados de la Medición de Olores

A continuación se describen los resultados de la medición de intensidad de olores molestos en los 32 puntos de muestreo establecidos. Se describen asimismo las mayores intensidades reportadas. Los resultados en detalle se presentan en la Tabla 4-67.

El monitoreo de intensidad de olores fue realizado por personal de URS Holdings, Inc., durante los días 26 al 28 de marzo del 2007 en 32 sitios seleccionados dentro del área del Proyecto.

El trabajo de campo fue complementado con algunas entrevistas realizadas a funcionarios del Ministerio de Salud con la finalidad de obtener una visión general de las fuentes potenciales de olores dentro del área de estudio. Entre los funcionarios del Ministerio de Salud de la Regional de Colón que fueron entrevistados se incluyó al Coordinador de Salud Ambiental y Calidad de Aguas, el Ing. Ricardo Chong, al Sub jefe encargado de Saneamiento Ambiental, Sr. Alfredo Sevillano, al Inspector Técnico del Área de Sardinilla y Salamanca, Sr. Rubén Castro y a la Srta. Indira Lindo, Inspectora Técnica de Calidad Sanitaria del Ambiente (comunidades de Escobal y Cuipo). En el sector Pacífico, se realizó una entrevista al Dr. Max A. Pinzón, Director Médico del Centro de Salud de Paraíso en el Corregimiento de Ancón y Encargado de la Región Metropolitana de Salud.

**Tabla 4-67**

**Resultados de la Medición de Olores Molestos**

Zona de Estudio	Ubicación	Sitio	Lugar	Coordenadas		Intensidad (D/T)	Descripción del Olor	Fecha Muestreo	Hora	Condiciones	Dirección Viento	Humedad
				X	Y							
Esclusas de Gatún	Davis	1	Residencial/Institucional	619789	1025942	0		27/03/2007	9:45 a.m.	Soleado	A favor	61
	Davis	2	Residencial	618556	1025576	0		27/03/2007	9:50 a.m.	Soleado	A favor	61
Lago Gatún	Escobal	3	Escuela Adelaida Herrera	613945	1011381	0		27/03/2007	11:30 a.m.	Soleado	A favor	58
	Escobal	4	Parque	613942	1011379	0		27/03/2007	11:35 a.m.	Soleado	A favor	58
	Escobal	5	Residencial	613356	1010419	0		27/03/2007	11:45 a.m.	Soleado	A favor	58
	Escobal	6	Residencial	613713	1012438	0		27/03/2007	11:55 a.m.	Soleado	A favor	58
	Gamboa	7	Parque	642568	1007986	0		26/03/2007	11:00 a.m.	Muy nublado	A favor	76
Corte Culebra	Summith	8	Recreativo/Parque Municipal	648375	1002094	4	tierra húmeda	26/03/2007	11:35 a.m.	Muy nublado	A favor	79
	Summith	9	Recreativo/Parque Municipal	648449	1002020	0		26/03/2007	11:45 a.m.	Muy nublado	A favor	79
	Summith	10	Recreativo/Campo de Golf	649734	1000657	15	tierra húmeda	26/03/2007	11:55 a.m.	Parcialmente nublado	A favor	74
	Summith	11	Recreativo/Campo de Golf	649805	1000544	15	tierra húmeda	26/03/2007	12:05 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	74
Esclusas del Pacífico	Paraiso	12	Residencial	651288	997904	4	humo de vehículos	26/03/2007	12:45 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	59
	Paraiso	13	Residencial	651361	997878	0		26/03/2007	1:00 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	59
	Paraiso	14	orilla de carretera/cancha de juego	651548	998001	15	humo de vehículos	26/03/2007	1:05 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	59
	Paraiso	15	orilla de carretera/cancha de juego	651472	998073	30	humo de vehículos	26/03/2007	1:10 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	59
	Pedro Miguel	16	Residencial	652522	997147	60	basura	26/03/2007	1:15 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	58
	Pedro Miguel	17	Residencial	652500	997164	4	basura	26/03/2007	1:20 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	58
	Pedro Miguel	18	Residencial	652671	997086	2	tierra húmeda	26/03/2007	1:25 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	58
	Pedro Miguel	19	Residencial	652836	997004	0		26/03/2007	1:30 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	58
Costa Pacífica	Los Rios	20	Iglesia	656712	993336	0		26/03/2007	1:55 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	68
	Los Rios	21	Residencial	656779	993302	0		26/03/2007	2:10 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	68
	Los Rios	22	Residencial	656939	993157	0		26/03/2007	2:15 p.m.	Parcialmente nublado	A favor	68
	Diablo	23	Muelle	656854	991334	30	marisco	26/03/2007	3:12 p.m.	Soleado	A favor	60

Zona de Estudio	Ubicación	Sitio	Lugar	Coordenadas		Intensidad (D/T)	Descripción del Olor	Fecha Muestreo	Hora	Condiciones	Dirección Viento	Humedad
				X	Y							
	Diablo	24	Residencial/Institucional	657323	991174	0		26/03/2007	3:20 p.m.	Soleado	A favor	60
	Diablo	25	Residencial	657425	991240	0		26/03/2007	3:30 p.m.	Soleado	En contra	60
	Diablo	26	Residencial	657811	991428	60	marisco	26/03/2007	3:40 p.m.	Soleado	En contra	60
	La Boca	27	Residencial/Industrial	657852	989247	0		27/03/2007	2:40 p.m.	Soleado	A favor	54
	La Boca	28	Residencial	658173	989148	0		27/03/2007	2:50 p.m.	Soleado	A favor	54
	La Boca	29	Residencial/Educativo	658261	989108	0		27/03/2007	3:00 p.m.	Soleado	A favor	54
	Rodman	30	Residencial/El Tucan	654907	991225	0		27/03/2007	3:12 p.m.	Soleado	A favor	38
	Cocoli	31	Residencial	654791	992027	0		27/03/2007	3:16 p.m.	Soleado	A favor	38
	Rodman	32	Orilla de carretera/institucional/portuaria	655047	990086	0		27/03/2007	3:20 p.m.	Soleado	A favor	38

Fuente: URS Holdings, Inc.

#### 4.9.3.1 La Costa Atlántica

En la Costa Atlántica, los olores están relacionados específicamente a las actividades económicas que se desarrollan en las distintas comunidades y al manejo de las aguas residuales y los residuos sólidos (basuras), principalmente. De acuerdo a las entrevistas realizadas a las autoridades del Ministerio de Salud, los principales problemas con respecto a la emisión de olores están relacionados a las actividades de porquerizas y gallineras, la actividad de ganado tabular, las descargas de aguas negras, el manejo del botadero y el manejo de tanques séptico.

#### 4.9.3.2 Esclusas de Gatún

En el sector de las Esclusas de Gatún se evaluaron dos sitios, como fuentes receptoras de olores molestos, estas fueron ubicadas en áreas residenciales e institucionales del área de José Dominador Bazan (Antiguo Fuerte Davis). Ambos sitios se caracterizan por ser de uso residencial específicamente y en uno de ellos se combina el uso institucional.

Los resultados de los registros de la medición de olores mostraron intensidades de cero, para ambos sitios de medición. El muestreo fue realizado en horas de la mañana, en día soleado y con una humedad relativa de 61%.

Conforme a las entrevistas realizadas, en la comunidades de José Dominador Bazán (Davis), los principales problemas radican en el manejo de los tanques sépticos.

#### 4.9.3.3 Lago Gatún

En la Zona del Lago Gatún se evaluaron cinco sitios como fuentes receptoras de olores molestos. Estas fueron ubicadas, cuatro en el corregimiento de Escobal comunidad de Escobal y uno en el poblado de Gamboa. Las áreas bajo estudio se caracterizan por ser, en su mayoría, áreas residenciales y la Escuela Adelaida Herrera en la comunidad de Escobal.

En el área de Escobal, los resultados de los registros de la medición de olores mostraron intensidades de cero, para todos los sitios de medición. El monitoreo fue realizado en horas de la mañana, en día soleado y con una humedad relativa de 58%.

De acuerdo a las autoridades de salud del área de Escobal, las principales fuentes generadoras de olores, están relacionadas a las descargas de las aguas servidas, al manejo de la basura y en algunas comunidades cercanas a la presencia de potreros con el olor característico del ganado.

Por su parte, en el sector de Gamboa, los resultados mostraron también intensidades de cero. Estas mediciones fueron realizadas en horas cercanas al mediodía, en día muy nublado y con una humedad de 76%.

#### 4.9.3.4 Corte Culebra

En el sector del Corte Culebra se evaluaron cuatro sitios como fuentes receptoras de olores molestos, estos fueron ubicados en el área de Summit, cercanos al Parque Municipal y al Club de Golf de Summit. Las áreas bajo estudio se caracterizan por ser áreas específicamente de uso recreativo.

Los resultados del muestreo reportaron valores de intensidad entre 4 a 15. La descripción del olor percibido en estos sitios corresponde a olor a tierra húmeda. Las condiciones climatológicas del monitoreo reflejan un día parcialmente nublado, con humedad de 74%.

#### 4.9.3.5 Esclusas del Pacífico

En el sector de las Esclusas del Pacífico se evaluaron nueve sitios como fuentes receptoras de olores molestos. Estos fueron ubicados, ocho en el corregimiento de Ancón, principalmente en las comunidades de Paraíso y Pedro Miguel y un punto en el área de Cocolí. Los sitios monitoreados se ubicaron en zonas residenciales en su mayoría, cercanas a parques y canchas de juego, así como alrededor de algunas residencias cercanas al área de las esclusas de Pedro

Miguel. En el área de Cocolí, el punto de monitoreo se caracterizaba por ser un área cercana al área de operación del canal.

Los valores de intensidad de olores reportados para los sitios ubicados en el corregimiento de Ancón varían entre 4 a 30. La descripción del olor percibido en estos sitios corresponde a tierra húmeda y olor a humo de vehículos, lo cual coincide con lo observado en campo, ya que al momento de realizar los monitoreos se presentó un flujo constante de vehículos en la avenida Omar Torrijos, lo cual pudo inferir en los resultados del monitoreo.

En cuanto a los resultados del monitoreo de olores realizado en el área de Pedro Miguel, se obtuvieron valores de 0 a 60. Los olores se describieron como olor a humo de vehículos, tierra húmeda y olor a basura.

Por su parte, los resultados del monitoreo en el área de Cocolí reportaron valores de cero.

En la comunidad de Pedro Miguel, los principales problemas por la emisión de olores han sido por las aguas estancadas y por la basura acumulada. En la comunidad de Paraíso, olores por las aguas negras, producto del colapso de los drenajes que se reportan de tres a cuatro veces al año.

#### 4.9.3.6 La Costa Pacífica

En la Costa Pacífica se evaluaron doce sitios como fuentes receptoras de olores molestos, los cuales fueron ubicados; tres en la comunidad de Los Ríos, cuatro en la comunidad de Diablo, tres en la comunidad de La Boca y dos en el área de Rodman (Figura 4-23). Las áreas bajo estudio poseen un uso de suelo residencial en la mayoría de los casos y en algunas combinados con uso industrial como lo es en el sector de La Boca, y portuario en las áreas de Diablo y Rodman.

El monitoreo fue realizado en horas de la tarde, las características del día eran parcialmente nublado a soleado en la mayoría de las áreas y con humedad relativa que varió de 68 a 38% dependiendo del área de monitoreo. Los resultados del muestreo reportaron valores de cero para

la mayoría de los sitios, sólo dos puntos mostraron intensidades de 30 y 60, correspondiendo al área de muelles y a áreas residenciales de la comunidad de Diablo.

Las características de los olores percibidos eran propias de olor a marisco. Cabe resaltar que, el monitoreo realizado en el área residencial de Diablo, cuyos valores de intensidades de olores estaban en 60, la dirección del viento se encontraba en contra de la fuente emisora. Por lo cual, es de suponer que teniendo la dirección del viento a favor, las intensidades de olores deben mantenerse.

El Director Médico del Centro de Salud de Paraíso señaló como fuentes potenciales de generación de olores el río Curundu que atraviesa comunidades como Alto de Curundu, Albrook y Diablo y cuyas aguas están altamente contaminadas y emiten un olor fétido.

En la comunidad de Diablo, además de los olores que emiten las aguas del mencionado río, también existen quejas de la ciudadanía por olores a basura y específicamente olores a mariscos que reportan como fuente a una empresa camaronera instalada en el sitio y cuyos olores se esparcen por toda la comunidad dependiendo de la dirección del viento.

En la comunidad de Los Ríos, se han presentado quejas de olores por las basuras acumuladas y las aguas negras en algunas áreas. En el área de Balboa y La Boca, se reportan olores a gasolina producto de la actividad de manejo de combustible que se desarrolla en el área.

#### **4.10 Amenazas Naturales**

En esta sección se presenta una reseña de la situación relacionada con las amenazas naturales en el AEG y el AEE del Proyecto; entre las amenazas naturales analizadas se incluye la sismicidad, los incendios forestales, las inundaciones, y la erosión y deslizamientos de gran magnitud.

#### 4.10.1 Sismicidad

El AEG del Proyecto está ubicada en una zona de convergencia de placas terrestres estructuralmente compleja. Esto la convierte, según los especialistas del Instituto de Geociencias de la Universidad de Panamá, en un área con riesgo sísmico, a pesar de poseer una sismicidad baja; históricamente han existido eventos sentidos por las poblaciones próximas a la ciudad de Panamá. La sismicidad en el AEG es muy difusa y se han determinado ciertas asociaciones con fallas existentes (Cowan, 2001). La sismicidad detectada en esta región parece estar asociada a la convergencia Norte-Sur entre el bloque Panamá y la Placa del Caribe, y la convergencia Este-Oeste entre el bloque Panamá y el bloque del Norte de los Andes.

En la región Central de Panamá, la sismicidad se relaciona con las fallas de corteza terrestre alrededor del Canal y la Placa Caribeña que está entrando por debajo de la subducción de la Microplaca de Panamá en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá. Algunos autores han propuesto la existencia de una frontera tectónica que corta a la mitad el istmo de Panamá, corre con dirección NNO-SSE y que ha llevado el nombre de Discontinuidad del Canal o Zona de Fractura Gatún. Se cree que los rastros de la deformación vinculada con esta discontinuidad siguen hasta el mar en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá. Sin embargo, no se tienen evidencias geológicas ni geofísicas que demuestren esta situación (Schweig *et al.* 1999, Cowan 2001).

Se considera que las fallas en esta región son fallas discontinuas normales, con algunas de ellas, como la Falla Gatún, que manifiesta un componente de rumbo y es considerada la más importante de la zona. Dicha falla es activa, pero produce un nivel de microsismicidad muy bajo, considerándose que el evento máximo que pudiera originar esta falla es de un M6.8, con un plazo repetitivo de entre 10,000 y 20,000 años.

En el Golfo de Panamá, existen nueve (9) fallas con dirección hacia el Oeste, que se extienden paralelas al Archipiélago de Las Perlas, las cuales parecen ser activas debido a que el suelo del mar se curva hacia el Sureste del archipiélago (Cowan 2001). Los únicos eventos fuertes que han tenido origen en esta región, los cuales se sintieron en la ciudad de Panamá con

intensidades VI en la escala Mercalis Modificada o más, ocurrieron en 1621 y 1971. Dichos eventos, aparentan haberse originado en la zona de la falla Las Perlas (Viquez y Camacho 1993), no obstante, otros autores ubican el evento en el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (Mendoza y Nishenko 1989) o en la Península de Azuero (Nischenko 1991).

La región del AEG presenta muchas fallas, pero no todas tienen el potencial para causar terremotos, en otras palabras no todas las fallas en esta región son fallas activas. Según el estudio “Los Terremotos en el Istmo de Panamá” (Camacho, 2006), en la región determinada como Panamá Central, que involucra el área donde se emplaza el Canal de Panamá, la sismicidad es muy baja y ésta, históricamente, sólo ha dado origen a un evento destructor, el cual ocurrió el 2 de mayo de 1621. Dicho evento, causó daños en la ciudad de Panamá, en donde la intensidad alcanzó los VII en la escala Mercalis Modificada (Viquez y Camacho, 1993) y sus réplicas se sintieron de forma casi diaria, de mayo hasta agosto. En la Tabla 4-68, se muestra un resumen de los principales eventos sísmicos históricos ocurridos en el AEG.

**Tabla 4-68**

**Principales Eventos Sísmicos Ocurridos en el Área de Estudio General**

<b>Fecha</b>	<b>Detalles</b>
21 Noviembre 1541	Sentido en la ciudad de Panamá
2 Mayo 1621	Epicentro en la Costa Pacífica. Intensidad > 7.0
7 Mayo 1822	Originado por convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, Bocas. Magnitud de 7.5. Licuefacción y tsunami a lo largo de la costa del Caribe.
13 Octubre 1873	Sentido más severamente en Aspinwall-Colón
7 Septiembre 1882	Originado por convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, San Blas. Magnitud 7.7 – 8. Licuefacción y tsunami a lo largo de la costa del Caribe y daños en la ciudad de Panamá.
5 Febrero 1883	Originado en Falla Azuero – Zona o bajo superficie marina. Magnitud 7.0. Daños pequeños en la ciudad de Panamá.
30 Septiembre 1909	Originado en Altos de Balboa-Panamá y Nombre de Dios-Colón
27 Mayo 1914	Originado por convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, San Blas. Magnitud 6.5 – 7.2. Ciudades terminales de Panamá y Colón
7 Marzo 1930	Originado por convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, San Blas. Ciudad de Panamá y Colón. Magnitud 6.0 – 6.5.

<b>Fecha</b>	<b>Detalles</b>
21 Noviembre 1935	Originado por convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, San Blas. Magnitud 6.5. Sentido fuertemente en la Zona del Canal.
2 Mayo 1943	Originado en Falla Sur de Panamá. Magnitud > 7.0. Sentido fuertemente en la ciudad de Panamá.
4 /6 Enero 1951	Originado en Falla Sur de Panamá. Magnitud 6.7, > 7.0. Temblor preliminar y principal. Daño moderado en la ciudad de Panamá .
26 Julio 1962	Originado en Falla Sur de Panamá. Magnitud 6.7 - 7.0. Sentido fuertemente en la Zona del Canal, sin reporte de daños.
19 Enero 1971	Originado por convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, Panamá. Magnitud 5.5 – 6.5. Estremecimiento fuerte en la ciudad de Panamá, daño moderado.
12 Julio 1974	Zona de Colisión Colombia – Panamá Este. Magnitud 7.3. Temblor fuerte y daños notables.
11 Julio 1976	Zona de Colisión Colombia – Panamá Este. Magnitud 6.8, 7.0. Dos eventos en 4 horas. Sentido fuertemente en la ciudad de Panamá, sin daños reportados.
26 Febrero 2000	Originado por Convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá, San Blas. Magnitud 6.1. Sentido fuertemente en la ciudad de Panamá, daños menores.
16 Marzo 2002	Epicentro cuenca de Bayano. Intensidad Mw = 5.0
13 Agosto 2003	Originado por la convergencia del Cinturón Deformado del Norte de Panamá

Fuente: URS Holdings, Inc. a partir de The Louis Berger Group Inc., 2004

#### **4.10.2 Incendios Forestales**

Otra de las amenazas, no siempre naturales, que enfrenta el AEG es la ocurrencia de incendios forestales. Cabe mencionar que, en la mayoría de los casos, dichos incendios se generan principalmente en áreas intervenidas con rastrojos y herbazales, vegetación ésta que domina en el AEE.

De acuerdo a lo reportado por ANAM (2002), en el programa de Prevención y Control de Incendios Forestales, en la AEE se han detectado, para el período 1996 – 1999, una gran cantidad de sucesos relacionados con incendios. Dichos incendios han ocurrido, principalmente, durante el año 1998 y hacia el sector Atlántico. Sin embargo, la recurrencia o frecuencia que en el área se hayan repetido los incendios durante varios años seguidos, es escasa. De esta manera se tiene que, durante el período comprendido de 1996 -1999, la recurrencia de incendios resultó

alta hacia la margen Oeste del sector de La Costa Pacífica y muy baja en el Este de las Zonas Esclusas del Pacífico y Corte Culebra, e igualmente muy baja hacia el Oeste de la Zona del Lago Gatún.

En los últimos años, se ha registrado una considerable ocurrencia de incendios cerca de los ríos Ciri Grande y Trinidad, ambos dentro del AEG y cabe hacer notar también la incidencia de incendios en la cuenca del río Chagres. Dentro del AEE, se han considerado como áreas de riesgo potencial o más propensas a incendios al Parque Nacional Chagres, Parque Nacional Soberanía, Parque Nacional Camino de Cruces y Pedro Miguel.

Respecto al AID, la ACP no ha reportado la ocurrencia de incendios en superficies vegetadas en ésta área. Es claro que al estar esta área bajo vigilancia permanente de la ACP debido a las actividades de operación del Canal, el riesgo de incendios es muy bajo y controlable.

#### **4.10.3 Inundaciones**

El concepto de inundaciones aquí planteado, se entiende como aquellos eventos que se presentan en zonas aledañas a los cauces de las corrientes naturales y que ocurren por causa de desbordamiento de las mismas.

Las magnitudes y los efectos de las inundaciones dependen de las características de las crecientes que son generadas por lluvias intensas, y de otros eventos relacionados con ellas, como son los deslizamientos de taludes, la formación y el rompimiento de presas naturales, y las obstrucciones al flujo por destrucción de obras civiles.

Por otro lado, en los lechos aluviales el transporte de sedimentos juega un papel importante en las variaciones que sufre el canal principal a lo largo del tiempo y en su capacidad para transportar las crecientes.

Los procesos de depósito y de socavación se activan de acuerdo con las magnitudes de las velocidades del agua; así, durante los estiajes y los períodos de aguas medias predominan los

fenómenos de depósito porque las velocidades son relativamente bajas y la capacidad de transporte de sedimentos es reducida. Cuando llegan las crecientes, se aumentan las velocidades de flujo y por tanto, se incrementan los procesos erosivos y los ataques contra las márgenes.

En base a esta definición, y en función de la información disponible para el desarrollo de esta investigación, no se encontró para el AEE, en cada una de sus seis (6) zonas analizadas, áreas propensas a inundaciones y sus posteriores efectos sobre el medio natural y humano, salvo los eventos controlados de derrames que realiza la ACP para manejo de las aguas en el funcionamiento del Canal de Panamá.

La investigación no documenta eventos de inundaciones en el área de estudio con efectos adversos o de desastres, sobretodo por que el AID concentra principalmente lugares propios de la operación del Canal de Panamá.

Las zonas inundables se clasifican de acuerdo con las causas que generan las inundaciones. Estas causas son las siguientes:

- Encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas;
- Encharcamiento por deficiencias de drenaje superficial;
- Desbordamiento de corrientes naturales;
- Desbordamiento de ciénagas;
- Avalanchas producidas por erupción volcánica, sismos, deslizamientos y formación de presas naturales;
- Obstáculos al flujo por la construcción de obras civiles: puentes, espolones y obras de encauzamiento, viviendas en los cauces y represamientos para explotación de material aluvial; y
- Sedimentación.

En base a esta clasificación, en el área de estudio no se han identificado zonas inundables, ya que la mayor parte del área corresponde a zonas operativas del Canal de Panamá, donde existe un manejo y control de inundaciones.

#### **4.10.4 Erosión y Deslizamientos**

La pérdida de suelos por erosión hídrica es una función de la erosividad de las lluvias, la erodabilidad del suelo, el largo y grado de la pendiente, la cobertura vegetal del suelo y el manejo que se aplique al mismo. Históricamente, la entidad regente de la operación del Canal de Panamá (PCC, ACP) ha mantenido registros de carga de sedimentos en los principales ríos de la Cuenca, lo que permite una estimación del impacto de la erosión en la vida útil del reservorio. Sin embargo, no se han realizado evaluaciones de la pérdida de suelos por erosión propiamente dicha. El estudio de suelos del Plan Regional para el Desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá (1996), estimó la erosión potencial promedio por subcuencas utilizando un método indirecto que permite una aproximación quasi-quantitativa a falta de datos de erosividad de las lluvias cuando se realizó el estudio.

La Tabla 4-69 presenta un resumen de los datos de erosión potencial reportados en dicho estudio. En general, las subcuencas con mayores valores de erosión hídrica están asociadas a las regiones con mayores pendientes y existencia de suelos de alta erodabilidad como son los de origen de roca caliza en la subcuenca de los ríos Gatuncillo y Agua Salud, con más de 200 toneladas por hectárea por año (ARI, 1996). Si se considera la situación específica imperante en los cortes expuestos en la región del Corte Culebra y el de las Esclusas del Pacífico con pendientes de más de 45%, sitios con un inestable estrato rocoso como la Formación Cucaracha y poca cobertura vegetal, los niveles de erosión se estiman en más de 280 toneladas por hectárea por año<sup>34</sup>.

---

<sup>34</sup> Estimado a partir de ARI, 1996.

**Tabla 4-69****Erosión Potencial en la Cuenca del Canal de Panamá**

<b><u>Subcuencas</u></b>	<b><u>Erosión Potencial</u></b>
	<b>(Ton/ha/año)</b>
<b>Subcuenca del Lago Gatún</b>	197.46
Río Gatún	164.63
Río Mandinga	190.7
Río Agua Salud	220.07
Queb. Aguas Claras	160.36
Río Gatuncillo	160.36
Area Lago Gatun	66.47
Río Chilibre	123.23
Río Chilibrillo	99.08
Río Obispo	160.25
Quebrada Honda	99.08
Río Palenque I	108.66
<b>Subcuenca Lago Miraflores</b>	
Río Pedro Miguel	115.87
Área Lago Miraflores	106.6
<b>Promedio</b>	<b>140.92</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>44.58</b>

Fuente: Plan Regional Para el Desarrollo de la Región Interoceánica de Panamá. (ARI, 1996).

De acuerdo con la información recopilada, se estima que el nivel de erosión actual en el Área de Impacto Directo del Proyecto es de alrededor de 7.5 Ton./ha por año, lo que constituye un nivel bajo según la clasificación de la FAO. No obstante, debido a la existencia de pendientes moderadas, sobre todo en el sector del Corte Culebra, es de esperarse que al iniciarse las acciones de desmonte y movimiento de tierra se incrementen considerablemente los niveles de erosión hídrica.

En cuanto a los deslizamientos de suelos, estos se producen en suelos inestables a consecuencia de la saturación del suelo, llegando al límite líquido que es el contenido de humedad al cual el suelo fluye pendiente abajo. Los deslizamientos son más frecuentes sobre suelos de material no consolidado o estratificados en capas de diferentes resistencias y en taludes inestables bajo condiciones de sobresaturación de agua. La existencia de lechos rocosos inestables por fracturas u orientación paralela a la pendiente, como existen en la Formación Cucaracha, son factores que desenlazan eventos frecuentes de deslizamientos (ACP, 1993-2003). La ocurrencia de fallas geológicas es también un factor desencadenante importante. Adicionalmente, la infiltración de aguas subterráneas sobre taludes de corte, también contribuye al desenlace de eventos de deslizamientos.

La ocurrencia de fallas geológicas es un factor desencadenante importante de deslizamientos. En la región del Corte Culebra, del Proyecto de Ampliación del Canal de Panamá, las fallas son tan frecuentes que han sido consideradas como la estructura geológica más importante, con un promedio de una falla cada 75 metros (ACP, 2002). En esta área, se reportan al menos dos sistemas de fallas principales, una orientada hacia el Noreste y la otra en dirección Noroeste. El sistema orientado hacia el Noreste se observa en el Corte Culebra y el otro es más difícil de identificar, ya que se orienta casi paralelo al Canal. Estos sistemas de fallas han intervenido en la ocurrencia de deslizamientos. La evidencia indica que la estratificación y anisotropía en cada formación geológica, son más importantes que las diferentes formaciones en si.

Los deslizamientos son reconocidos como una probable amenaza natural que puede producir daños en el ambiente. Según la Junta de Asesores Geotécnicos “Geotechnical Advisory Board” en inglés, de la ACP, la cual desde 1993 ha estado documentando y revisando las condiciones de riesgo asociadas a la operación y ampliación del Canal de Panamá, se estableció que las áreas de mayor vulnerabilidad son:

- Cercanías del cerro Oro “Gold Hill”;
- Corte Culebra en las áreas de Formaciones Cucaracha y Pedro Miguel; y
- Formaciones Cucaracha y Pedro Miguel.

Entre los deslizamientos históricos en el Canal de Panamá se consideran los eventos de 1986 y 1996 en el Corte Culebra en Cucaracha. Otro deslizamiento significativo, de 340 metros de largo, ocurrió en julio de 1997 en Hodges Hill, seguido de otro de menor magnitud en septiembre del mismo año, volviéndose a repetir en enero de 1998. La frecuencia de los deslizamientos de sólo dos meses y luego 4 meses, es indicativo de la probabilidad recurrente de estos eventos.

Problemas de inestabilidad comprobados se han reportado en Empire Oeste y Hodges Hill. Una gran cantidad de pequeños deslizamientos han ocurrido también en la Formación Las Cascadas al Norte de Borinquen. En estos casos, el pie del talud estaba bajo agua. En el cerro Cartagena (ACP 2007), se identificaron cinco líneas de deslizamientos separados.

Para el año 2001 los consultores geotécnicos de la ACP designaban como los deslizamientos activos en el Corte Culebra los siguientes:

- Extensión Sur de Cucaracha: Mostraba el mayor movimiento de todas las áreas, con 934 milímetros de desplazamiento en seis años (1993 a 1999) y un desplazamiento de 300 milímetros entre 1995 y 2001;
- Noreste de Culebra: Deslizamiento en 1998 debido a aguacero torrencial;
- Sur de La Pita: Deslizamiento reactivado en agosto 10 de 1999;
- Pendiente Modelo (“Model Slope”): Se reportó un desplazamiento de 4 centímetros en un año; y
- Borinquen: Deslizamiento en 1997.

Todos estos eventos fueron debidamente manejados por la ACP siguiendo el Plan de Control y Remediación de Deslizamientos, aprobado por la Junta de Asesores Geotécnicos.

En las investigaciones geotécnicas del año 2001 la mayor inestabilidad de taludes se produjo en Hodges, Model, Oeste de Culebra, Sardinilla, Lirio, Sardinilla y Cucaracha. Excavaciones bajo agua en el 2001 desencadenaron un deslizamiento en el Oeste de Culebra

Los tres sitios más vulnerables identificados durante el estudio de 2000, asociados a las Formaciones Cucaracha y Pedro Miguel son los siguientes:

- Deslizamiento del Este de Culebra;
- Deslizamiento del Oeste de Culebra; y
- Deslizamiento de la roca Púrpura “Purple Rock”.

Posteriormente, el 27 de noviembre de 2001 ocurrió un deslizamiento en el Corte Culebra, desplazando un volumen de 25,000 m<sup>3</sup> de los cuales 7,000 m<sup>3</sup> entraron en el cauce de navegación.