



**Universidad
de Cartagena**
Fundada en 1827

DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA

Convenio Interadministrativo 0133-2015

TOMO

2

**ESTUDIO INTEGRAL DE LA CALIDAD
AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS**

Cartagena de Indias – Diciembre de 2015

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

**RECTOR
EDGAR PARRA CHACÓN**

**DIRECTOR DEL INSTITUTO DE HIDRÁULICA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL
ALFONSO ARRIETA PASTRANA**

**EQUIPO TÉCNICO DEL INSTITUTO DE HIDRÁULICA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DE LA
UNIVERSIDAD DE CARTAGENA.**

DIRECTOR

Alfonso Arrieta Pastrana

Doctor en Ciencias del Mar

EQUIPO COORDINADOR

**Javier Mouthon Bello
Hermes Martínez Batista**

Doctor en Ingeniería Ambiental
Magister en Urbanismo y
Desarrollo Territorial

Mónica Eljaiek Urzola

Magister en Ingeniería Ambiental

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Mónica Agámez Anillo

Especialista en Ingeniería Sanitaria
y Ambiental

Milton Guerrero Pájaro

Magister en Urbanismo y
Desarrollo Territorial

Carlos Sabogal Lorduy

Ingeniero auxiliar

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TOPOBATIMETRÍA)

**Mónica Agámez Anillo
Camilo Tapia V.
Alfredo Gutiérrez**

Magister en Oceanografía
Topógrafo
Hidrógrafo

COMITÉ DE HIDRÁULICA E INFRAESTRUCTURA (HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA)

Álvaro González

Doctor en ingeniería civil en el área
de recursos hídricos e ingeniería
ambiental

**Hermes Pinto Nieves
Andrés Aguirre**

Ingeniero Civil
Ingeniero Auxiliar

COMITÉ DE HIDRÁULICA E INFRAESTRUCTURA (ESTUDIOS DE CAMPO Y DISEÑO)

Álvaro González

Doctor en ingeniería civil en el área
de recursos hídricos e ingeniería
ambiental

**Guilliam Barboza
Javier López Grau**

Magister en Geotecnia
Ingeniero auxiliar

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

COMITÉ DE CALIDAD AMBIENTAL (CALIDAD DEL AGUA)

Edgar Quiñones Bolaños	Doctor en Ingeniería Ambiental
Jaime Fortich Fortich	Magister en Ingeniería Ambiental
Gamaliel Mejía Monterroza	Magister en Química
Margareth Peña Castro	Ingeniera Química

COMITÉ DE CALIDAD AMBIENTAL (COMITÉ DE CALIDAD DEL AIRE Y RUIDO)

Edgar Quiñones Bolaños	Doctor en Ingeniería Ambiental
María Elena Huertas Bolaños	Doctora en Ciencias de la Ingeniería
José A. Álvarez	Magister en Ingeniería Ambiental
Vanessa Álvarez Narváez	Ingeniera Civil
César Arciniégas Suárez	Magister en ciencias ambientales (Asesor)
Jesús de Pombo Angulo	Ingeniero auxiliar

COMITÉ DE GESTIÓN AMBIENTAL (ASPECTOS FÍSICOS)

Mónica Eljaiek Urzola	Magister en Ingeniería Ambiental
Hermes Martínez Batista	Magister en Urbanismo y Desarrollo Territorial
Melissa Girado Guzmán	Ingeniera Ambiental

COMITÉ DE GESTIÓN AMBIENTAL (ASPECTOS BIÓTICOS)

Mónica Eljaiek Urzola	Magister en Ingeniería Ambiental
Yina Amell Cáez	Bióloga
Angélica Cabarcas Mier	Magister en oceanografía física
Carlos Villa de León	Especialista en avifauna

COMITÉ DE GESTIÓN AMBIENTAL (ASPECTOS SOCIALES)

Diana Barraza	Trabajadora Social (Asesor)
----------------------	-----------------------------

COMITÉ DE SISTEMAS

Martín Monroy	Doctor en Ingeniería Telemática
----------------------	---------------------------------

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 0</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

TABLA DE CONTROL

NÚMERO VERSIÓN		0	1
REVISIÓN COORDINADORES MÓNICA ELJAIK HERMES MARTÍNEZ ÁLVARO GONZÁLEZ	FIRMA		
	FECHA		
	FIRMA		
	FECHA		
	FIRMA		
	FECHA		
COORDINADOR DEL PROYECTO JAVIER MOUTHON	FIRMA		
	FECHA		
DIRECTOR DEL CONVENIO ALFONSO ARRIETA	FIRMA		
	FECHA		

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	31
1. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS	33
1.2. CALIDAD FISICOQUÍMICA DE LOS CUERPOS DE AGUA Y DE LOS SEDIMENTOS DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS.....	33
1.2.1. Estado actual de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua y de los sedimentos del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.	38
1.2.1.1. Análisis de los parámetros medidos discontinuamente (Mañana y Tarde).	39
1.2.1.2. Análisis de los resultados de los parámetros medidos en el sitio durante 24 horas continuamente.	45
1.2.1.3. Resultados de los Sedimentos del sistema de caños y Lagos.	58
1.2.2. Análisis multitemporal de la evolución de la calidad del agua en el sistema de caños y lagos.	59
1.2.2.1. Época seca y Época de lluvia.	60
1.2.3. Análisis del cálculo de indicadores de calidad de agua	76
1.2.3.1 Índice de Calidad de Agua Marina Costera para Preservación de Flora y Fauna (ICAM _{PFF} – Invemar ,2014).....	76
1.2.3.1. Índice de Calidad de agua (ICA – IDEAM, 2012).....	80
1.3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS.....	82
1.3.1. Mediciones 29 de septiembre.....	84
1.3.2. Mediciones 14 de octubre:	87
1.3.3. Mediciones 3 y 4 de noviembre.....	91
1.4. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA QUE HABITA EN EL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS Y EN SUS RONDAS HÍDRICAS.....	94

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

1.4.1.	Flora de la Ronda Hídrica	94
1.4.1.1.	Territorios Artificializados.....	96
1.4.1.2.	Zonas industriales y comerciales o redes de comunicación.....	98
1.4.1.3.	Bosques y Áreas Seminaturales.....	101
1.4.1.4.	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.	103
1.4.1.5.	Superficies de Agua	104
1.4.2.	Caracterización del Bosque de Manglar del sistema de caños y lagos internos del distrito de Cartagena.....	106
1.4.3.	Anfibios y Reptiles.....	112
1.4.3.1.	Composición de la herpetofauna	112
1.4.4.	Aves.....	116
1.4.4.1.	Composición y abundancia de la comunidad de aves	116
1.4.5.	Fitoplancton	128
1.4.6.	Zooplancton	133
1.4.7.	Bentos.....	137
1.4.8.	Escarabajos	138
1.4.9.	Diagnóstico del estado de conservación del Componente Biótico en el sistema de caños internos de la ciudad.....	139
2.	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS QUE SE ENCUENTRAN EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS.	143
2.2.	COMPONENTES BIOFÍSICOS.....	144
2.2.1.	Cuencas hidrográficas que drenan al sistema de caños y lagos.	144
2.2.1.1.	Parámetros morfométricos.	146
2.2.1.2.	Tiempos de concentración.....	149

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---	---

2.2.1.3.	Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (<i>IDF</i>).....	150
2.2.1.4.	Caudales de escorrentía.....	154
2.2.2.	Vegetación que se encuentran en las rondas hídricas de los arroyos de las cuencas que drenan al sistema de caños y lagos.	171
2.2.3.	Ciénaga de la Virgen.....	172
2.2.3.1.	Descripción general.....	172
2.2.3.2.	Comportamiento de sus Corrientes	172
2.2.3.3.	Comportamiento de sus Mareas.....	172
2.2.3.4.	Calidad de agua de la Ciénaga de la Virgen.....	173
2.2.4.	Bahía interna de Cartagena	175
2.2.5.	Suelo que soporta al área de influencia con sus características geológicas y geomorfológicas y coberturas de la tierra y tipos de suelo.....	181
2.2.5.1.	Geología.....	181
2.2.5.2.	Geomorfología actual	186
2.2.6.	Cobertura de la Tierra de las cuencas que drenan hacia el sistema de caños y lagos internos.....	192
2.2.7.	Atmosfera.....	194
2.2.7.1.	Clima	194
2.2.7.2.	Calidad del aire.	223
2.3.	COMPONENTES SOCIOECONÓMICOS	245
2.3.1.	Ciénaga de las Quintas.....	245
2.3.1.1.	Demografía y aspectos de población.....	245
2.3.1.2.	Practicassocioculturales que se presentan en el área de influencia del sistema de caños y lagos.....	247

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---	---

2.3.1.3. Practicas económicas que se presentan en el área de influencia del sistema de caños y lagos.....	250
2.3.2. Caño Bazurto	254
2.3.2.1. Demografía y aspectos de población.....	254
2.3.2.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental	254
2.3.2.3. Actividades productivas	257
2.3.3. Laguna de San Lázaro	258
2.3.3.1. Percepción comunitaria de la problemática ambiental	258
2.3.3.2. Actividades productivas	259
2.3.3.3. Invasión a propiedad pública	259
2.3.4. Laguna de Chambacú	260
2.3.4.1. Demografía y aspectos de población.....	260
2.3.4.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental	261
2.3.4.3. Actividades productivas	264
2.3.5. Laguna del Cabrero	264
2.3.5.1. Demografía y aspectos de poblacion.....	264
2.3.5.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental.	265
2.3.5.3. Actividades productivas	267
2.3.6. Caño Juan Angola.....	268
2.3.6.1. Demografía y aspectos de población.....	268
2.3.6.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental	268
2.3.6.3. Actividades productivas	271

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

3. RELACIONES ENTRE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS Y LOS COMPONENTES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS QUE SE ENCUENTRAN EN SU ÁREA DE INFLUENCIA	272
3.2. RELACIONES ENTRE EL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS Y LOS COMPONENTES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS.	272
3.2.1. Relación Bahía Interna con Laguna de San Lazaron y Ciénaga de las Quintas (R-01).....	273
3.2.1.1. Influencia de la Bahía Interna sobre las características hidrodinámicas del sistema de caños y lagos internos.	274
3.2.1.2. Influencia de la Bahía Interna sobre las características fisicoquímicas del agua del sistema de caños y lagos.	277
3.2.2. Relación escorrentía de las cuencas hidrográficas que drenan al sistema de caños y lagos y el sistema de caños y lagos (R-02)	279
3.2.2.1. Condicionamiento hidrodinámico.....	279
3.2.2.2. Alteración de la Calidad del Recurso hídrico.	281
3.2.2.3. Aporte de Sedimentos.	281
3.2.3. Relación Manglar con el sistema de caños y lagos (R-03)	284
3.2.4. Relación ciénaga de la Virgen con Sistema de caños y lagos (R-04)....	286
3.2.5. Relación Vegetación de las cuencas que drenan a los caños y lagos y el sistema de caños y lagos (R-05)	288
3.2.6. Relación Condiciones Climáticas con el suelo y el ecosistema (R-06) ..	288
3.2.7. Prácticas socioeconómicas – Sistema de Caños y Lagos (R-01).....	291
3.2.7.1. Disposición de Residuos sólidos	291
3.2.7.2. Invasión de zona de rondas hídricas	293
3.2.7.3. Vertimiento de aguas residuales.....	303
3.2.7.4. Servicios Ambientales (paisajismo).	317

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

4. PLANTEAMIENTO DE RECOMENDACIONES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS Y SU ÁREA DE INFLUENCIA. 322

4.2. Potenciar el impacto positivo que genera la Bahía Interna de Cartagena en el sistema de caños y lagos..... 322

4.3. Mejorar las condiciones hidráulicas en el punto de conexión de la ciénaga de la Virgen con el sistema de Caños y Lagos 322

4.4. Reducción de los caudales de escorrentía de los suelos de las cuencas que drenan hacia el sistema de caños y lagos internos. 322

4.5. Delimitación de la ronda hídrica de protección del sistema de caños y lagos y zonificación ambiental de la misma..... 322

 4.5.1. Recuperar y proteger las características ecosistemincas de la ronda. .. 323

 4.5.2. Recuperación y protección de las zonas de amortiguación hidráulica del sistema de caños y lagos. 323

4.6. Recuperación y protección las coberturas vegetales en la totalidad de las fajas de protección (Bosques Riparios) de los arroyos y canales que drenan aguas hacia el sistema de caños y lagos internos. 325

4.7. Control de inundaciones en las zonas aledañas al sistema de caños y lagos. 325

4.8. Manejo de Aguas Residuales y Residuos sólidos. 328

4.9. Detener el fenómeno de invasión de rondas hídricas al que está sometido el sistema de caños y lagos..... 328

4.10. Fortalecimiento y articulación institucional en torno al manejo del sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena. 329

 4.10.1. Control de inundaciones. 329

 4.10.2. Restricciones sobre nuevos proyectos de desarrollo urbano en las rondas hídricas del sistema de caños y lagos. 330

 4.10.3. Implementación de Guías técnicas 332

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 333

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	--	---

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conformación del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.	31
Figura 2. Esquema metodológico del estudio integral.	32
Figura 3. Coordenadas de estaciones analizadas para el componente de calidad de agua en el sistema de caños y lagos.	38
Figura 4. Resultados oxígeno disuelto en el sistema de caños y lagos, campañas de monitoreo del 29 de septiembre y 03 de Noviembre de 2015.	40
Figura 5. Mancha de hidrocarburos o aceites en horas de la mañana, en la Estación 14 - Centro Ciénaga de Las Quintas del 29 de septiembre de 2015.	41
Figura 6. Resultados DBO5 en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre y 03 de Noviembre de 2015.	42
Figura 7. Resultados Coliformes Totales en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre de 2015.	43
Figura 8. Resultados Coliformes Fecales en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre de 2015.	44
Figura 9. Resultados Plomo en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre de 2015.	45
Figura 10. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E1 – Canal Paralelo.	46
Figura 11. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E2 – Caño Juan Angola.....	47
Figura 12. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E3 – Caño Juan Angola.....	48
Figura 13. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E4 – Laguna el Cabrero.	49
Figura 14. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E5 – Laguna el Cabrero.	49
Figura 15. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E6 – Laguna el Cabrero.	50
Figura 16. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E7 – Laguna Chambacú.....	51
Figura 17. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E8 – Laguna Chambacú.....	51
Figura 18. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E9 – Laguna San Lázaro.....	53

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---

Figura 19. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E10 – Laguna San Lázaro..... 53

Figura 20. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E11 – Laguna San Lázaro..... 54

Figura 21. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E12 – Caño de Bazurto. 55

Figura 22. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E13 – Caño de Bazurto. 55

Figura 23. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E14 – Ciénaga de las Quintas.
..... 57

Figura 24. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E15 – Ciénaga de las Quintas.
..... 57

Figura 25. Resultados Plomo en la capa de sedimentos para las estaciones E1, E5, E9 y
E14 del 29 de septiembre de 2015. 59

Figura 26. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para el Caño Juan Angola en época
seca y de lluvia. 61

Figura 27. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para el Caño Juan
Angola en época seca y de lluvia..... 62

Figura 28. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para el Caño Juan
Angola en época seca y de lluvia..... 62

Figura 29. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Laguna el Cabrero en época
seca y de lluvia. 64

Figura 30. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para la Laguna el
Cabrero en época seca y de lluvia..... 64

Figura 31. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para la Laguna el
Cabrero en época seca y de lluvia..... 65

Figura 32. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Laguna el Cabrero en época
seca y de lluvia. 66

Figura 33. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para la Laguna el
Cabrero en época seca y de lluvia..... 67

Figura 34. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para la Laguna el
Cabrero en época seca y de lluvia..... 68

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Figura 35. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Laguna Chambacú en época seca y de lluvia. 69

Figura 36. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para la Laguna Chambacú en época seca y de lluvia..... 70

Figura 37. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para la Laguna Chambacú en época seca y de lluvia..... 70

Figura 38. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia. 71

Figura 39. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia..... 72

Figura 40. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia..... 72

Figura 41. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Ciénaga de las Quintas en época seca y de lluvia..... 74

Figura 42. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales la Ciénaga de las Quintas en época seca y de lluvia..... 75

Figura 43. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia..... 75

Figura 44. Índice de Calidad de Agua Marina Costera para Preservación de Flora y Fauna (ICAMPFF – Invemar ,2014), para las jornadas del 29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015..... 78

Figura 45. Espacialización del ICAMPFF para las horas de la Mañana 79

Figura 46. Espacialización del ICAMPFF para las horas de la Tarde 80

Figura 47. Ubicación de las estaciones de medición de niveles. La estación Espíritu del Manglar fue reemplazada por la del Cabrero por razones logísticas para la segunda y tercera campaña de medición. Fuente: adaptado de Google Earth..... 84

Figura 48. Variación de niveles en salida de campo 29 de septiembre 85

Figura 49. Direcciones de flujo desde las 8:30 hasta las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth. 86

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Figura 50. Direcciones de flujo a partir de las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth..... 87

Figura 51. Variación de niveles en salida de campo 14 de octubre..... 88

Figura 52. Direcciones de flujo hasta las 10:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth..... 89

Figura 53. Direcciones de flujo desde las 10:00 hasta las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth..... 90

Figura 54. Direcciones de flujo a partir de las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth..... 91

Figura 55. Variación de niveles en salida de campo 3 y 4 de noviembre..... 92

Figura 56. Direcciones de flujo desde las 15:00 hasta las 20:30 del 3 de noviembre..... 93

Figura 57. Direcciones de flujo desde las 20:30 del 3 de noviembre hasta las 2:00 del 4 de noviembre..... 94

Figura 58. Cartagena, Barrio el Cabrero (10°26'0.05"N; 75°30'50.42"O). Fuente: Elaboración propia..... 97

Figura 59. Cartagena, Barrio el Cabrero (10°26'0.05"N 75°30'50.42"O). Fuente: Elaboración propia..... 98

Figura 60. Cartagena, Barrio Pie de la Popa y Manga (10°25'9.93"N 75°32'33.93"O) . Fuente: Elaboración propia..... 99

Figura 61. Cartagena, Barrio Crespo y Barrio San Francisco (10°25'40.28"N 75°30'47.39"O). Fuente: Elaboración propia..... 100

Figura 62. Cartagena, Barrio Pie de la Popa (10°25'18.22"N 75°32'30.98"O). Fuente: Elaboración propia..... 101

Figura 63. Cartagena, Barrio Canapote y Barrios Crespo (10°26'32.63"N 75°31'17.67"O). Fuente: Elaboración propia..... 103

Figura 64. Cartagena, Barrio Canapote y Barrios Crespo (10°26'32.79"N 75°31'3.85"O). Fuente: Elaboración propia..... 104

Figura 65. Cartagena, Barrio el Cabrero (10°25'39.48"N 75°32'40.15"O). Fuente: Elaboración propia..... 105

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	--	---

Figura 66. Mapa de coberturas de la tierra del sistema de caños y lagos internos del Distrito de Cartagena..... 106

Figura 67. Ecosistema de manglar representativo para caño Juan Angola; *A. germinans* y *R. mangle*..... 108

Figura 68. Ecosistema de manglar representativo para laguna de Chambacú; *A. germinans* y *R. mangle*..... 109

Figura 69. Ecosistema de manglar representativo para laguna del Cabrero; *A. germinans* y *R. mangle*..... 109

Figura 70. Ecosistema de manglar representativo para la ciénaga de las Quintas; *R. mangle* y *A. germinans*..... 110

Figura 71. Ecosistema de manglar representativo para Caño Bazurto; *L. racemosa* y *R. mangle*..... 110

Figura 72. Ecosistema de manglar representativo para laguna de San Lázaro; *A. germinans* y *R. mangle*..... 111

Figura 73. Riqueza por familia de lagartos registrados en las ciénagas y caños de Cartagena..... 113

Figura 74. Abundancia por especie por estación de estudio en las ciénagas y caños de Cartagena..... 114

Figura 75. Reptiles registrados en las ciénagas y caños de Cartagena. A. *Iguana iguana* – Iguana. B. *Gonatodes albogularis* – Cuqueca. C. *Cnemidophorus gagei* – Lobito. D. *Ameiva praesignis* – Lobo pollero. 115

Figura 76. Riqueza por orden de aves registradas en las ciénagas y caños de Cartagena. En azul se muestran los órdenes netamente acuáticos. 120

Figura 77. Riqueza por familia de aves registradas en las ciénagas y caños de Cartagena. En azul se muestran las familias con hábitos acuáticos. 121

Figura 78. Preferencias de hábitats por la comunidad de aves en las ciénagas y caños de Cartagena..... 123

Figura 79. Izq. Aves perchando en la “isla de los Pájaros”. Der. Marismas en la ciénaga de la Virgen, donde se registraron grandes bandadas de aves limícolas y acuáticas. 124

Figura 80. Garzas en faena de pesca en el caño Juan Angola. Izq. *Egretta tricolor* – Garza tricolor. Der. *Nycticorax nycticorax* – Vaco..... 124

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Figura 81. Izq. *Quiscalus mexicanus* – María Mulata en bosque de manglar. Der. *Tyrannus melancholicus* – Sirirí en percha en vegetación riparia..... 125

Figura 82. Representación de los grupos taxonómicos. a: Porcentaje de Riqueza; b: Porcentaje de Abundancia. 128

Figura 83. Número de especies por estación y por grupo taxonómico 129

Figura 84. Evidencias de algunas de las especies de fitoplancton reportadas para este estudio. a: *Skeletonema costatum*, b: *Pterosigma*, c: *Nitzschia closterium*, d: *Gonyaulax* sp, e: *Nitzschia* sp, f: *Trachelomonas*, g: *Oscillatoria* sp. 129

Figura 85. Análisis de componente principal (ACP) de las variables fisicoquímicas y biológicas de la zona de estudio. 130

Figura 86. Relación abundancia-Clorofila en las estaciones de muestreo..... 131

Figura 87. Valores de los índices de diversidad, dominancia, igualdad y riqueza para la comunidad fitoplanctónica en cada una de las estaciones de muestreo. 133

Figura 88. Representación de los grupos taxonómicos del Zooplancton en las estaciones de muestreo..... 134

Figura 89. Análisis de diversidad, dominancia, equidad y riqueza..... 135

Figura 90. Representación gráfica del análisis descriptivo multivariado no paramétrico de Clasificación Cuantitativa (CLUSTER) para las estaciones..... 136

Figura 91. Ilustración de los grupos taxonómicos del zooplancton a: copépodos, b-c Rotíferos. d: Tintinidos. f. Larvas de bivalvos y g: Vista al microscopio de la muestra.... 137

Figura 92. Conchas de bivalvos encontradas en el sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena..... 138

Figura 93. Componentes Biofísicos presentes en el área de influencia del sistema de Caños y lagos Internos. 144

Figura 94. Mapa cuencas hidrográficas que drenan al sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena de Indias. Dirección del drenaje y localización del cauce principal de las cuencas..... 146

Figura 95. Curvas IDF, estación aeropuerto Rafael Núñez (1948-2014)..... 152

Figura 96. Flujograma para la estimación del caudal pico de escorrentía 155

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Figura 97. Flujograma metodología del método Racional. Fuente: Mussy (1998) 156

Figura 98. Mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio 157

Figura 99. Mapa de coeficientes de escorrentía para Tr de 25 años..... 161

Figura 100. Mapa de coeficientes de escorrentía para Tr de 50 años 162

Figura 101. Mapa de coeficientes de escorrentía para Tr 100 años..... 163

Figura 102. Mapa de HSGs del área de estudio 168

Figura 103. Mapa de CNs del área de estudio 169

Figura 104. Puntos de muestreo de la REDCAM en la ciénaga de La Virgen. REDCAM, 2014 173

Figura 105. Localización de la Bahía Interna 176

Figura 106. Comportamiento hidrodinámico de la Bahía de Cartagena. Resultados del modelo hidrodinámico HD, marea entrante. FUENTE: FONADE & CONSORCIO AFA-INGENIEROS LTDA, 2009 177

Figura 107. Comportamiento hidrodinámico de la Bahía de Cartagena. Resultados del modelo hidrodinámico HD, marea saliente. FUENTE: FONADE & CONSORCIO AFA-INGENIEROS LTDA, 2009 178

Figura 108. Niveles medidos en el Canal de Bocachica, 2009. FUENTE: UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, 2009..... 179

Figura 109. Localización de estaciones para Medición de Calidad de Agua. FUENTE: UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, CARDIQUE Y ACUACAR. 180

Figura 110 Unidades geológicas que aplican a la zona de estudio. Tomado y adaptado de Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS, 2001 182

Figura 111 Unidades geomorfológicas que aplican a la zona de estudio. Tomado y adaptado de Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS, 2001..... 187

Figura 112. Mapa de cobertura de la tierra del área de influencia del proyecto. Fuente: Autores, 2015. Fuente: CARDIQUE 2001. 193

Figura 113. Localización de estaciones meteorológicas en el área de estudio..... 196

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Figura 114. Valores totales anuales de precipitación desde el año 1944 hasta el año 2014, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	197
Figura 115. Variación temporal de los valores totales mensuales de precipitación, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.....	198
Figura 116. Valores totales mensuales por año de precipitación (1944 – 1959), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.....	199
Figura 117. Valores totales mensuales por año de precipitación (1960 – 1979), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.....	199
Figura 118. Valores totales mensuales por año de precipitación (1980 – 1999), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.....	200
Figura 119. Valores totales mensuales por año de precipitación (2000 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.....	200
Figura 120. Variación temporal de los valores mensuales de precipitación en box and whiskers.....	201
Figura 121. Número de días anuales de precipitación (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	202
Figura 122. Variación de los números de días mensuales de lluvias, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	202
Figura 123. Valores totales anuales de precipitación desde el año 1954 hasta el año 2013, Estación Escuela Naval.	203
Figura 124. Variación temporal de los valores totales mensuales de precipitación, Estación Escuela Naval.....	203
Figura 125. Valores máximos anuales de temperatura (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	204
Figura 126. Valores medios anuales de temperatura (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	205
Figura 127. Valores mínimos anuales de temperatura (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	205
Figura 128. Variación de la temperatura máxima mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	206

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	--	---

Figura 129. Variación de la temperatura promedio mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 207

Figura 130. Variación de la temperatura mínima mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 207

Figura 131. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (1943 – 1959), Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 209

Figura 132. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (1960 – 1979), Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 209

Figura 133. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (1980 – 1999), Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 210

Figura 134. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (2000 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 210

Figura 135. Valores medios anuales de temperatura (1954 – 2013), Estación Escuela Naval. 211

Figura 136. Variación temporal de los medios mensuales de temperatura, Estación Escuela Naval. 211

Figura 137. Variación de la temperatura media mensual, Estación Escuela Naval. 212

Figura 138. Valores promedio anuales de humedad relativa (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 212

Figura 139. Variación de los medios mensuales de humedad relativa, Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 213

Figura 140. Variación de la humedad relativa promedio mensual. 214

Figura 141. Valores de medios anuales de humedad relativa (1954 – 2013), Estación Escuela Naval. 214

Figura 142. Variación de los medios mensuales de humedad relativa, Estación Escuela Naval. 215

Figura 143. Valores totales anuales de brillo solar (1976 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 215

Figura 144. Variaciones del total mensual de brillo solar, Estación Aeropuerto Rafael Núñez. 216

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Figura 145. Variación del brillo solar total mensual, Aeropuerto Rafael Núñez.	217
Figura 146. Valores promedio anuales de velocidad del viento (1978–2014), Estación Rafael Núñez.	218
Figura 147. Variación de los medios mensuales de velocidad del viento, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.....	219
Figura 148. Variación de la velocidad promedio del viento mensual	219
Figura 149. Valores totales anuales de evaporación (1972 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	220
Figura 150. Variación de los totales mensuales de evaporación, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	220
Figura 151. Variación de la evaporación total mensual, Aeropuerto Rafael Núñez.	221
Figura 152. Valores de promedio mensual anual de nubosidad (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.....	222
Figura 153. Variación de los medios mensuales de nubosidad, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	222
Figura 154. Variación de la nubosidad promedio mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.	223
Figura 155. Índice de calidad del aire de la campaña de monitoreo en los sectores: Bomba del Amparo, María Auxiliadora y Peaje Ceballos	229
Figura 156. Localización de las estaciones de monitoreo del SVCA en Cartagena de Indias.	230
Figura 157. Concentración promedio aritmética diaria, comparación contra la resolución 610 del 2010. a) año 2014 b) año 2015.	231
Figura 158. Concentración promedio anual todas las estaciones, comparación contra la norma	232
Figura 159. Distribución espacial de la concentración de PM10 en la ciudad de Cartagena para el año 2014. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio g) Julio h) Agosto i) Septiembre j) Octubre k) Noviembre l) Diciembre	235

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Figura 160. Distribución espacial de la concentración de PM10 en la ciudad de Cartagena para el año 2015. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio g) Julio h) Agosto i) Septiembre 237

Figura 161. . Concentración promedio anual todas las estaciones, comparación contra la resolución 610 del 2010..... 239

Figura 162. Distribución espacial de la concentración de PM2.5 en la ciudad de Cartagena para el año 2014. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio g) Julio h) Agosto i) Septiembre j) Octubre k) Noviembre l) Diciembre 241

Figura 163. Distribución espacial de la concentración de PM2.5 en la ciudad de Cartagena en el año 2015. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio 242

Figura 164. Se muestra aspectos de los rellenos que se han dado en las orillas de la Ciénaga de las Quintas, Barrio Manga Sector Santafé 246

Figura 165. Eliminación de excretas que vierten directamente a la ciénaga de las Quintas pos sistema de pozas sépticas y servicios sanitarios, sector Santafé de Manga 246

Figura 166. Afectación del Manglar por inadecuada disposición de residuos en la Ciénaga de Las Quintas..... 247

Figura 167. Percepción de la problemática de contaminación en la Ciénaga de las Quintas 248

Figura 168. Habitantes de calle ubicados en la Ciénaga de las Quintas, frente a Centro Comercial Caribe Plaza 249

Figura 169. Soluciones propuestas por los moradores y residentes ubicados en la Ciénaga de las Quintas..... 250

Figura 170. Estimativo de actividades productivas que influyen sobre la franja de protección del sistema de Caños y Lagos..... 251

Figura 171. Mercado de Bazurto de la ciudad de Cartagena 252

Figura 172. Actividades económicas productivas adyacentes a la Ciénaga de las Quintas 252

Figura 173. Flujo de embarcaciones en la Ciénaga de las Quintas 253

Figura 174. Cuáles son los Principales problemas ambientales del caño Bazurto? 255

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Figura 175. ¿Qué solución propone la comunidad vecina para la problemática ambiental? 256

Figura 176. Otras alternativas de solución propuestas por la comunidad de caño Bazurto 257

Figura 177. Avanzadas interinstitucionales lideradas por EPA para la recuperación de este cuerpo de agua, limpiezas y desalojos de habitantes de calle 2015..... 257

Figura 178. Actividades productivas Avenida del Lago adyacentes a Caño Bazurto 258

Figura 179. Avenida Alfonso Araujo de Manga paseo peatonal de Laguna San Lázaro y visuales del Puente Román. 259

Figura 180. Avanzada y operativo de control sobre establecimientos comerciales Vía Marginal Laguna de San Lázaro, octubre de 2015..... 260

Figura 181. Problemática ambiental identificada por moradores, comerciantes y residentes de la laguna de Chambacú 261

Figura 182. Zona de pesebreras en la laguna de Chambacú 263

Figura 183. ¿Qué solución propone la comunidad? 264

Figura 184. Cuáles son las Problemáticas ambientales de la laguna del Cabrero?..... 265

Figura 185. Sector la Unión de Torices, octubre de 2015..... 266

Figura 186. ¿Qué soluciones propone la comunidad de la laguna del cabrero? 267

Figura 187. Cuales son las principales problemáticas ambientales del Caño Juan Angola 270

Figura 188. Propuestas o alternativas de solución comunidad del Caño Juan Angola ... 271

Figura 189. Esquema de Relaciones de interdependencia entre el Sistema de Caños y lagos internos y los componentes biofísicos del área de influencia..... 272

Figura 190. Conexiones de la Bahía de Interna con el Sistema de Caños y Lagos internos. 274

Figura 191. Cartagena. Inundación leve área de estudio. Este nivel de inundación corresponde a la unión del mapa elaborado por los expertos asistentes al seminario-taller ¿Cómo nos afecta el acelerado ascenso del nivel del mar?, el mapa de riesgos incluido en

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

el POT, análisis de fotos satelitales y supone inundación de las áreas de manglar. INVEMAR, 2008. 276

Figura 192. Cartagena. Playas y manglares inundados. INVEMAR, 2008 277

Figura 193. Variación del Oxígeno Disuelto en Varios puntos del sistema de Caños y lagos internos. 278

Figura 194. Delineamiento de las zonas inundables para *Tr* 25, 50 y 100 años..... 281

Figura 195 Mapa de zonas críticas zonas críticas de aporte de sedimentos, depósitos de relleno y confinamiento del sistema. Tomado y adaptado de Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS, 2001 284

Figura 196. Esquema de variación del bosque de manglar a través del tiempo (2005-2015). 285

Figura 197. Compuerta de Chambacu 286

Figura 198. Caudal en la entrada de la Bocana, Caudal Medio en la Compuerta de Chambacu. Fuente: Arrieta, A. y Rejtman, P, 2002..... 287

Figura 199. Plano de coeficientes de escorrentía. Fuente: FORMULACIÓN DE PLAN INTEGRAL PARA LA RECUPERACIÓN Y ORDENAMIENTO DEL SISTEMA DE CAÑOS, LAGOS Y LAGUNAS INTERIORES DE CARTAGENA DE INDIAS, 2015. 290

Figura 200. Sitios de disposición inadecuada de Residuos Sólidos y puntos de llegada de Canales pluviales en Caño Juan Angola, Laguna San Lázaro y Caño de Bazurto. 293

Figura 201. Plano General de Evolución de Orillas. 295

Figura 202. Zona M1 del Plano de la Figura 201. 296

Figura 203. Zona M2 del Plano de la Figura 201. 297

Figura 204. Zona M3 del Plano de la Figura 201. 298

Figura 205. Cambios morfométricos (área) en el tiempo de los cuerpos de agua. Los valores aquí mostrados están aproximados a una cifra decimal. 300

Figura 206. Cambios morfométricos (perímetro) en el tiempo de los cuerpos de agua en el tiempo. Los valores aquí mostrados están aproximados a una cifra decimal. 301

Figura 207. Mapa de acciones a desarrollar en el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena de Indias. Fuente: EPA Cartagena (2015). 303

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Figura 208. Recorrido al Caño Juan Angola. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre barrio Canapote. Tomado y modificado de Google Earth 304

Figura 209. Improvisado taller de pintura y soldadura a orillas del Caño Juan Angola, barrio Canapote. Coordenada: N 10°26'31" W 75° 31'1"..... 305

Figura 210. Recorrido al Caño Juan Angola. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre barrio Crespo. Tomado y modificado de Google Earth 306

Figura 211. Drenaje pluvial con presencia de algunos residuos sólidos. Ancho de 4.5m aproximadamente. El agua que transporta tiene color oscuro y mal olor. Presencia de tubería de gas. Coordenada: N 10°26'32.6" W 75°31'25.3"..... 306

Figura 212. Recorrido al Caño Juan Angola. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre barrio San Pedro Libertad. Tomado y modificado de Google Earth..... 307

Figura 213. Recorrido a la Laguna del Cabrero. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla. Tomado y modificado de Google Earth 308

Figura 214. Recorrido a la Laguna del Cabrero. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Torices, parte de Chambacú y el Papayal. Tomado y modificado de Google Earth. 309

Figura 215. Canal de vertimiento de aguas residuales de las viviendas aledañas hacia la Laguna del Cabrero. Con presencia de vegetación. Ancho de 0.8m aproximadamente. Coordenada: N 10°25'55.37" W 75°32'17.38". 310

Figura 216. Recorrido a la Laguna San Lázaro. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Pie de La Popa y parte de Manga. Tomado y modificado de Google Earth..... 311

Figura 217. Desagüe de Centro de Diagnóstico Automotor obstruido en un 90%. Actividad portuaria en los alrededores (muelle). Coordenada: N 10°25'17.8" W 75°32'31.3..... 311

Figura 218. Recorrido al Caño Bazurto. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Pie del Cerro y Pie de La Popa. Tomado y modificado de Google Earth..... 312

Figura 219. Canal NOE. Transporta agua de color oscuro y mal olor. Ancho aproximado 4.2 m. Coordenada: N 10°24'53.6" W 75°31'55.4". 313

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Figura 220. Recorrido a la Ciénaga Las Quintas. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Chino. Tomado y modificado de Google Earth 313

Figura 221. Recorrido a la Ciénaga Las Quintas. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Martínez Martelo. Tomado y modificado de Google Earth..... 314

Figura 222. Canales menores de desagüe. Presentan gran cantidad de residuos sólidos, agua de color oscuro y mal olor y a sus alrededores se encuentran múltiples establecimientos comerciales. Coordenada: N10°24'46.0" W 75°31'46.3". 315

Figura 223 Delimitación de tramos para evaluación paisajística 319

Figura 224. Ilustraciones de la morfología del tramo Cabrero (Tramo 4)..... 320

Figura 225. Ilustración de la morfología del tramo Mercado (Tramo 8). 321

Figura 226. Concepto de dos zonas de inundación. Fuente: adaptado de Ontario Ministry of Natural Resources, 2002 324

Figura 227. Niveles estimados por efectos de lluvias de 10 y 100 años de periodo de retorno. Fuente: Arrieta, A. y Rejtman, P 326

Figura 228. Caudales estimados de la salida en la Bocana por efecto de lluvias de 10 y 100 años de periodo de retorno. Fuente: Arrieta, A. y Rejtman, P 327

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Campañas de monitoreo realizadas.	33
Tabla 2. Fuentes, criterios y selección de búsqueda resultados encontrados para la información secundario para el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.	34
Tabla 3. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de agua, según normas colombianas e internacionales.	36
Tabla 4. Colores utilizados para identificar las normas colombianas e internacionales que permitieron definir los criterios de evaluación de las condiciones de calidad de agua.	37
. Tabla 5. Coordenadas de estaciones analizadas para el componente de calidad de agua en el sistema de caños y lagos.	37
Tabla 6. Análisis de los resultados de los parámetros de sedimentos monitoreados el 29 de Septiembre de 2015.	58
Tabla 7. Índice de Calidad de Agua Marina Costera para Preservación de Flora y Fauna (ICAM _{PFF} – Invemar ,2014), para las jornadas del 29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015.	76
Tabla 8. Índice de Calidad de Agua (ICA – IDEAM, 2012), para las jornadas del 29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015.	81
Tabla 9. Campañas de medición de niveles.	83
Tabla 10. Localización de las estaciones de monitoreo de niveles de agua.	83
Tabla 11. Coberturas de la Tierra del área de influencia del proyecto.	96
Tabla 12. Composición florística de la cobertura bosque bajo inundable.	107
Tabla 13. Abundancia de las especies de lagartos en las ciénagas y caños de la ciudad de Cartagena.	112
Tabla 14. Composición de la comunidad de aves en el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.	116
Tabla 15. Índices de diversidad para las áreas muestreadas en las ciénagas y caños de la ciudad de Cartagena.	122

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	--	---

Tabla 16. Especies de aves migratorias registradas en el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena. Tipo de migración: Lat. Latitudinal, Lon. Longitudinal, Alt. Altitudinal, Trans. Transfronteriza, Loc. Local. Estatus de Residencia: Irp. Invernante con poblaciones reproductivas permanentes, Inr. Invernante no reproductivo.....	125
Tabla 17. Componentes Biofísicos presentes en el área de influencia del sistema de Caños y lagos Internos.	143
Tabla 18. Cuencas hidrográficas que drenan hacia el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena de Indias.....	144
Tabla 19. Definición de cada uno de los parámetros morfométricos.	147
Tabla 20. Características morfométricas de las cuencas que drenan al sistema de lagos, lagunas y ciénagas de Cartagena.....	148
Tabla 21. Métodos para la estimación del tiempo de concentración (Tc).	149
Tabla 22. Tiempos de concentración de las cuencas.....	149
Tabla 23. Coeficientes para cada región de Colombia.....	151
Tabla 24. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas, estación aeropuerto Rafael Núñez (1948 – 2014).	151
Tabla 25. Resumen valores mensuales máximos en 24 horas (promedios y máximos).	153
Tabla 26. Valores específicos de las curvas <i>IDF</i> para la estación del aeropuerto Rafael Núñez (M = 201,8 mm).	153
Tabla 27. Coeficientes de escorrentía (C) para uso en el método Racional	157
Tabla 28. Factores de corrección (Cf) método Racional	158
Tabla 29. Determinación de los coeficientes de escorrentía	159
Tabla 30. Caudales pico de escorrentía de diseño (Tr = 25, 50 y 100 años).....	164
Tabla 31. Grupos hidrológicos de suelos (HSG) método CN.	166
Tabla 32. Reclasificación a HSG de los suelos en el área de estudio	166
Tabla 33. Números de Curva (CN) ponderados.....	169

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Tabla 34. Resumen caudales pico de escorrentía de diseño (Tr = 25, 50 y 100 años) Métodos Racional y Número de Curva.....	170
Tabla 35. Características de la marea medida	172
Tabla 36. Resultados de Mediciones de Calidad de Agua	180
Tabla 37. Fenómenos meteorológicos asociados con la variación climática de Cartagena de Indias.....	194
Tabla 38. Estaciones meteorológicas usadas	196
Tabla 39. Campañas de monitoreo realizadas en la ciudad de Cartagena.....	224
Tabla 40. Descripción de las estaciones del SVCA, según los parámetros evaluados y tecnologías implementadas.	230
Tabla 41. Concentración de PM10 para el año 2014 y 2015.....	231
Tabla 42. Concentración de PM _{2.5} para el año 2014 y 2015.....	238
Tabla 43. Criterio del Índice de Calidad del Aire ICA.....	243
Tabla 44. Índice de Calidad del Aire mensual para PM ₁₀ para el periodo 2014-2015.....	244
Tabla 45. Índice de Calidad del Aire mensual para PM _{2.5} para el periodo 2014-2015	245
Tabla 46. Resultados del Inventario General de Actividades Productivas y Visitas de Campo Sistema de Ciénagas, Caños y Lagunas	250
Tabla 47. Relaciones de interdependencia de los componentes ambientales que conforman el ecosistema.	273
Tabla 48. Resumen de los niveles de agua modelados Tr 25, 50 y 100 años.....	279
Tabla 49. Descripción de los Rangos.....	290
Tabla 50. Localización de los cuerpos de agua (inicio y final).	294
Tabla 51. Cambios morfométricos de los cuerpos de agua (área).	299
Tabla 52. Cambios morfométricos de los cuerpos de agua (perímetro).	300
Tabla 53. Relación causa-efecto de cambios morfométricos en los cuerpos de agua....	302

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---	---

Tabla 54. Puntos referenciados por cada cuerpo de agua 315

Tabla 55. Criterios de valoración del paisaje..... 317

Tabla 56. Insumos propuestos para el mejoramiento de los mapas zonas de inundación 330

Tabla 57. Clasificación de proyectos en zonas de inundación..... 331

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1 - Parte 1 Primera Campaña de calidad de agua

ANEXO 1 - Parte 2 Segunda Campaña de calidad de agua

ANEXO 2 - Curvas Primera campaña de Oxigenación

ANEXO 3 - Curvas Segunda campaña de Oxigenación

ANEXO 4 - Análisis de Información Secundaria

ANEXO 5 - Planos de ICA

ANEXO 6. Hietogramas de lluvia de las cuencas del área de estudio

ANEXO 7. Esquema de la modelación realizada en HEC-HMS.

ANEXO 8. Hidrogramas de las cuencas para Tr de 25, 50 y 100 años.

ANEXO 9 - Registros totales mensuales de precipitación

ANEXO 10 – Análisis de la Calidad del Paisaje.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

INTRODUCCIÓN

En este Tomo se presenta el “Estudio integral de la calidad ambiental del sistema de Caños y Lagos internos de la ciudad de Cartagena” el cual partió de cuatro premisas para su elaboración.

Por un lado se consideró que el sistema de caños y lagos está conformado por la masa de agua almacena en sus características batimétricas; por los sedimentos depositados en su fondo; por su ronda hídrica; y por la flora y fauna que habita en su masa de agua y en su ronda hídrica (Ver esquema de Figura 1).

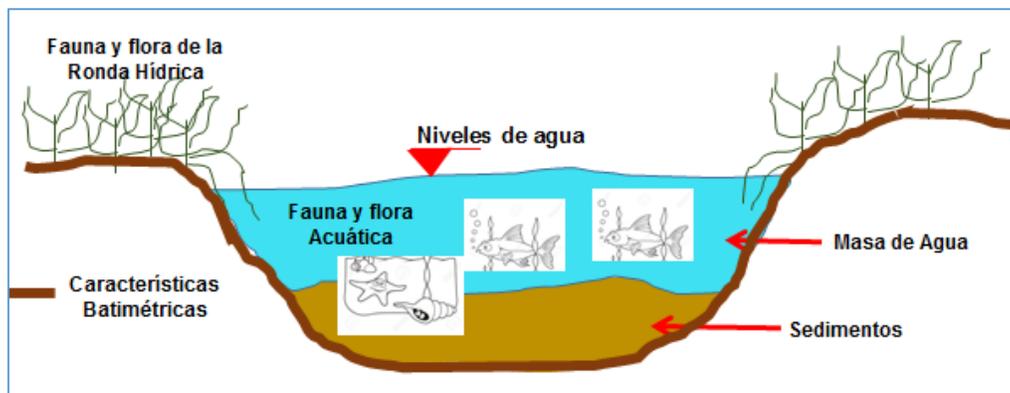


Figura 1. Conformación del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.

Por otro lado se consideró que la calidad ambiental del sistema de caños y lagos está representada, en la calidad fisicoquímica y microbiológica de su masa de agua y sedimentos, en su comportamiento hidráulico, y en el estado de conservación de la flora y fauna que habita en sus aguas y el sus rondas hídricas.

También se consideró que el sistema de caños y lagos debe estudiarse desde un enfoque integral que entiende que su calidad ambiental no solo depende del estado intrínseco de los elementos que lo conforman, sino que también depende de la interacción que tiene con los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en su área de influencia, y con los que genera relaciones de interdependencia que condicionan y estructuran su dinámica y funcionamiento. Además porque los componentes biofísicos y socioeconómicos introducen elementos al sistema que provocan la alteración de sus características fisicoquímicas y por tanto la degradación del hábitat de las especies de fauna y flora que allí se encuentran.

Y finalmente se buscó plantear recomendaciones para el ordenamiento territorial del sistema de caños y lagos y su área de influencia.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Bajo estas premisas, el estudio integral aplicó un procedimiento metodológico que agotó las etapas que se mencionan a continuación y que se representan en el esquema de la Figura 2.

- Determinar la calidad ambiental del sistema de caños y lagos internos a partir del análisis de sus características fisicoquímicas, microbiológicas e hidráulicas, y del estado de conservación de la flora y fauna que habita en ellos y en sus rondas hídricas.
- Identificar y describir los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en el área de influencia del sistema de caños y lagos internos.
- Identificar y analizar las relaciones que existen entre la calidad ambiental del sistema de caños y lagos y los componentes biofísicos y socioeconómicos que se encuentran en su área de influencia.
- Plantear recomendaciones para el ordenamiento territorial del sistema de caños y lagos y su área de influencia.



Figura 2. Esquema metodológico del estudio integral.

A continuación se presentan los resultados de cada una de las etapas de la Figura 2.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---	---

1. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS

1.2. CALIDAD FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS CUERPOS DE AGUA Y DE LOS SEDIMENTOS DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS.

La calidad físicoquímica y microbiológica del agua y de los sedimentos del sistema de caños y lagos internos se determinó con base en información captada, por el presente estudio, en campañas de monitoreo realizadas los días 29 de Septiembre, 14 de octubre y el 03 de Noviembre de 2015, según la programación que se muestra en la Tabla 1, donde se puede evidenciar los parámetros que fueron medidos en cada campaña. También a partir de la información secundaria relacionada en la Tabla 2 y que fue obtenida después de realizar una revisión bibliográfica en las diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales que cuentan con datos de calidad de agua del sistema de caños y lagos.

Tabla 1. Campañas de monitoreo realizadas.

Campaña	Alcance	Est.	Campañas realizadas	Fecha de ejecución	Parámetros analizados
1	Mediciones y muestreos de Parámetros Físicoquímicos y microbiológicos (agua y sedimento)	1 5	2 (una en la mañana y una en la tarde)	29 de Septiembre de 2015	<p>Para <u>columna de agua</u> :</p> <p>Temperatura, pH , Conductividad, salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales, DBO5, Materia Orgánica, Clorofila A , Cianuro Total, Fósforo Disuelto , Fósforo Orgánico , Amonio , Nitratos , Nitritos, NKT, Aceites y Grasas, Mercurio, Plomo, HAPN, Coliformes Fecales y Coliformes Totales. Es importante anotar que en el muestreo realizado en horas de la tarde, no se evaluaron los HAPN.</p> <p><u>Para Sedimento:</u> Solo se tomó una muestra de sedimento en cada una de las cuatro (4) estaciones. Las variables evaluadas fueron: pH, materia orgánica, sulfuros, mercurio y plomo.</p>
2	Mediciones de Parámetros Físicoquímicos in Situ.	1 4	1	14 y 15 de Octubre de 2015	<p><u>Columna de agua:</u> Temperatura, pH, Conductividad, salinidad, y Oxígeno Disuelto.</p>

 	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Revisión: 1 Fecha: Dic-2015
---	--	--

Campaña	Alcance	Est.	Campañas realizadas	Fecha de ejecución	Parámetros analizados
	Medición de condiciones meteorológicas:.	1	1		Temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad, presión atmosférica y precipitación en intervalos de 30 minutos.
3	Mediciones y muestreos de Parámetros Físicoquímicos y microbiológicos:		2 (una en la mañana y una en la tarde)	03 y 04 de Noviembre de 2015	Columna de agua : Temperatura, pH , Conductividad, salinidad, Oxígeno Disuelto, Sólidos Suspendidos Totales, DBO5, Materia Orgánica, Clorofila A , Fósforo Disuelto, Fósforo Orgánico, Amonio , Nitratos , Nitritos, NKT, Aceites y Grasas , Plomo, Coliformes Fecales y Coliformes Totales . Es importante anotar que para el plomo solo se realizaron ensayos en las horas de la mañana.
	Mediciones de Parámetros Físicoquímicos in Situ.: estación	15	1		Columna de agua: Temperatura, pH, Conductividad, salinidad, y Oxígeno Disuelto.
	Medición de condiciones meteorológicas:	1	1		Temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad, presión atmosférica y precipitación en intervalos de 15 minutos.

Tabla 2. Fuentes, criterios y selección de búsqueda resultados encontrados para la información secundario para el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.

Fuente de búsqueda	Criterio de Búsqueda	Resultado	Calidad Físicoquímica, microbiológica		Hidráulica, e Hidrodinámica		Meteorológica y planos	
			Zona de estudio	Estudios similares	Zona de estudio	Estudios similares	Zona de estudio	Estudios similares
Bases de datos virtuales como ScienceDirect, Ambientalex.info, Engineeringvillage, ACS Publications, entre otras	Modelación, calidad de aguas	3 Artículos encontrados	X	X		X		
Libros en físico y motores de búsqueda en internet tales como Google, Yahoo, etc	Calidad de aguas	20 libros	X	X		X	X	X

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Fuente de búsqueda	Criterio de Búsqueda	Resultado	Calidad Físicoquímica, microbiológica		Hidráulica, e Hidrodinámica		Meteorológica y planos	
			Zona de estudio	Estudios similares	Zona de estudio	Estudios similares	Zona de estudio	Estudios similares
Entidades tales como EPA; CARDIQUE, EDURBE, FONADE, Universidad de Cartagena, Fundación Universitaria Tecnológico de Comfenalco, entre otros.	Estudios ambientales y calidad de aguas	5 Documentos	X	X			X	
IGAC y Google Earth	Planos de los cuerpos de agua internos de la ciudad de Cartagena	20 Planos e imágenes satelitales					X	

La información obtenida fue analizada bajo tres enfoques:

- El primero tomó la información de las campañas de monitoreo para determinar el estado actual de la calidad físicoquímica y microbiológica del agua y de los sedimentos del sistema de caños y lagos.
- El segundo se valió de la información obtenida de la revisión bibliográfica y de las campañas de monitoreo, para determinar, a través de un análisis multitemporal, la evolución de la calidad físicoquímica de los cuerpos de agua del sistema de caños y lagos desde el año 1976 hasta el presente.
- El tercero consolidó los resultados del estado actual de calidad del agua del sistema de caños y lagos a partir del cálculo de dos indicadores: Índice de Calidad de Agua Marino Costeras para Preservación de Flora y Fauna – ICAM_{PFF} (Invemar, 2014) e Índice de Calidad de Agua Continental (IDEAM, 2012).

Para determinar si los resultados de cada análisis representan una calidad adecuada o inadecuada, los resultados de los parámetros fueron comparados con normas nacionales e internacionales que proporcionan valores de referencia de calidad de agua para diferentes usos. Dichos valores se presentan en la Tabla 3 por cada parámetro.

 	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA	Revisión: 1
	CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Fecha: Dic-2015

Tabla 3. Criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de agua, según normas colombianas e internacionales.

Parámetro	Unidades	Nivel de Calidad para uso Recreativo y Preservación de Flora y Fauna			REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS		
		USO RECREATIVO		PRESERVACIÓN DE FLORA Y FAUNA	Cumple con la Norma en Análisis	Cumple con la Norma en un rango específico	NO Cumple con la Norma en Analisis
		Contacto Primario	Contacto Secundario				
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	-	Min. 4	Min. 4		
pH in situ	UpH	[5 - 9]		[6,5 - 8,5]	[6,5 - 8,5]	[5 - 6,5) y (8,5 - 9)]	
Clorofila A	mg/m3	Máx. 100			Máx. 100		
Turbiedad	UNT	[45-110]			[45-110]		
Alcalinidad	mg/L	Máx. 0,02			Máx. 0,02		
Aceites y Grasas	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Amoniaco(NH ₃)	mg/L	-	-	Máx. 0,1	Máx. 0,1		
Nitrógeno Amoniacal o Amonio (NH ₄)	mg/L	Máx. 1			Máx. 1		
Nitritos (NO ₂)	mg/L	Máx. 0,03			Máx. 0,03		
Nitrógeno Total	mg/L	Máx. 0,4			Máx. 0,4		
Fósforo Total	mg/L	Máx. 0,3			Máx. 0,3		
DBO ₅	mg/l	Máx. 6			Máx. 6		
Sustancias Tensoactivas al Azul de Metileno	mg/L	Máx. 0,5	-	Máx. 0,143	Máx. 0,143	[0,143 - 0,5]	
coliformes Totales	NMP/100mL	Máx. 1000	Máx. 5000	-	Máx. 1000	[1000 - 5000]	
Coliformes Fecales	NMP/100mL	Máx. 200	-	-	Máx. 200		
Plaguicidas Organofosforados	mg/L	-	-	Máx. 0,05	Máx. 0,05		
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos Nucleares (HAPN)	mg/L	Máx. 0,0003			Máx. 0,0003		
Mercurio	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Plomo	mg/L	-	-	Máx. 0,01	Máx. 0,01		
Cianuro Total	mg/L	-	-	Máx. 0,05	Máx. 0,05		

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Los colores de la Tabla 3 se relacionan con la Tabla 4, específicamente indicando las normas bajo la cuales fueron determinados los valores de referencia de cada parámetros monitoreado.

Tabla 4. Colores utilizados para identificar las normas colombianas e internacionales que permitieron definir los criterios de evaluación de las condiciones de calidad de agua.

Según los trabajos realizados por la empresa que diseño y construyo la Bocana como Haskonning en 2000, 2001 y 2002, complementados por Glynn and Gary (1996) basados en la Normas Holandesas, para evitar Eutroficación.	Valores Admisibles según Decreto 1594 de 1984 (Para uso Recreacional y Preservación de flora y Fauna).
Norma Peruana para calidad de agua superficial de origen Estuarino para usos de Recreación y Preservación de Flora y Fauna. (2002)	Normas de la EPA de US, según Water Quality Criteria (2009), para agua tipo estuarina en preservación de flora y fauna
N. R. E. = No se realizó ensayo para este parámetro	Consejo Europeo de Normas para calidad de agua superficial para Preservación de vida acuática (1978)
<L.D. = Debajo del límite de detección de la técnica implementada	
Coinciden los criterios la Norma Peruana y el EPA	Coinciden los criterios de los estudios adelantados por Haskonning y el EPA

A continuación se presentan los resultados de cada enfoque, a partir de las estaciones monitoreadas que se pueden apreciar en la . Tabla 5 y Figura 3.

. Tabla 5. Coordenadas de estaciones analizadas para el componente de calidad de agua en el sistema de caños y lagos.

Cuerpo de Agua	Número	Nombre	Latitud	Longitud
Caño Juan Angola	1	Entrada Canal de Paralelo	10°25'36.69"N	75°30'46.66"W
	2	Interconexión Canal Paralelo a Caño Juan Angola	10°26'24.77"N	75°30'49.68"W
	3	Punto central Caño Juan Angola – debajo Puente Canapote	10°26'30.90"N	75°31'32.20"W
Laguna del Cabrero	4	Zona nororiental de la Laguna el Cabrero	10°26'0.50"N	75°32'12.20"W
	5	Punto central Laguna el Cabrero	10°25'51.78"N	75°32'26.41"W
	6	Interconexión Laguna el Cabrero a Laguna Chambacú- debajo del Puente Chambacú	10°25'37.70"N	75°32'38.10"W
Laguna de Chambacú	7	Punto central Laguna Chambacú	10°25'26.67"N	75°32'32.93"W
	8	Interconexión Laguna Chambacú a Laguna San Lázaro- debajo del Puente de Heredia	10°25'21.53"N	75°32'32.76"W
Laguna de San Lázaro	9	Punto central Laguna San Lázaro	10°25'10.30"N	75°32'33.47"W
	10	Interconexión Laguna San Lázaro a Bahía interna de Cartagena- debajo del Puente Román	10°25'2.33"N	75°32'39.95"W

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Cuerpo de Agua	Número	Nombre	Latitud	Longitud
	11	Interconexión Laguna San Lázaro a Caño de Bazurto-aledaño al Puente las Palmas	10°25'11.40"N	75°32'27.50"W
Caño Bazurto	12	Punto central Caño de Bazurto	10°25'4.20"N	75°32'11.80"W
	13	Interconexión Caño de Bazurto a Ciénaga de las Quintas -aledaño al Puente Jiménez	10°24'53.42"N	75°31'56.06"W
Ciénaga las Quintas	14	Punto central Ciénaga de las Quintas	10°24'34.85"N	75°31'33.35"W
	15	Interconexión Ciénaga de las Quintas a Bahía de Cartagena- debajo del Puente Bazurto	10°24'22.60"N	75°31'30.30"W

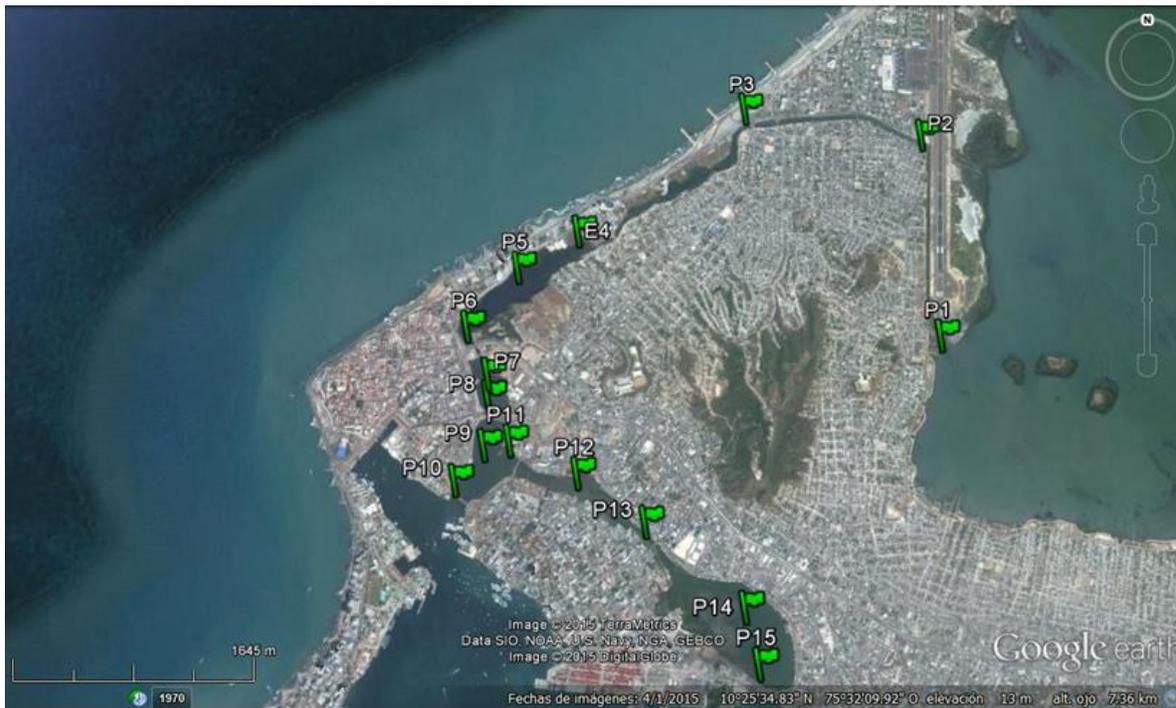


Figura 3. Coordenadas de estaciones analizadas para el componente de calidad de agua en el sistema de caños y lagos.

1.2.1. Estado actual de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua y de los sedimentos del sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.

En este capítulo se presentan los análisis de la campaña de monitoreo realizadas los días 29 de septiembre, 14 de octubre y el 03 de noviembre de 2015, pero no sin antes hacer las siguientes aclaraciones (Los resultados detallados de cada campaña se presentan en el Anexo 1):

- La forma como fueron medidos los parámetros por cada campaña se clasificó en tres grupos: el primero corresponde a los parámetros medidos de forma

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

discontinua para la columna de agua, es decir, los parámetros que para el día de campaña fueron muestreados dos veces, una por la mañana y otra por la tarde. El segundo corresponde a los parámetros que fueron medidos en el sitio durante 24 horas continuas en el día de campaña y para la columna de agua. El tercero corresponde a los parámetros de calidad de sedimentos de los caños y lagos internos (ver Tabla 1).

- La campaña del 29 de septiembre midió los parámetros de la columna de agua en forma discontinua, y fue la única donde se midió la calidad de los sedimentos. En las otras campañas no fueron medidos los sedimentos porque se consideró que la variación de sus resultados, en el intervalo de tiempo que pasaría hasta realizar las otras campañas, no sería representativa, además porque dicho intervalo se enmarcaba en la misma época climática del año (Época de Lluvias) (ver **Tabla 1**).
- Para la campaña del 14 de octubre (ver **Tabla 1**) solo se realizaron monitoreos sobre la columna de agua, específicamente de parámetros medidos en el sitio durante 24 horas continuas. Estos parámetros corresponden a la Temperatura, pH, Conductividad, salinidad, y Oxígeno Disuelto. De esta forma fue posible obtener curvas de evolución de cada uno de ellos durante un día.
- Durante la campaña del 03 de noviembre de 2015 (ver **Tabla 1**) se midieron parámetros en forma discontinua y continua.

Teniendo claridad de lo anterior se presenta un análisis consolidado de los resultados de cada campañas, dividido en tres partes: la primera muestra el análisis de los parámetros medidos discontinuamente (Mañana y Tarde) que brindan una idea representativa de la calidad del agua, estos son: OD, grasas y aceites, DBO₅, CT, CF, y Plomo. (El resto de resultados se muestran en el Anexo 1). La segunda presenta los resultados de los parámetros medidos en forma continua durante 24 horas (ver los detalles en los Anexo 2 y Anexo 3). Y la tercera presenta los resultados de las mediciones de sedimentos.

1.2.1.1. Análisis de los parámetros medidos discontinuamente (Mañana y Tarde).

- **Oxígeno disuelto.**

En la Figura 4 se puede notar para las dos campañas de monitoreo (29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015) los resultados de la jornada de la tarde son mayores que la jornada de la mañana, esto debido a los procesos fotosintéticos de estos cuerpos de agua, producto de las condiciones lumínicas durante los intervalos de medición. Para la medición del 29 de septiembre de 2015 todas las estaciones en la jornada de la tarde cumplieron con la normatividad, mientras que la jornada de la mañana cumplió las estaciones E5, E9, E14 y E15. Para la misma fecha de monitoreo durante la mañana las estaciones que obtuvieron mayores valores fueron E14 y E15 con 5,29 mg/L y 4,89 mg/L, respectivamente, y las que obtuvieron menores valores fueron E6 y E13 con 1,43 mg/L y 1,59 mg/L, respectivamente.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Por su parte los mayores valores para el 29 de Septiembre de 215 de jornada de la tarde fueron E13 y E5 con 14,56 mg/L y 13,9 mg/L, respectivamente, y los menores se dieron en la estación E7 con 67,79 mg/L, como consecuencia de las altas temperaturas registradas a la hora del muestreo (ver Anexo 1), adicionalmente en estos puntos se presenta una reducción de la sección hidráulica transversal que genera un aumento en el gradiente de velocidad, permitiendo un mejor intercambio de oxígeno entre la capa de agua y la capa de aire, lo cual mejora este parámetro en este tramo.

Para el monitoreo realizado el 03 de Noviembre de 2015 las estaciones que cumplieron con la normatividad para ambas jornadas fueron E9, E10, E14 y E15, mientras que para la jornada de la tarde cumplió las estaciones E1, E4, E5, E8, E11 y E12. Para la misma fecha de monitoreo durante la mañana las estaciones que obtuvieron mayores valores coincidieron con la del monitoreo del 29 de Septiembre las cuales fueron E14 y E15 con 4,90 mg/L y 4,79 mg/L, respectivamente, y las que obtuvieron menores valores fueron E2 y E3 con 0,10 mg/L y 0,76 mg/L, respectivamente.

Por su parte los mayores valores para el 03 de Noviembre de 215 de jornada de la tarde fueron E12 y E11 con 10,80 mg/L y 9,66 mg/L, respectivamente, y los menores se dieron en la estación E3 y E2 con 0,67 mg/L y 0,76 mg/L, respectivamente, como consecuencia de las altas temperaturas registradas a la hora del muestreo (ver Anexo 1).

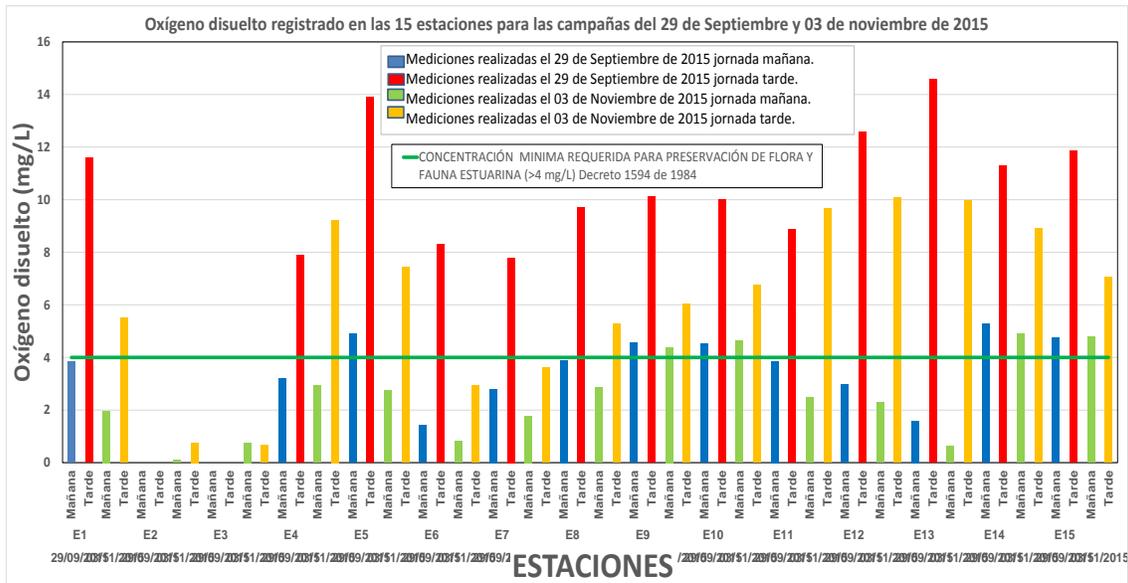


Figura 4. Resultados oxígeno disuelto en el sistema de caños y lagos, campañas de monitoreo del 29 de septiembre y 03 de Noviembre de 2015.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Aceites y Grasas.**

El resultado de Aceites y Grasas se encontró que para ambas campañas de monitoreo para ambas jornadas presentaron valores por debajo del límite de detección, por lo que cumplen con la norma colombiana para este parámetro, sin embargo durante el trabajo de campo del 29 de Septiembre se pudo observar una mancha en cercanías a la estación E14 en la jornada de la mañana, como se puede apreciar Figura 5.



Figura 5. Mancha de hidrocarburos o aceites en horas de la mañana, en la Estación 14 - Centro Ciénaga de Las Quintas del 29 de septiembre de 2015.

Se puede decir que al comparar la norma con los ensayos de laboratorio esta la cumplen, sin embargo en la misma se especifica que si existe una película visible de ella, estaría incumpliendo este componente, que pudo ser producto de un inadecuado manejo de hidrocarburos durante el proceso de suministro de combustibles a alguna embarcación.

- **DBO₅.**

De la Figura 6 se para la campaña de monitoreo realizada el 29 de Septiembre todas las estaciones cumplen con los valores máximos admisibles establecidos para evitar problemas de eutroficación (<6 mg/L), de acuerdo a las consideraciones de las normas holandesas definidas por Haskoning (2000, 2001 y 2002) y el consejo europeo para preservación de flora y fauna (1978), a excepción de las estaciones E2 y E13 en ambas jornadas, mientras que E1, E13 y E14 para la jornada de la tarde. El valor con mayor concentración para la jornada de la mañana se dio en la estación E2 con 11,80 mg/L, mientras que el menor se dio en la E10 con un valor debajo del límite de detección de la tónica implementada. Por otro lado la jornada de la tarde registró un mayor valor para la estación E2 y un menor valor E11 con 13, 1 mg/L y 2,3 mg/L, respectivamente. En esta misma campaña las estaciones E1, E2, E12, E13 y E14 presentan prácticamente una doble concentración de la tarde, con respecto a la mañana. Todas estas estaciones coinciden con las mayores concentraciones de nutrientes tales como nitrógeno amoniacal y fósforo disuelto entre otros (ver anexo 1).

Para la campaña de monitoreo realizada el 03 de Noviembre todas las estaciones cumplen con los valores máximos admisibles a excepción de las estaciones E2 y E3 en ambas jornadas, mientras que E12 y E13 para la jornada de la tarde.

El 03 de Noviembre el valor con mayor concentración para la jornada de la mañana se dio en la estación E2 con 11,80 mg/L, mientras que el menor se dio en la E10 con un valor debajo del límite de detección de la tónica implementada. Por otro lado la jornada de la tarde registró un mayor valor para la estación E3 y un menor valor fueron las E9, E10 y E11 con 8,50 mg/L y debajo del límite de detección de la técnica implementada, respectivamente. Se aprecia nuevamente que las estaciones E13 y E14 presentan prácticamente una doble concentración en la jornada de la tarde.

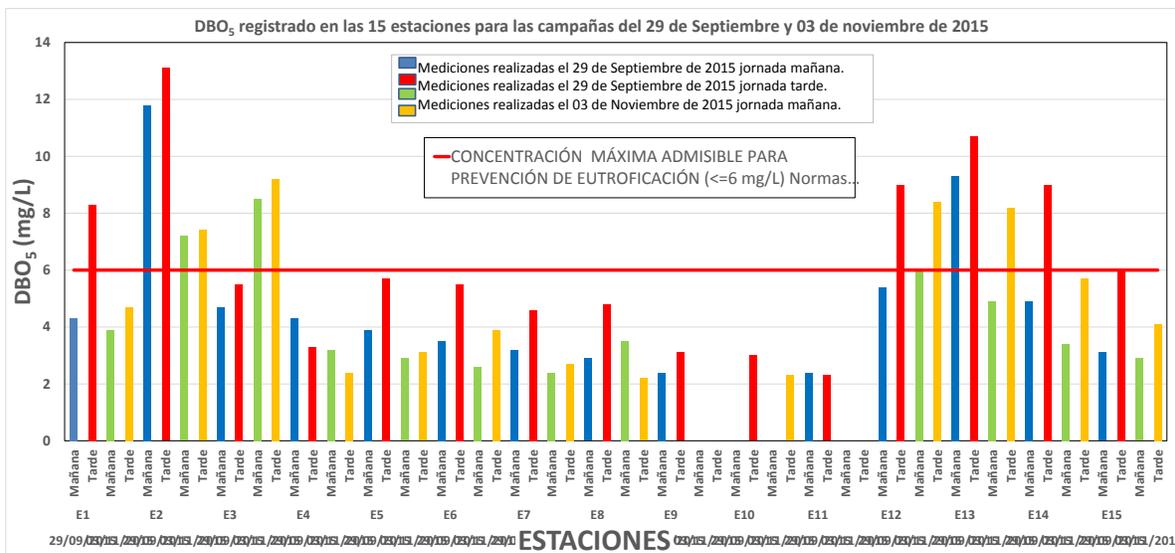


Figura 6. Resultados DBO5 en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre y 03 de Noviembre de 2015.

- **Coliformes Totales.**

De la Figura 7 la campaña de monitoreo realizada el 29 de Septiembre que todas las estaciones cumplen con el decreto 1594 de 1984 para uso recreativo de contacto primario, sin embargo las estaciones E2 (para ambas jornadas) y E4 (para la jornada de la tarde), no lo hacen, aunque cumplen para contacto secundario, si se analiza en la gran mayoría coinciden con las estaciones que tienen altos contenidos de nutrientes y de DBO₅, lo cual valida la presencia de inconvenientes en dichos sectores (ver anexo 1). El valor con mayor concentración para la jornada de la mañana se dio en la estación E2 con 1300 NMP/mL, mientras que el menor se dio en las estaciones E10 y E15 en ambos casos con un valor 41 NMP/100mL. Por otro lado la jornada de la tarde registró un mayor valor para la estación E2 y E4 en ambos casos con 2400 NMP/100mL, mientras que un menor valor en la estación E10 con 2 NMP/100mL.

Para la campaña de monitoreo realizada el 03 de Noviembre se aumentan en gran magnitud los valores de coliformes, donde no cumplen con el decreto 1594 de 1984 para uso recreativo las estaciones E1, E3, E12 para ambas jornadas, mientras que la E4, E6, E7, E8 y E13 para la jornada de la tarde. Por su parte las estaciones E2 y E5, cumplen para uso recreativo como contacto secundario en ambas jornadas, mientras que la E8 y E13 lo hacen para la jornada de la mañana y la E14 para la jornada de la tarde.

El 03 de Noviembre el valor con mayor concentración para la jornada de la mañana se dio en la estación E3 y E12 en ambos casos con 16000 NMP/100mL, mientras que el menor se dio en la E4, E6, E7, E10, E11, E14, E15 con un de 240 NMP/100mL para todos los casos. Por otro lado la jornada de la tarde registró un mayor valor para la estación E3 con 350000 NMP/100mL y un menor valor la E10 con 140NMP/100mL.

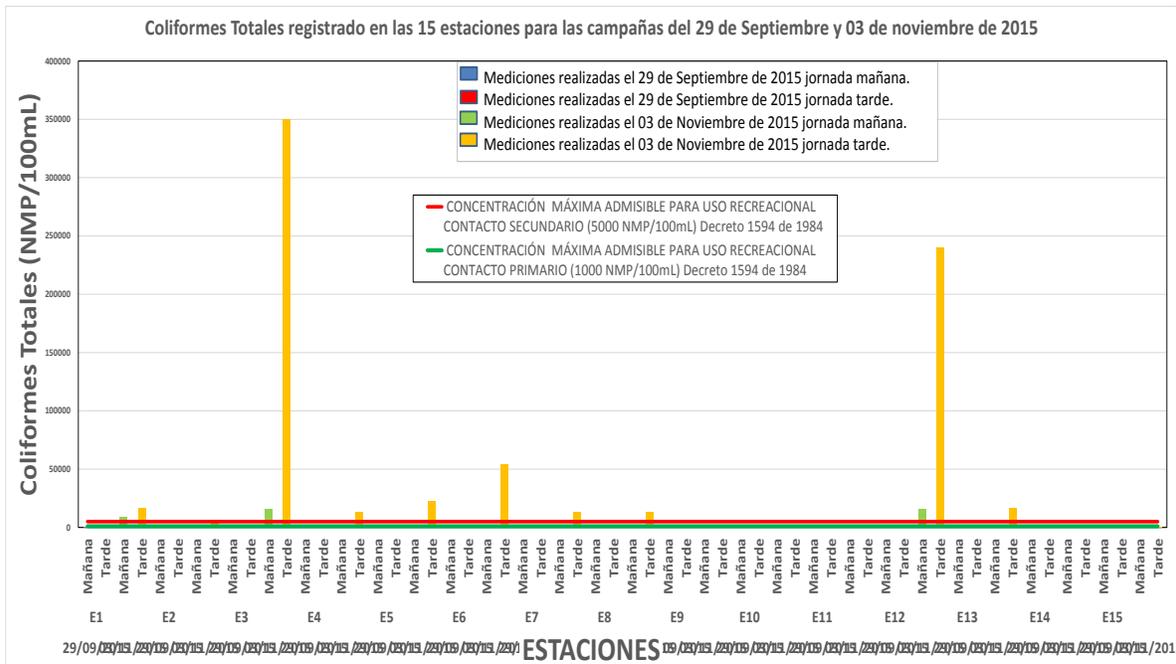


Figura 7. Resultados Coliformes Totales en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre de 2015.

- **Coliformes Fecales.**

De la Figura 8 se puede analizar que la mayoría de las coliformes son de tipo fecal, las estaciones con mayores valores son las E2 y E3 (para ambas jornadas), seguido de la E12, E14, E6, E9 (para ambas jornadas), las E13, E1 (para la jornada de la tarde) y las E4 y E11 (para la jornada de la tarde) por lo cual no cumplen con el decreto 1594 para contacto primario. El valor con mayor concentración para la jornada de la mañana se dio en la estación E2 con 1300 NMP/mL, mientras que el menor se dio en las estaciones E10 y E15 en ambos casos con un valor 41 NMP/100mL. Por otro lado la jornada de la tarde

registró un mayor valor para la estación E2 y E4 en ambos casos con 2400 NMP/100mL, mientras que un menor valor en la estación E10 con 2 NMP/100mL.

Para la campaña de monitoreo realizada el 03 de Noviembre de igual forma aumentan en gran magnitud los valores de coliformes, donde no cumplen con el decreto 1594 de 1984 todas las estaciones a excepción de la E9 y E10 en la jornada de la tarde. El valor con mayor concentración para la jornada de la mañana se dio en la estación E3 y E12 en ambos casos con 16000 NMP/100mL, mientras que el menor se dio en la E4, E6, E7, E10, E11, E14, E15 con un de 240 NMP/100mL para todos los casos. Por otro lado la jornada de la tarde registró un mayor valor para la estación E3 con 350000 NMP/100mL y un menor valor la E10 con 110NMP/100mL.

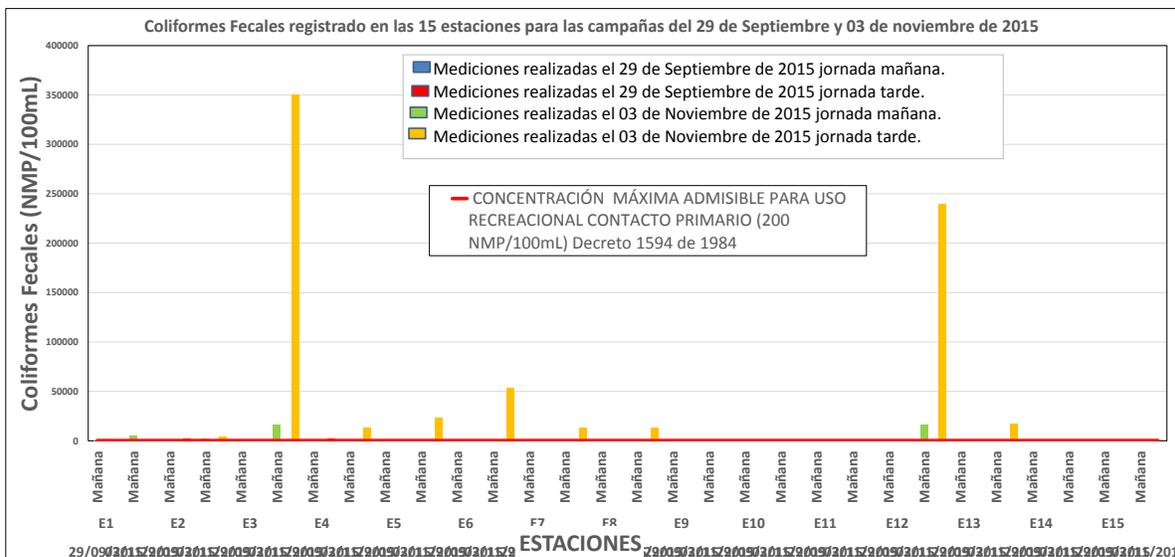


Figura 8. Resultados Coliformes Fecales en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre de 2015.

- **. Plomo.**

De la Figura 9 las concentraciones de plomo se encontraron por debajo de los valores máximos admisibles según el decreto 1595 de 1984 para preservación de flora y fauna, aunque algunos presentaron valores por debajo del límite de detección de la técnica implementada, sin embargo es el único componente de tipo tóxico que tiene un valor registrable.

La razón de dichos aumentos pueden ser productos de los altos contenidos de plomo en la gasolina colombiana, ya que esta descargado por emisiones atmosféricas que al condensarse puede estar precipitándose por todos los cuerpos de agua, en sus diferentes cuencas por escorrentía pluvial, sin embargo cabe resaltar que son valores aún bajo que no registran consideración ante posibles afectaciones al medio ambiente acuático. Estos

resultados se validan con los estudios adelantados por el Inveemar con la Redcam en el año 2011 en diversos puntos del sistema de caños y lagos.

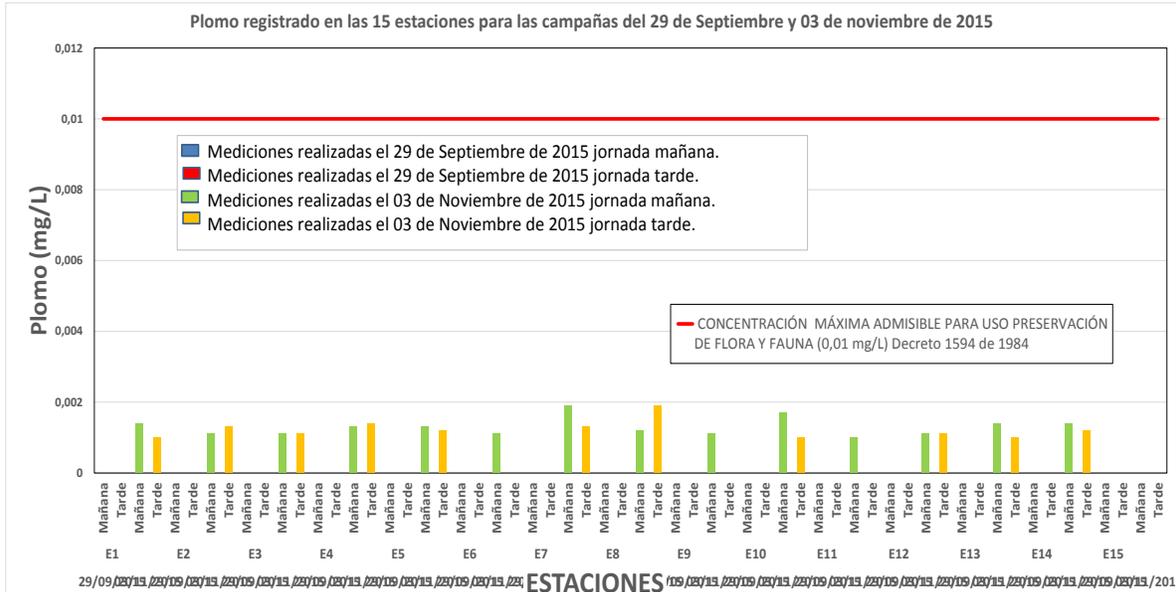


Figura 9. Resultados Plomo en el sistema de caños y lagos, campaña de monitoreo del 29 de septiembre de 2015.

1.2.1.2. Análisis de los resultados de los parámetros medidos en el sitio durante 24 horas continuamente.

Los resultados de estos parámetros se presentan por cada uno de los cuerpos de agua que conforman al sistema de caños y lagos. (En el Anexo 2 y en el Anexo 3 se presentan los resultados detallados de estas campañas).

- **Canal Paralelo.**

Para el Canal Paralelo se tienen una única estación, dada la experiencia obtenida en la primera campaña de monitoreo (14-15 de Octubre de 2015), así como también las diferentes situaciones que tuvo el grupo de topografía y batimetría en el Canal Paralelo, en cuanto a las dificultades de acceso, se estableció que por motivos de seguridad, acceso (terrestre y fluvial) y generación de expectativas erróneas a la comunidad por la presencia de personal ajeno a la zona; limitar el monitoreo solamente entre las 06:00 am a 18:00 horas para la campaña del 03-04 de Noviembre, por lo cual la curva desarrollada se encuentra solamente en este intervalo.

Los horarios con mayor condiciones lumínicas evidenciaron el aumento del oxígeno, por su parte las condiciones de salinidad y temperatura son muy similares, dado que presenta constantemente el ingreso del caudal de la Bocana de mareas estabilizada en este punto,

como se puede apreciar que de las (ver numeral 1.3 medición de niveles 14 de Octubre de 2015).

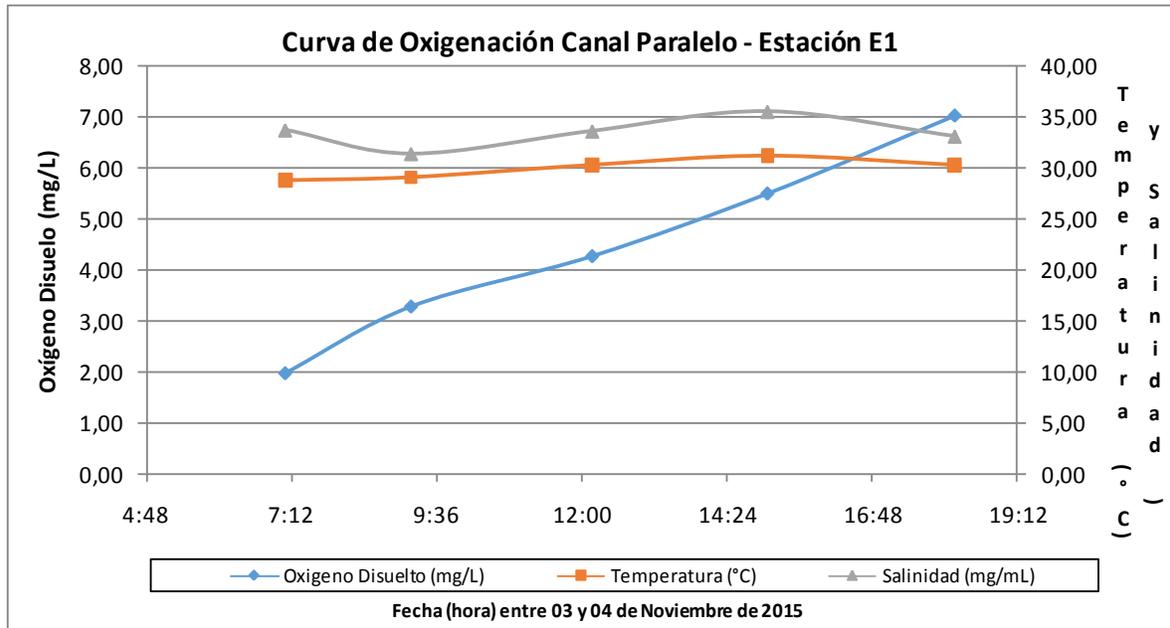


Figura 10. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E1 – Canal Paralelo.

- **Caño Juan Angola.**

Para el Caño Juan Angola se tienen dos (2) estaciones, de las cuales las concentraciones más bajas se presentaron en la estación E2, seguidas de la Estación E3, como se puede apreciar que de las Figura 11, Figura 12 y Anexo 1, 2 y 3, estos datos se corroboran las condiciones anoxias que conviven muchos de los organismos que allí residen como se pudo comprobar con las dos (2) campañas de calidad de agua (ver Anexo 1), ya que se presentaron mayores concentraciones de DBO_5 , altos contenidos de coliformes de tipo fecal, al igual que valores representativos de amonio y otros nutrientes. La campaña de monitoreo realizada el 14-15 de Octubre registro mayores valores de oxígeno disuelto en comparación a la campaña del 03-04 de Noviembre, por su parte unos valores muy cercanos entre sí para la salinidad.

Los valores de las condiciones de viento medidas con el anemómetro portable muestran que durante la noche las velocidades de viento eran casi nulas en el sector con ciertas variaciones durante las horas diurnas, lo cual comprueba que al registrarse mayores velocidades de viento el sistema se oxigena mejor, ya que permite una mejor transferencia entre la capa de aire y la capa de agua. Por su parte el pH y la conductividad no tuvieron variaciones representativas, en donde para el primero se encontró dentro del rango para uso recreativo del decreto 1594 de 1984. No cabe duda

que las condiciones de luminosidad son las que generan un gran aumento de oxígeno y ante la ausencia del mismo unos bajos valores.

Para ambas campañas de monitoreo en todas estaciones se encontraron debajo de lo contemplado en el decreto 1594 de 1984 para el oxígeno disuelto, lo cual demuestra problemas de oxigenación para este cuerpo de agua.

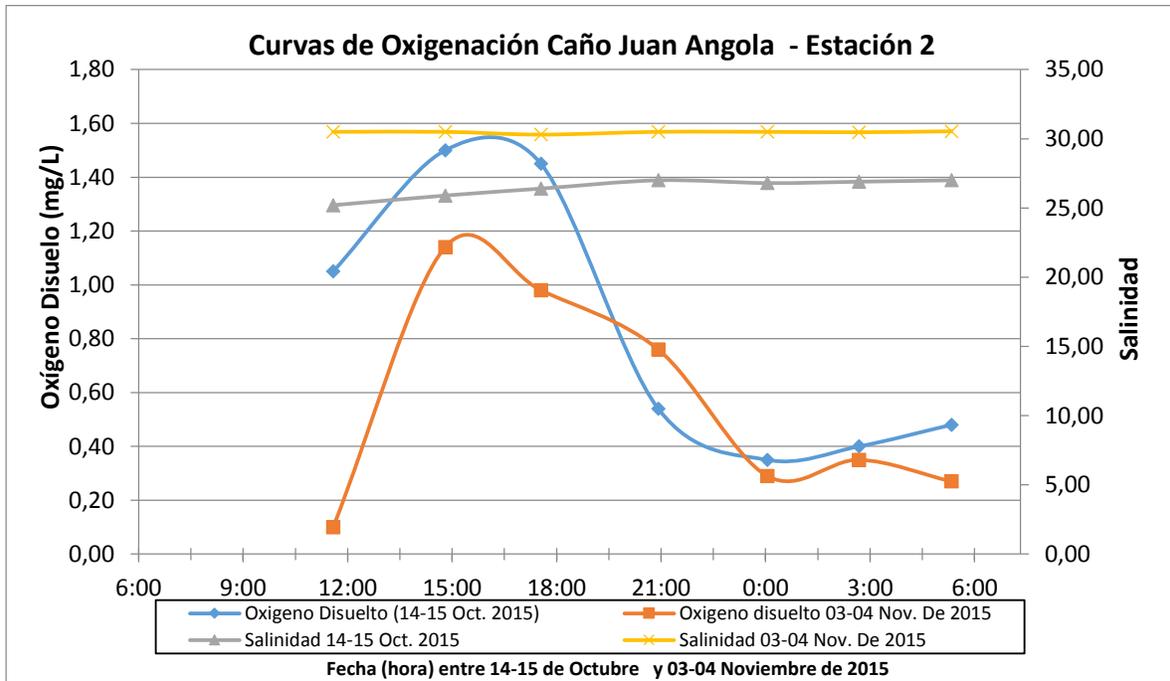


Figura 11. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E2 – Caño Juan Angola.

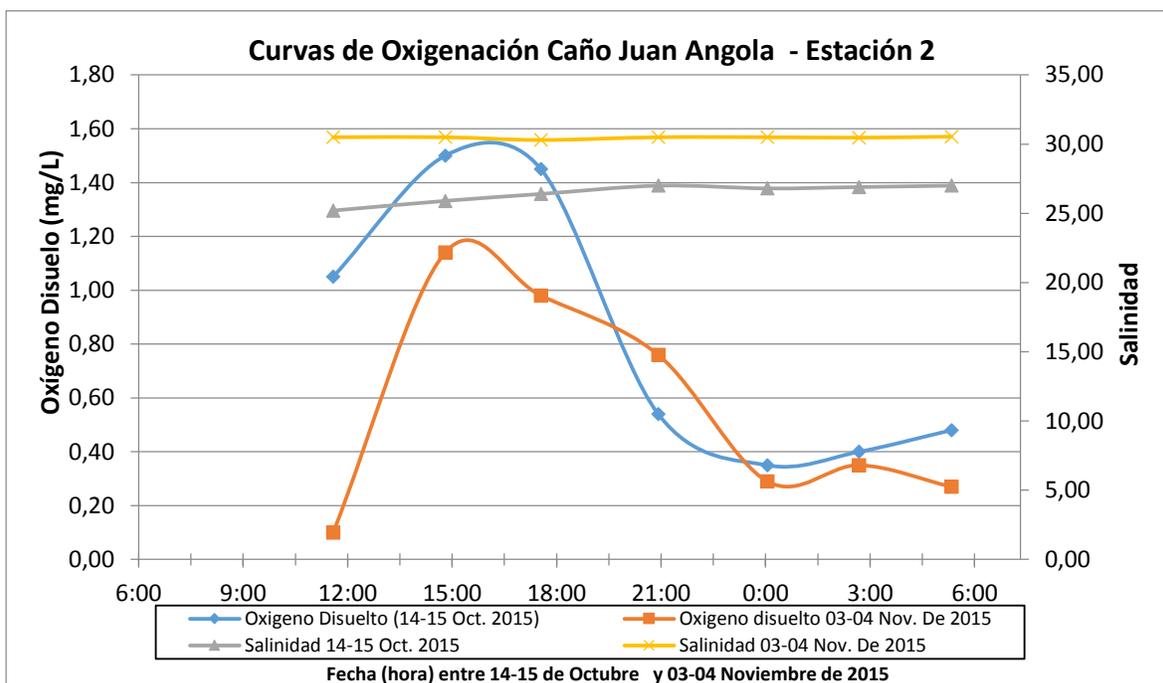


Figura 12. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E3 – Caño Juan Angola.

- **Laguna el Cabrero.**

Para la Laguna el Cabrero se tienen tres (3) estaciones como se puede apreciar que en las Figura 13, Figura 14, Figura 15, Anexo 2 y Anexo 3, las cuales para la campaña del 29 de Septiembre presentan un comportamiento similar en el cual bajo las condiciones de luminosidad buenas condiciones de oxígeno y ante la ausencia del mismo unos valores bajos, en este último fue proporcional entre las 19 horas y 06 horas de la mañana del día siguiente. Las concentraciones más bajas se presentaron en la estación E6 y Laguna Chabacú, sin embargo presenta procesos de oxigenación acordes a la proliferación de vida como se pudo comprobar con las dos (2) campañas de calidad de agua (ver Anexo 1).

Para la campaña de monitoreo realizado el 03-04 de Noviembre de 2015 de igual forma presentan un comportamiento similar a la primera campaña en el cual bajo las condiciones de luminosidad presenta muy buenas condiciones de oxígeno y ante la ausencia del mismo unos bajos valores para la estación E4 y E5, sin embargo la estación E6 presento una variación muy diferente a las demás con condiciones de oxígeno disuelto que no cumplieron en ningún intervalo de tiempo lo exigido en el decreto 1594 de 1984 para preservación de flora y fauna. Para todas las estaciones la segunda campaña de monitoreo refleja valores menores en comparación con la primera campaña, y se detalla con mayor claridad en el numeral 1.2.1.1.

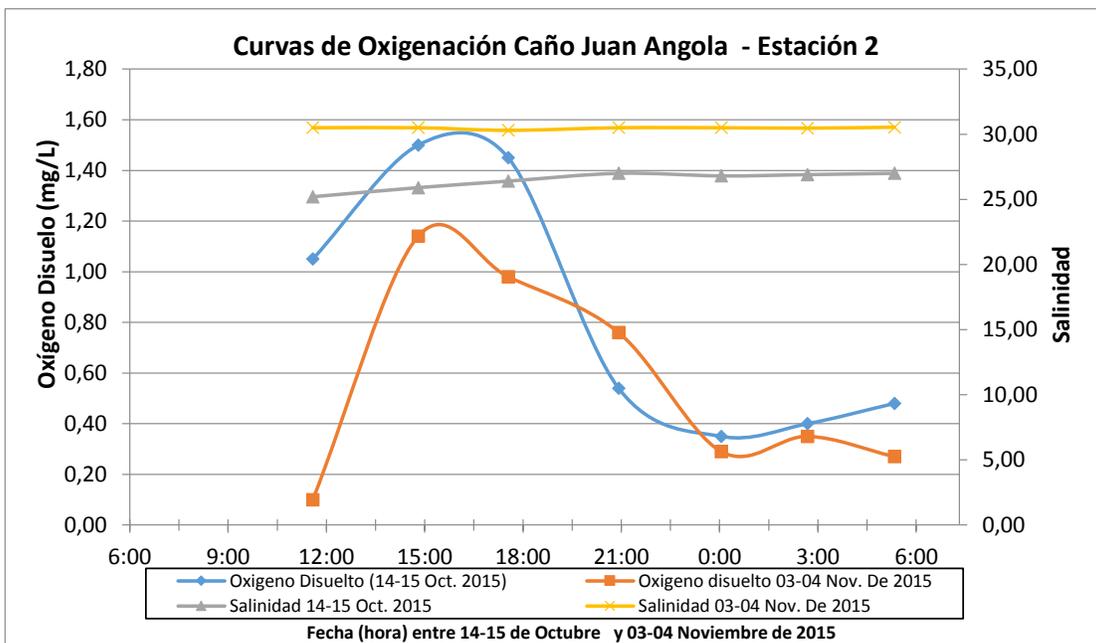


Figura 13. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E4 – Laguna el Cabrero.

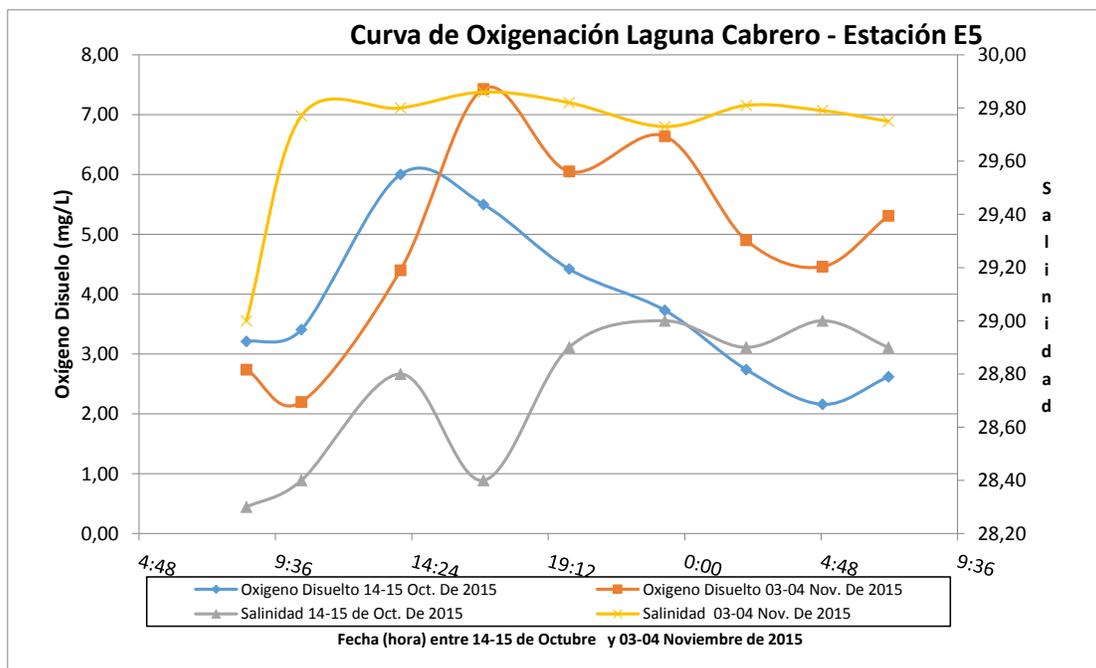


Figura 14. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E5 – Laguna el Cabrero.

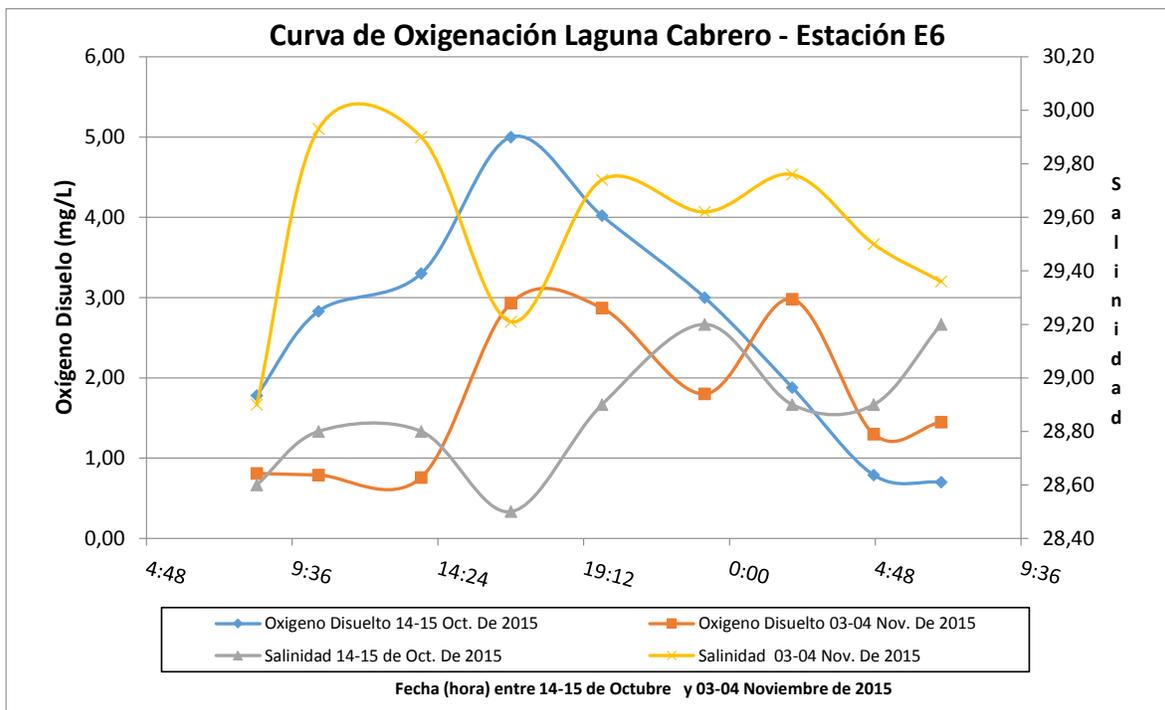


Figura 15. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E6 – Laguna el Cabrero.

- **Laguna Chambacú.**

Para la Laguna de Chambacú se tienen dos (2) estaciones como se puede apreciar que en las Figura 16, Figura 17, y Anexo 2, para la campaña del 14-15 de Octubre la estación E7 – punto central Laguna Chambacú presentó un comportamiento más proporcional al oxígeno disuelto durante las condiciones lumínicas y una baja proporción en ausencia de ella, a su vez una variación mínima en la temperatura y salinidad durante todo el tiempo ejecutado, mientras que la estación E8 – interconexión entre Laguna Chambacú y Laguna San Lázaro presenta un comportamiento un poco atípico con sus dos semejantes pero con una marcada proporcionalidad de igual forma bajo la luz del sol y mayores valores de oxígeno en toda la línea del tiempo. Por su parte el pH y la conductividad, en donde para el primero en la mayoría se encontró dentro del rango para uso recreativo del decreto 1594 de 1984 y se mantuvieron las condiciones de velocidad de viento durante las jornadas diurnas con variaciones, mientras que las nocturnas con velocidades muy pocas e incluso nulas durante la madrugada, lo que no permite una buena transferencia de la capa de agua y la capa de aire para ambas campañas de monitoreo.

Por otro lado la campaña de monitoreo realizada el 03-04 de Noviembre de 2015 la estación E7 presento un comportamiento más proporcional al oxígeno disuelto, en comparación con el resto de estaciones, principalmente durante las condiciones lumínicas

y una baja proporción en ausencia de ella, a su vez una variación mínima en la temperatura y salinidad durante las mediciones.

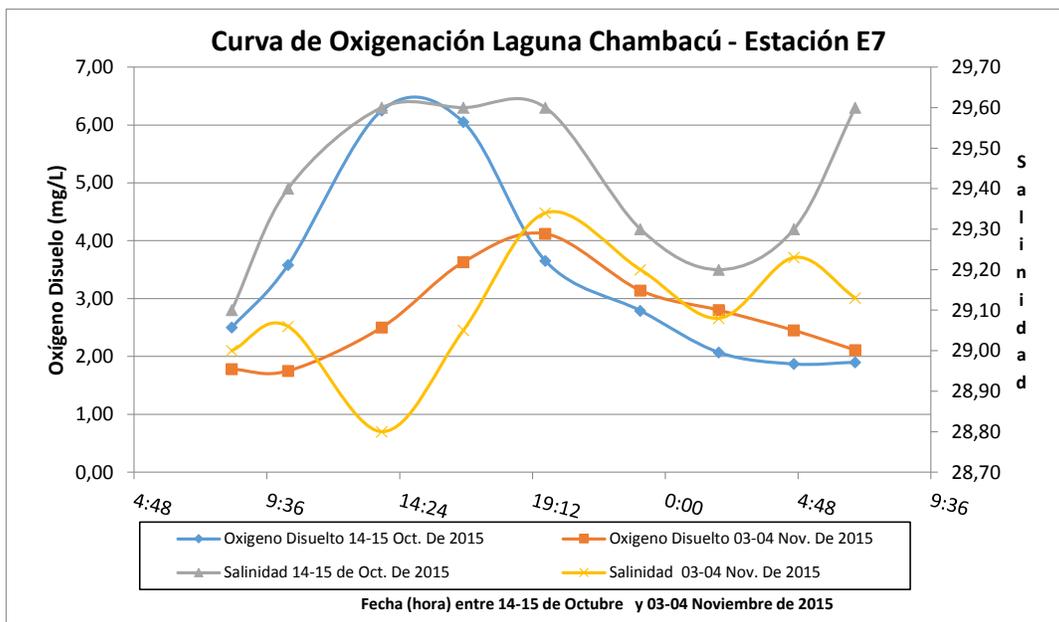


Figura 16. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E7 – Laguna Chambacú.

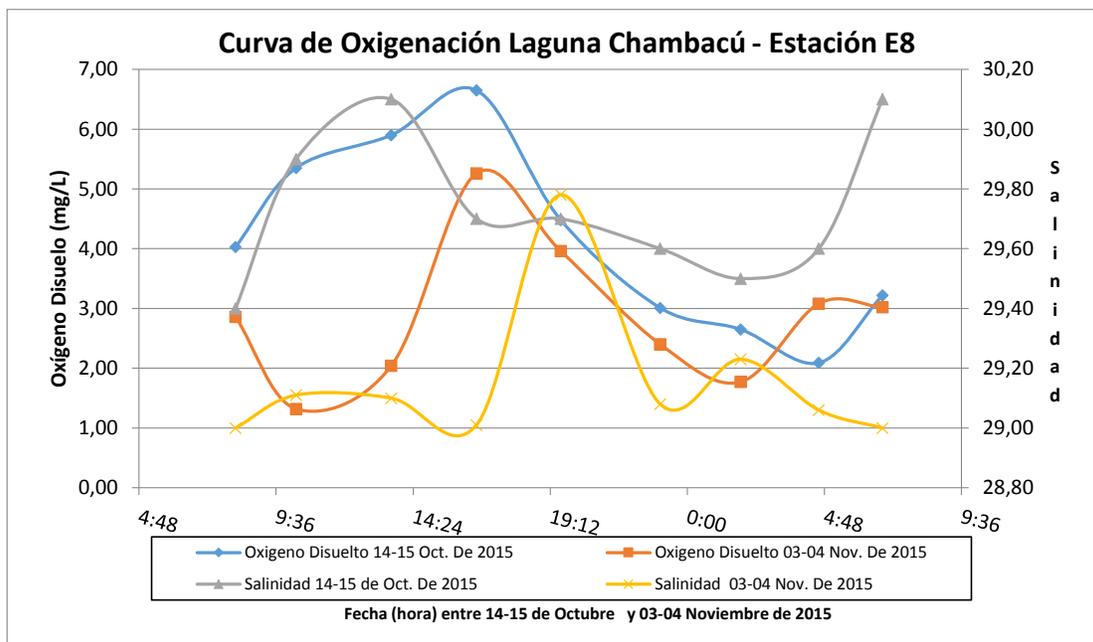


Figura 17. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E8 – Laguna Chambacú.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Laguna San Lázaro.**

Para la Laguna de San Lázaro se tienen tres (3) estaciones como se puede apreciar que en las Figura 18, Figura 19, Figura 20, y Anexo 2, para la campaña del 14-15 de Octubre la estación E11 – interconexión Laguna San Lázaro y Caño de Bazurto presento un comportamiento más proporcional al oxígeno disuelto durante las condiciones lumínicas y una baja proporción en ausencia de ella, a su vez una variación mínima en la temperatura y salinidad. Las estaciones E9 y E10 (punto central Laguna de San Lázaro e interconexión de Laguna de San Lázaro con la Bahía de Cartagena), presento un comportamiento más desproporcional en la línea de tiempo, producto de la variación de los niveles de columna de agua durante las primeras doce (12) horas (ver ítem 1.3.1), que generan una variación en espacio y tiempo de la salinidad, sin embargo para todos los casos se presentó unos excelentes procesos de oxigenación en todos el sistema.

Para la campaña del 03-04 de Noviembre de 2015 la estación E11 presentó un comportamiento más proporcional al oxígeno disuelto durante las condiciones lumínicas y una baja proporción en ausencia de ella, a su vez una variación mínima en la temperatura y salinidad en todo el tiempo medido, por su parte las estaciones E9 y E10, registró un comportamiento más desproporcional en la línea de tiempo, producto de la variación de los niveles de columna de agua durante las primeras 12 horas, que generan una variación en espacio y tiempo de la salinidad, por ende la conductividad, lo que a su vez interfiere en las condiciones de oxígeno disuelto; sin embargo para todos los casos se presentó unos excelentes procesos de oxigenación exceptuando la estación E11 que registró los menores valores (ver numeral 1.3 mediciones de nivel 14 de Octubre).

De igual forma a la primera salida, los valores del anemómetro de campo muestran ciertas variaciones durante las horas diurnas que permite una mejor trasferencia de oxígeno entre la capa de agua y la capa de aire al sistema y una ausencia en horas de la madrugada. Por su parte el pH y la conductividad no tuvieron variaciones representativas, en donde para el primero se encontró dentro del rango para uso recreativo del decreto 1594 de 1984.

Para todas las estaciones la segunda campaña de monitoreo refleja valores menores en comparación con la primera campaña, y se detalla con mayor claridad en el numeral 1.2.1.1.

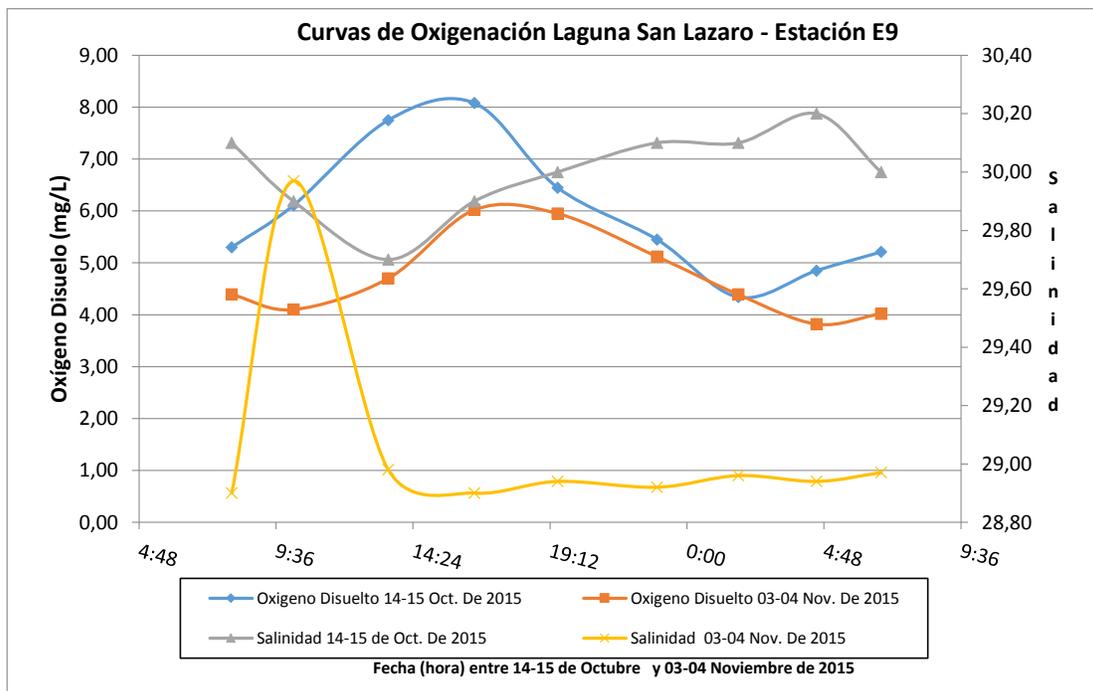


Figura 18. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E9 – Laguna San Lázaro.

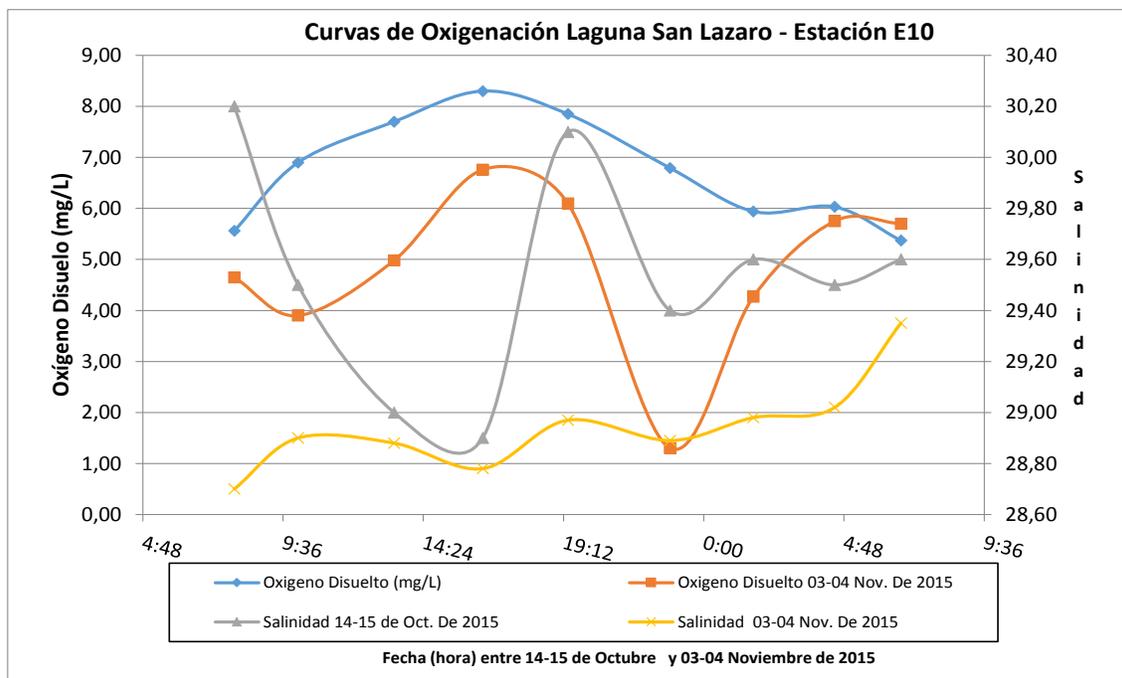


Figura 19. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E10 – Laguna San Lázaro.

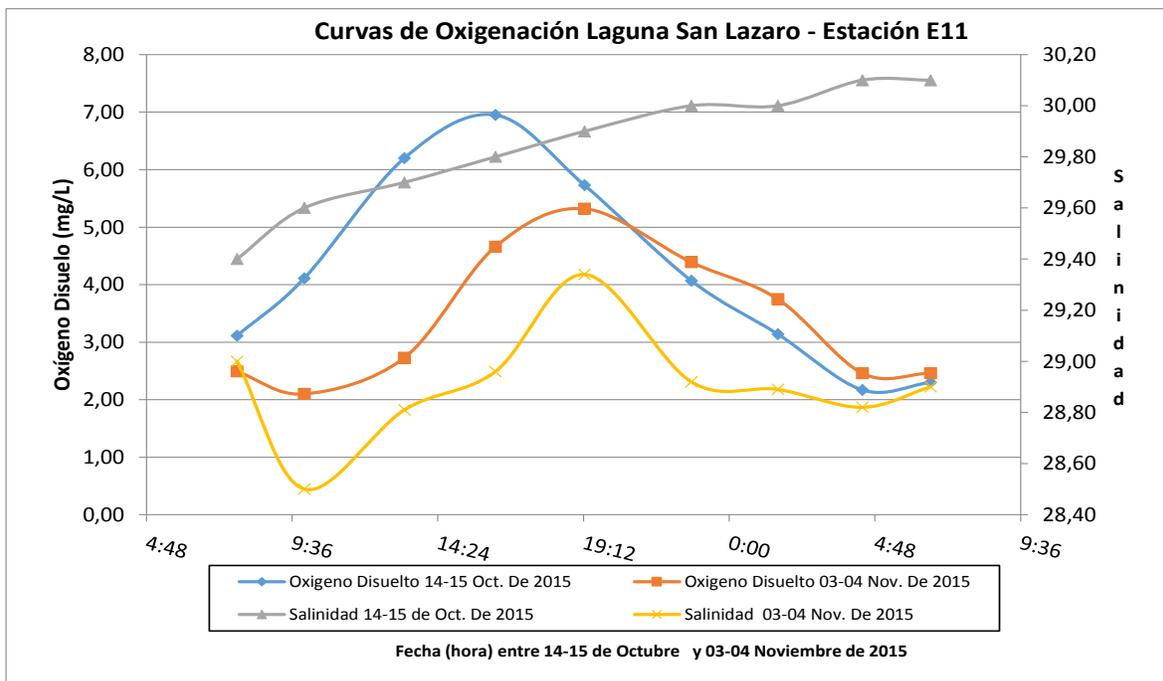


Figura 20. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E11 – Laguna San Lázaro.

- **Caño de Bazurto.**

Para el Caño de Bazurto se tienen dos (2) estaciones como se puede apreciar que en las Figura 21, Figura 22, y Anexo 2, la campaña de monitoreo realizada el 14-15 de Octubre de 2015 para la estación E12 – punto central Caño de Bazurto presentó un comportamiento más proporcional al oxígeno disuelto durante las condiciones lumínicas y una baja proporción en ausencia de ella, a su vez una variación mínima en la temperatura y salinidad, por su parte la estación E13 – interconexión entre Caño de Bazurto y Ciénaga de las Quintas presentó un comportamiento un poco atípico con respecto a la E12 pero con una marcada proporcionalidad a ella. Se mantuvieron las condiciones de velocidad de viento durante las jornadas diurnas con variaciones sutiles, mientras que las nocturnas con velocidades muy pocas e incluso nulas principalmente durante la madrugada.

Para la campaña de monitoreo realizada el 03-04 de Noviembre de 2015, la estación E12 y E13, presentaron un comportamiento más proporcional al oxígeno disuelto durante las condiciones lumínicas y una baja proporción en ausencia de ella, a su vez una variación mínima en la temperatura y salinidad. Los valores de pH cumplieron con la normatividad del decreto 1594 de 1984 para uso recreativo.

En este caso se presentó una situación particular en donde para todas las estaciones la primera campaña de monitoreo reflejó valores menores en comparación con la segunda campaña, y se detalla con mayor claridad en el numeral 1.2.1.1.

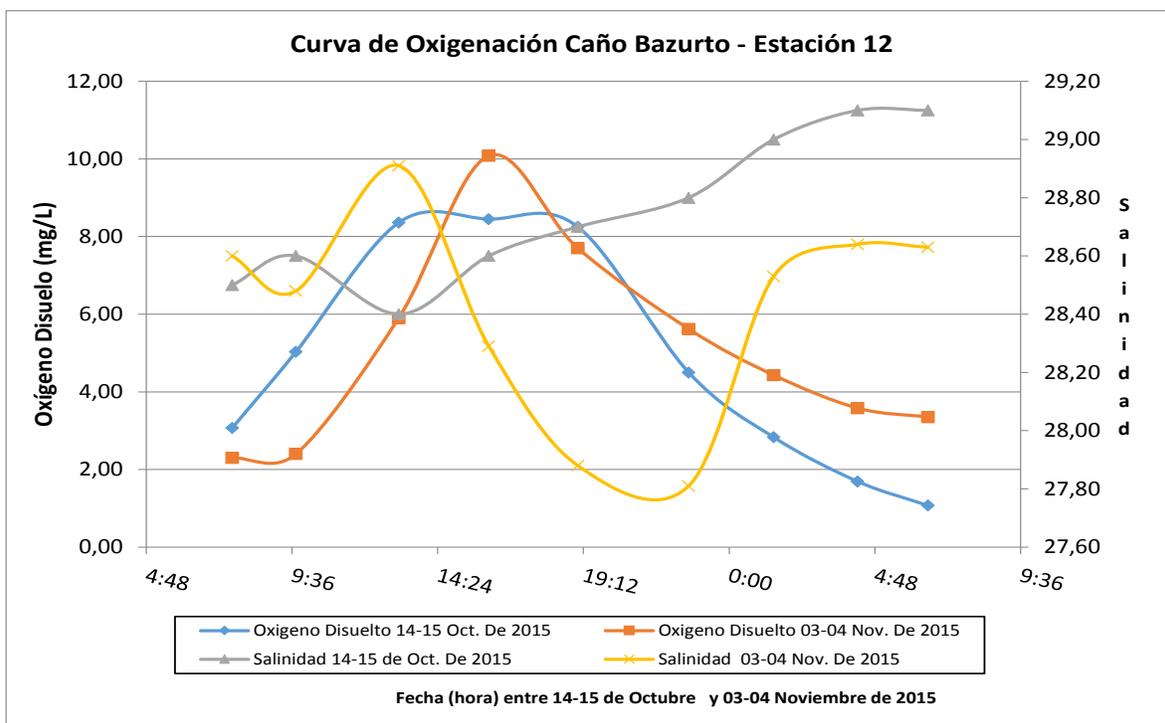


Figura 21. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E12 – Caño de Bazurto.

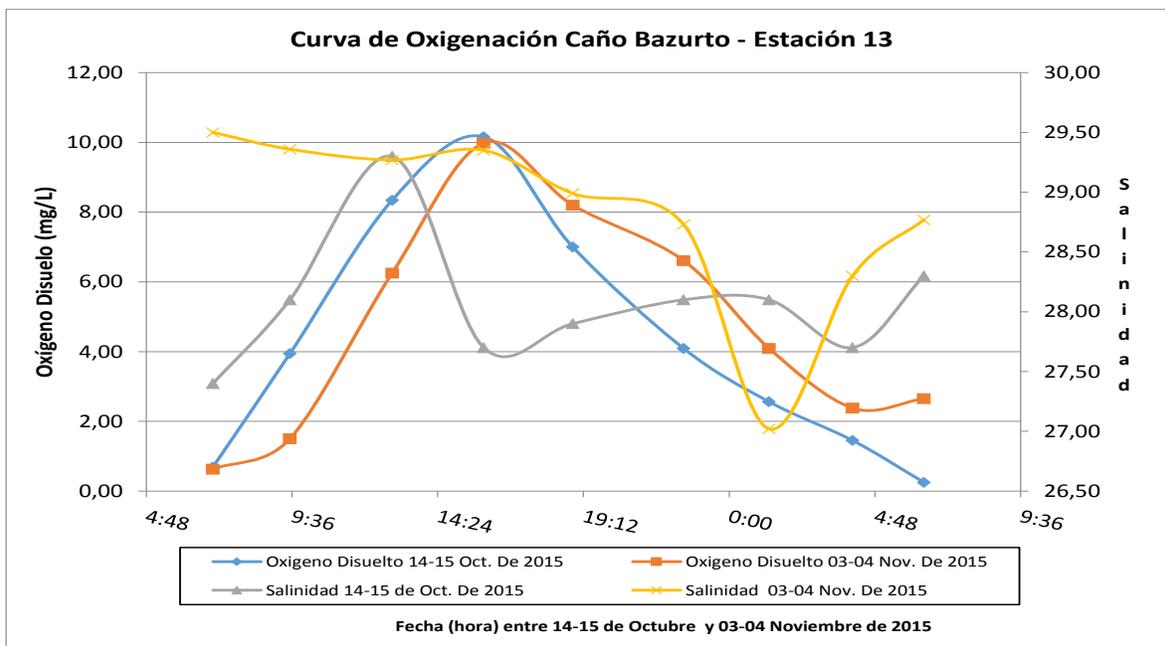


Figura 22. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E13 – Caño de Bazurto.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Ciénaga de las Quintas.**

Para la Ciénaga de las Quintas se tienen dos (2) estaciones como se puede apreciar que en las Figura 23, Figura 24 , y Anexo 2, para la campaña de monitoreo realizada el 14-15 de Octubre, la estación E14 – punto central Ciénaga de las Quintas presenta un comportamiento típico y proporcional para las horas con mayor luminosidad, sin embargo la salinidad y la temperatura presenta variaciones en toda la línea de tiempo, esto debido a la intrusión de agua salada por la cercanía con la Bahía de Cartagena y con mayor notoriedad cuando se da el ascenso de niveles que se presentan en el cuerpo de agua (ver ítem 1.3.1).

Por su parte para la segunda campaña de monitoreo realizada el 03-04 de Noviembre de 2015 la estación E14 – punto central Ciénaga de las Quintas presenta un comportamiento típico y proporcional para las horas con mayor luminosidad, sin embargo la salinidad y la temperatura presenta variaciones en toda la línea de tiempo, seguramente por la intrusión de agua salada dada la cercanía con la Bahía de Cartagena por el ascenso de niveles que se presentan en el cuerpo de agua, un comportamiento similar se presenta en la estación E15, sin embargo se da una proporción directa entre la temperatura y la salinidad en los diferentes aumento de estos tres componentes. El pH y la conductividad, en donde para el primero en la mayoría se encontró dentro del rango para uso recreativo del decreto 1594 de 1984. Se mantienen las condiciones de velocidad de viento durante las jornadas diurnas con variaciones, mientras que las nocturnas con velocidades muy pocas e incluso nulas durante la madrugada, lo cual demostró que no se presentó una buena transferencia de oxígeno entre la capa de aire y de agua en esos intervalos.

Para todas las estaciones la segunda campaña de monitoreo refleja valores menores en comparación con la primera campaña, y se detalla con mayor claridad en el numeral 1.2.1.1.

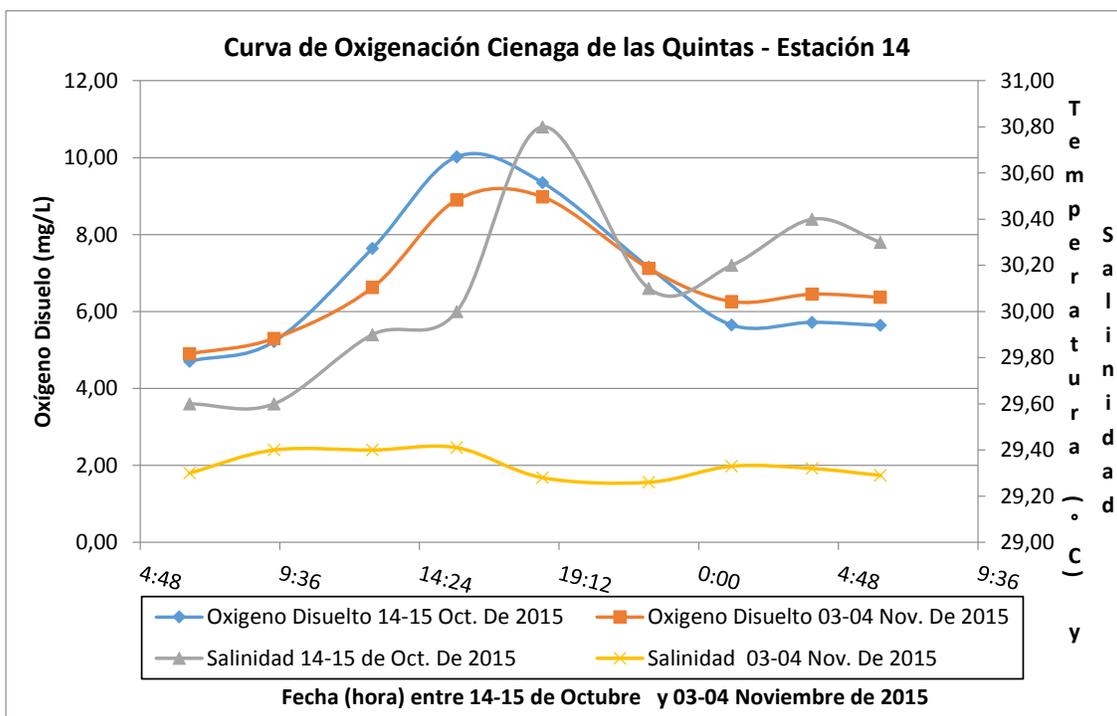


Figura 23. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E14 – Ciénaga de las Quintas.

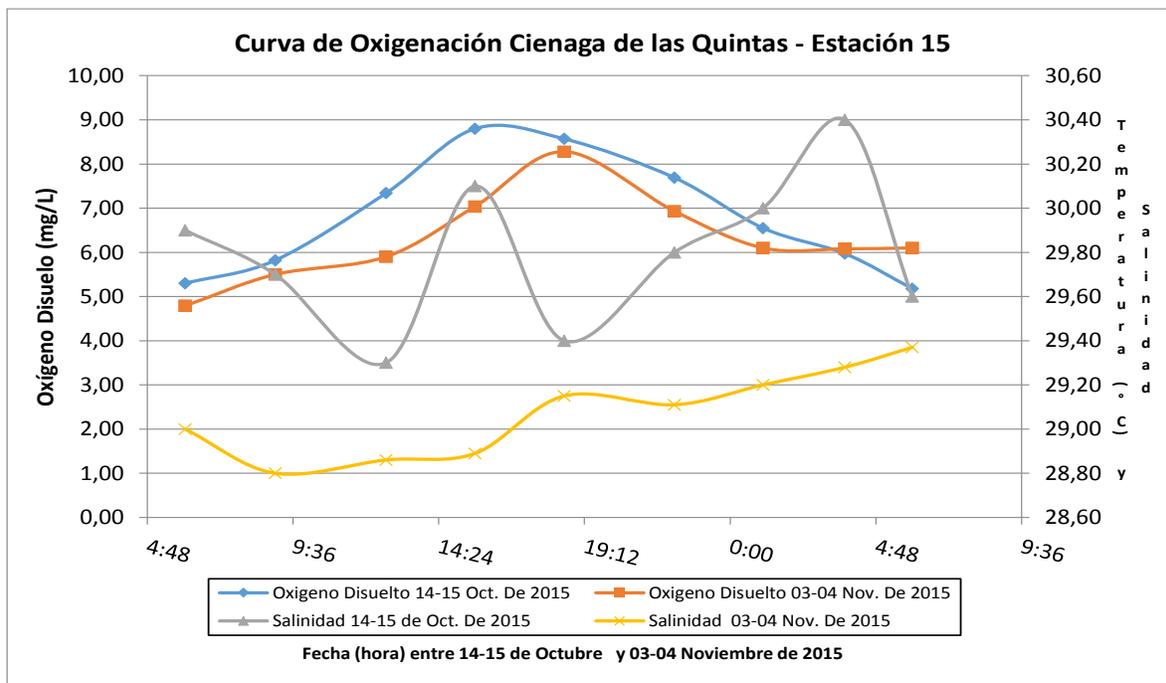


Figura 24. Curvas de Oxigenación Estación de Monitoreo E15 – Ciénaga de las Quintas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

1.2.1.3. Resultados de los Sedimentos del sistema de caños y Lagos.

Los resultados el componente de sedimento se evaluó siguiendo los criterios de la Tabla 6, donde se muestran los criterios de evaluaciones de las condiciones de calidad de sedimento, según normas internacionales del NOAA (1995) y US-GS (1997). A su vez, se pueden ver con más detalles en el componente biótico (ver númeroales 1.4.5 y 1.4.6). Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 6. Análisis de los resultados de los parámetros de sedimentos monitoreados el 29 de Septiembre de 2015.

Parámetro	Unidades	Evaluación de Calidad de Sedimento según el NOAA (1995) y US-GS (1997)	REGLA NEMOTECNICA PARA EVALUACIÓN Y ANALISIS		ESTACIONES			
		Valor máximo admisible que cause un efecto adverso s sobre los ecosistemas de tipo marino-estuarino	Cumple con la Norma en Análisis	NO Cumple con la Norma en Análisis	E1	E5	E9	E14
pH	UpH	-	-	-	8,7	8,9	8,92	8,94
Materia Orgánica	mg/kg	-	-	-	2257	2331	3700	2997
Sulfuros	mg/kg	-	-	-	492,8	333,4	423,04	810,2
Mercurio	mg/kg	Máx. 0,41	Máx. 0,41		<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.
Plomo	mg/kg	Máx. 450	Máx. 450		27,5	35,8	74,9	52

- **pH.**

De la Tabla 6 las estaciones analizadas presentan sedimentos en condiciones básicas con valores similares entre sí, lo que demuestra como las concentraciones de sal en la columna de agua se relacionan directamente con la capa de sedimentos, propios de estos sistemas estuarinos.

- **Materia Orgánica.**

De la Tabla 6 contenidos de materia orgánica, propio de la descomposición de capas vegetales en los alrededores de estos sistemas presentando los mayores valores en la estación E9 (centro de Laguna de San Lázaro) el cual presenta alta presencia de diversos tipos de organismos que al morir se descomponen en esta capa, por su parte los valores menores se presentaron en la estación E1 (Inicio del Canal Paralelo).

- **Mercurio y plomo.**

De la Tabla 6 para mercurio todas las estaciones presentan concentraciones debajo del límite de detección de la técnica implementada, ya que cumplen con los criterios del

NOAA (1995) y de la US-GS (1997) de valores máximos admisibles para evitar efectos adversos sobre ecosistemas estuarinos.

En la Figura 25 para plomo las concentraciones en todas las estaciones se encuentran debajo del valor máximo admisible de los criterios antes mencionados, este parámetro se encuentra íntimamente ligado a las concentraciones en columna de agua, sin embargo en ambos casos no superan las respectivas normas.

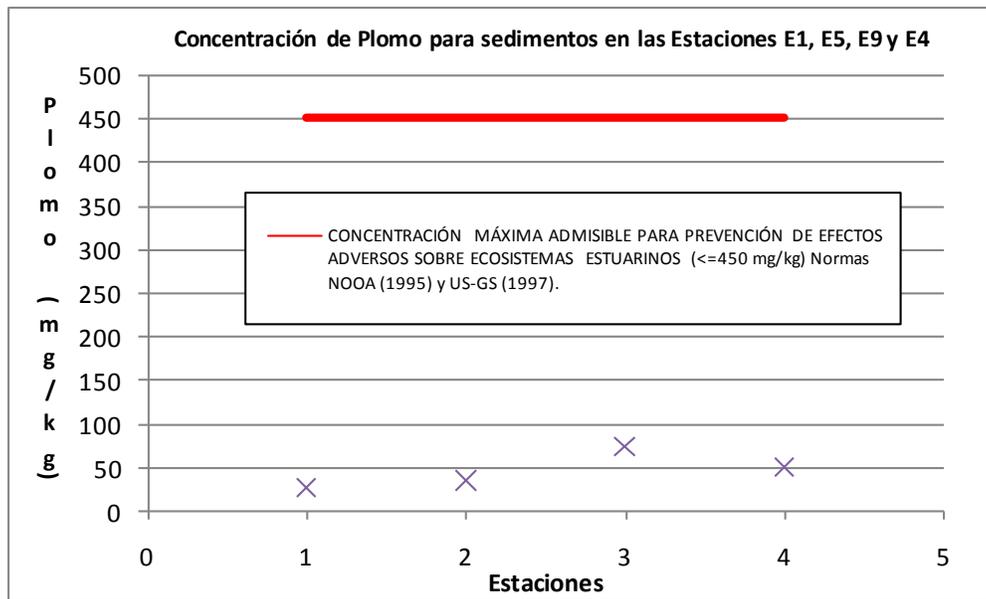


Figura 25. Resultados Plomo en la capa de sedimentos para las estaciones E1, E5, E9 y E4 del 29 de septiembre de 2015.

1.2.2. Análisis multitemporal de la evolución de la calidad del agua en el sistema de caños y lagos.

Para este análisis fue necesario organizar la información de las campañas de monitoreo realizadas por el presente estudio, junto con la información obtenida de las revisiones bibliográficas, de tal manera que quedaran agrupadas por cuerpos de agua, estaciones climáticas del año (Época seca, Época de Transición y Época de lluvia) y cronológicamente.

De esta forma fue posible evidenciar la evolución que ha experimentado en el tiempo y por estaciones del año, la calidad fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua del sistema de caños y lagos. Se presentan a continuación los resultados de los parámetros más representativos: DBO₅ coliformes Totales y Coliformes fecales.

Es preciso dejar claro que la información obtenida de fuentes bibliográficas no presenta uniformidad en los parámetros monitoreados, ni en las estaciones climáticas de medición,

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

no obstante permitió generar una idea representativa de lo que ha sucedido en el tiempo con la calidad fisicoquímica del sistema de caños y lagos.

1.2.2.1. Época seca y Época de lluvia.

- **Caño Juan Angola.**

El análisis multitemporal para este cuerpo de agua se puede apreciar en la Figura 26, Figura 27 y Figura 28, para la época seca la DBO₅ registró valores en el año 1982 del orden de 10 mg/L, los cuales aumentaron levemente en el año 1994 con 12 mg/L, posterior a la implementación de la bocana se tienen registros de 9 mg/L para el año 2006, un ligero aumento en el año 2007 con valores similares al 2008 (alrededor de 13 mg/L), nuevamente una disminución en el año 2010 (con valor similar al 2006) y una disminución en mayor medida para el año 2011, a su vez para las Coliformes totales en esta época no se obtuvieron registros previos a la implementación de la Bocana, donde registraron valores bajos en el año 2006 y 2007, un aumento en el año 2009 del orden de 1120000 NMP/100mL y nuevamente valores bajos en el registro de 2008. Por otro lado las Coliformes fecales al igual que las totales solo se tienen registros posteriores a la implementación de la Bocana, en el año 2007 con 7000 NMP/100mL y posterior a la puesta en marcha del emisario submarino donde registro valores desproporcionales del orden de 32000 NMP/100mL.

Si comparamos estos tres parámetros para la época seca con los criterios de la EPA de Estados Unidos y las consideraciones de Haskonnig (2001) para la DBO₅ para preservación de flora y fauna que eviten problemas de eutroficación ninguno de los años analizados cumplen dichos criterios, lo que se relaciona con los coliformes totales y coliformes fecales con valores altos por lo que no cumplen con la norma colombiana para usos recreativos.

Ahora bien si realizamos el mismo análisis para la época de lluvia podemos encontrar que para la DBO₅ registró valores altos en el año 1982 y 1983 con 49 mg/L y 12 mg/L, respectivamente, los cuales disminuyeron en el 2006 con 9 mg/L con la implementación de la bocana, un ligero aumento en el año 2007 con valores similares al 2008 (alrededor de 12 mg/L), nuevamente una disminución en el año 2010 (con valor similar al 2006) y una disminución para el año 2015 con un valor de 8 mg/L.

A su vez para las Coliformes totales en esta época solo se obtuvo un registro previo a la implementación de la Bocana en el año 1982 con valores del orden de 10000NMP/100mL, posteriormente en el año 2006 un valor del orden de 60000 NMP/100mL, un aumento en el año 2008 del orden de 225000 NMP/100mL, posterior a la implementación del emisario submarino se encontraron valores muy bajos con el resto de registros del orden de 500 NMP/100mL. Por otro lado las Coliformes fecales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana, en el año 2005 con 1000 NMP/100mL, en el 2007 con 11000 NMP/100mL, por último valores más bajos en los años 2008, 2009 y 2010 del

orden de 1000 NMP/100mL o menos. Si comparamos estos tres parámetros con los criterios de la EPA de Estados Unidos y las consideraciones de Haskonnig (2001) para la DBO₅ para preservación de flora y fauna que eviten problemas de eutroficación ninguno de los años analizados cumplen dichos criterios, lo que se relaciona con los coliformes totales y coliformes fecales con valores que no cumplen con la norma colombiana para usos recreativos.

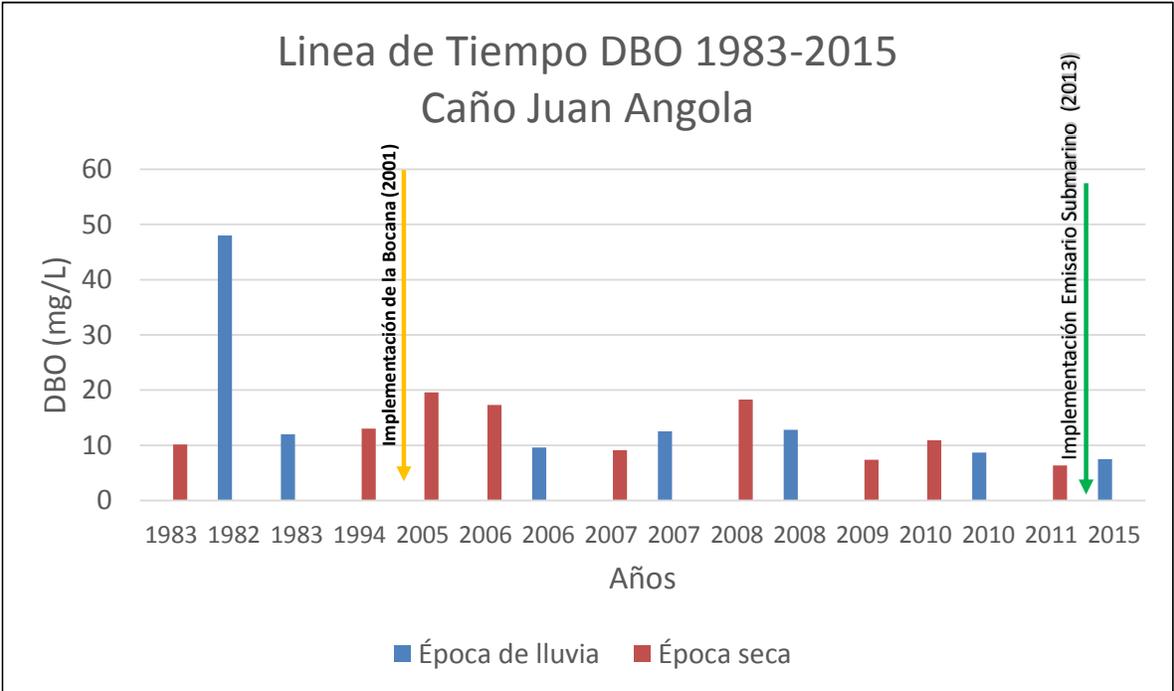


Figura 26. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para el Caño Juan Angola en época seca y de lluvia.

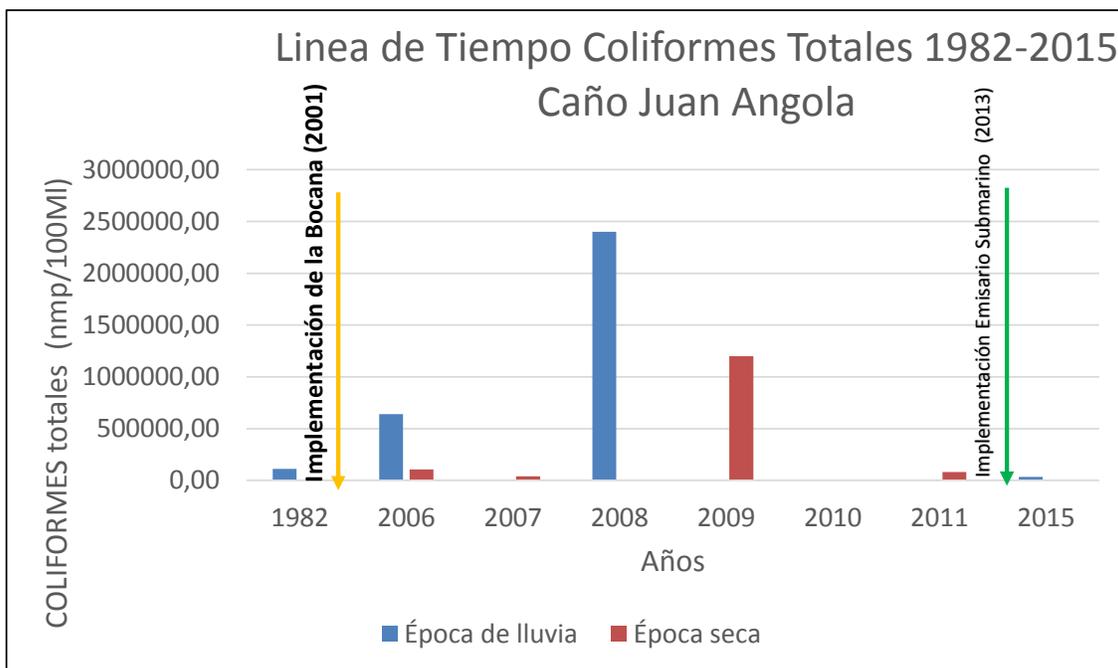


Figura 27. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para el Caño Juan Angola en época seca y de lluvia.

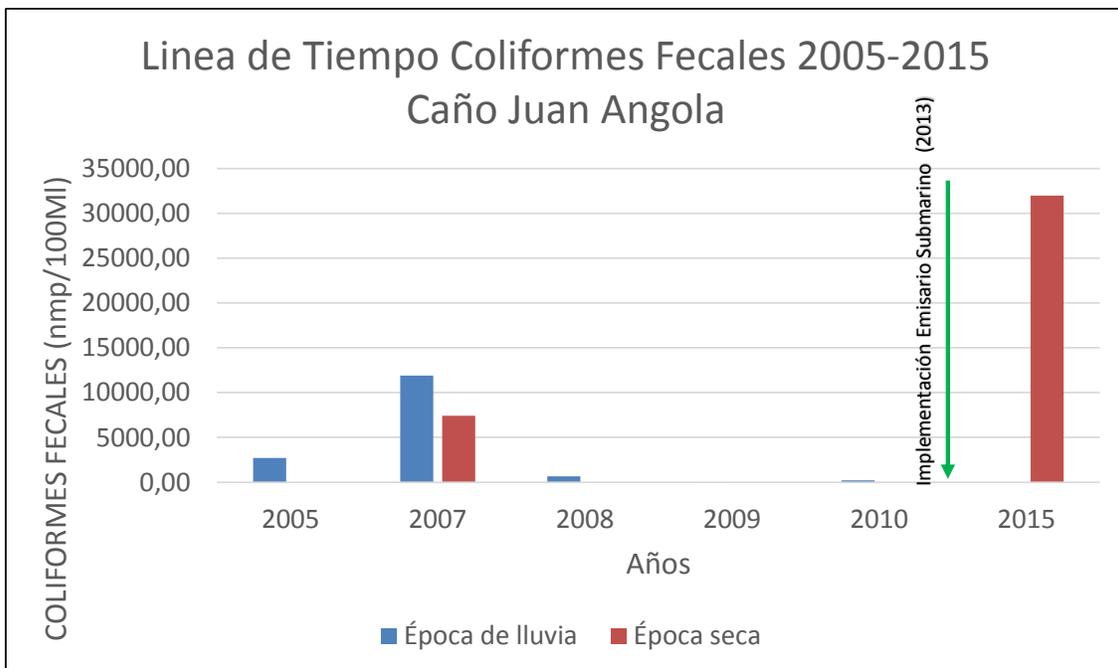


Figura 28. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para el Caño Juan Angola en época seca y de lluvia.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

❖ Laguna el Cabrero.

El análisis multitemporal para este cuerpo de agua se puede apreciar en la Figura 32, Figura 33 y Figura 34, se realizó siguiendo con los criterios de la EPA de Estados Unidos y las consideraciones de Haskonnig (2001) para la DBO₅ para preservación de flora y fauna que eviten problemas de eutroficación ninguno de los años analizados cumplen dichos criterios, por su parte los coliformes totales y coliformes fecales siguiendo el decreto 1594 de 1984 para usos recreativos. Para la época seca los valores de DBO₅ registró en el año 1983 del orden de 14 mg/L, los cuales disminuyeron levemente en el año 1994 con 11 mg/L, posterior a la implementación de la bocana se tienen registros de 9 mg/L para el año 2005, una ligera disminución en el año 2007 con valores de 8 mg/L, que se repite en el año 2009, nuevamente una disminución en mayor medida para el año 2010 con 4 mg/L (siendo este el único que cumplió los criterios del Water Quality Criteria del EPA-US, 2009 y los criterios de Haskonning, 2001), sin embargo para el año 2011 se da un incremento del orden de 60 mg/L, a su vez para las Coliformes totales no se obtuvieron registros previos a la implementación de la Bocana, donde registraron valores bajos en el año 2005 y 2007 del orden de 1100 NMP/100mL (cumpliendo para uso recreativo para secundario del decreto 1594 de 1984), una disminución en el año 2009 y 2010 con valores inferiores a 100 NMP/100mL (cumpliendo el uso recreativo primario de la misma norma). Por otro lado las Coliformes fecales al igual que las totales solo se tienen registros posteriores a la implementación de la Bocana, en el año 2007 con 900 NMP/100mL y 2008 con 100 NMP/100mL (este último cumple para uso recreativo contacto primario).

Ahora bien si realizamos el mismo análisis para la época de lluvia se pudo que la DBO₅ registró valores altos en el año 1983 con 9 mg/L, los cuales aumentaron levemente en el 2007 con la implementación de la Bocana con 10 mg/. En el año 2013 entra en funcionamiento el emisario submarino por lo cual se observó una disminución en el año 2015 con un valor de 4 mg/L (siendo el único que cumplió con los criterios de la EPA-US, 2009 y Haskonnin, 2001). Para las Coliformes totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 un valor del orden de 800 NMP/100mL (cumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma con del emisario submarino en el año 2013 se encontró un valor del orden de 80000 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984). Las Coliformes fecales al igual que las totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 con un valor del orden de 800 NMP/100mL (incumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma en el año 2015 posterior a la puesta en marcha del emisario submarino con de 80000 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984).

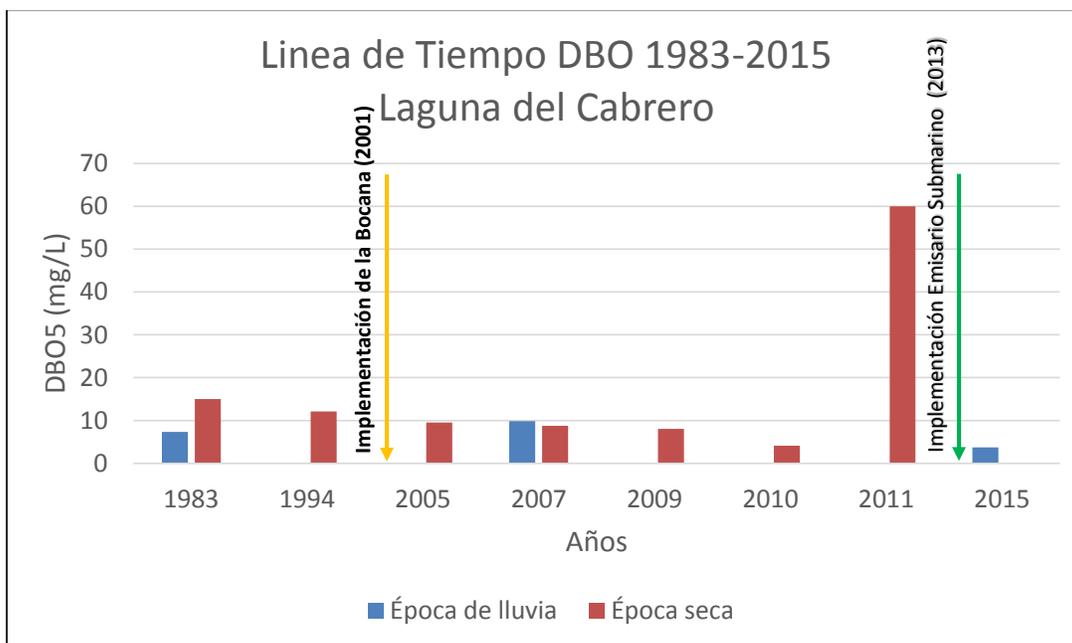


Figura 29. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Laguna el Cabrero en época seca y de lluvia.

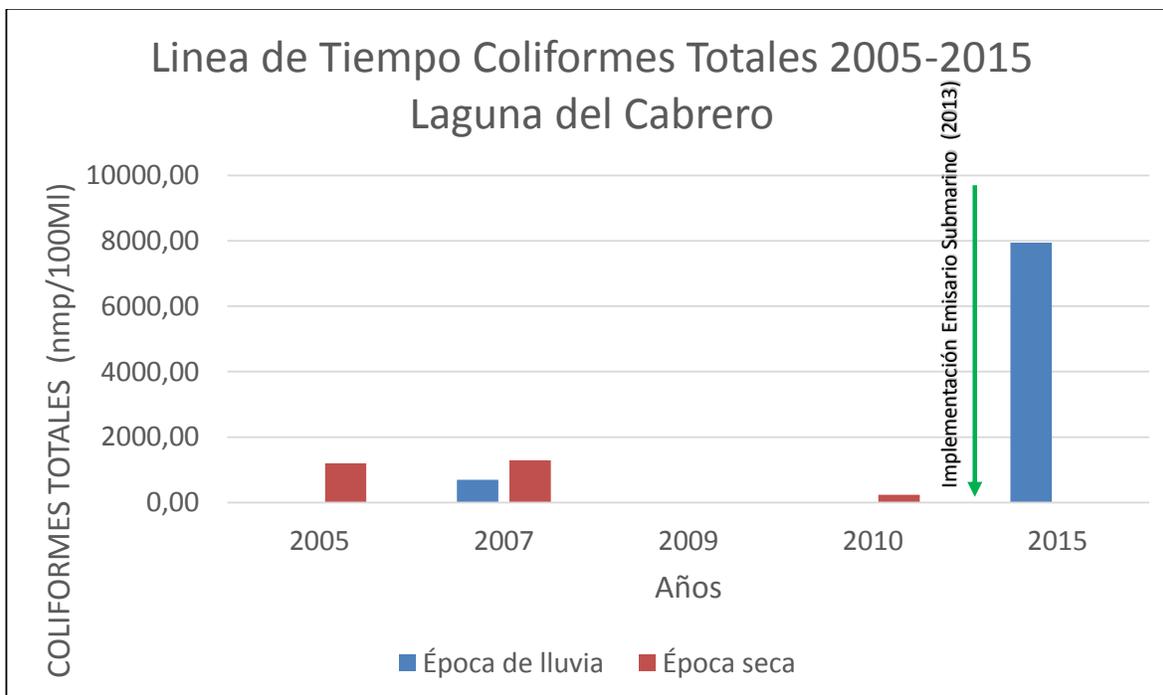


Figura 30. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para la Laguna el Cabrero en época seca y de lluvia.

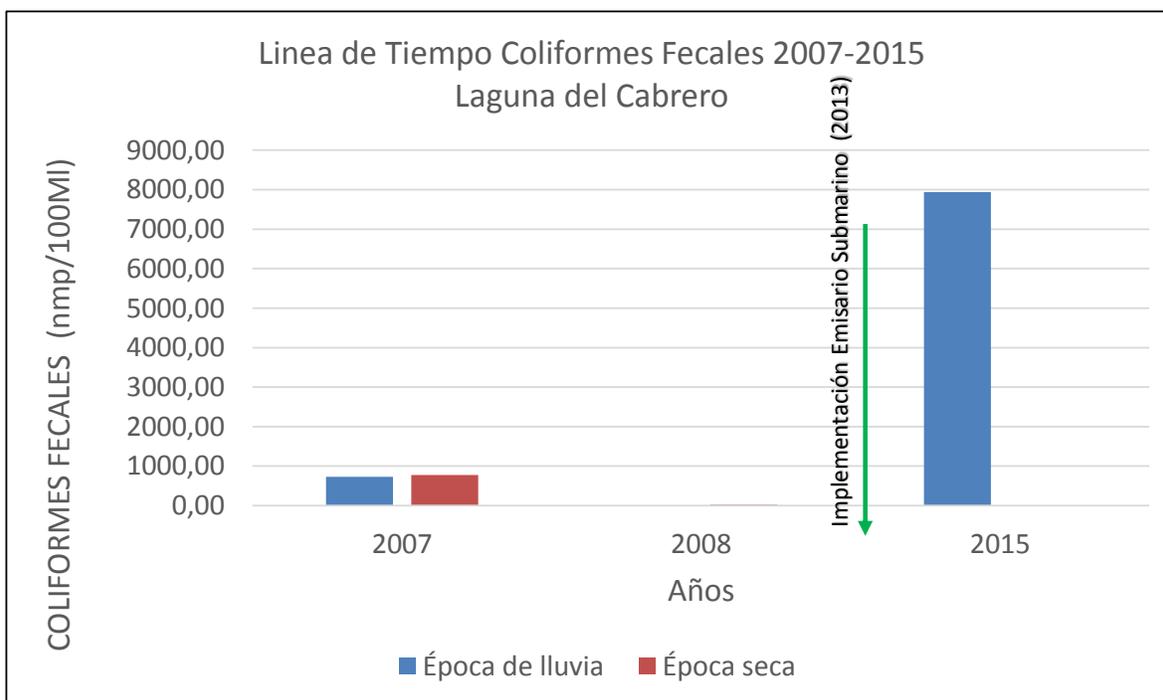


Figura 31. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para la Laguna el Cabrero en época seca y de lluvia.

- **Laguna el Cabrero.**

El análisis multitemporal para este cuerpo de agua se puede apreciar en la Figura 32, Figura 33 y Figura 34, se realizó siguiendo con los criterios de la EPA de Estados Unidos y las consideraciones de Haskonnig (2001) para la DBO5 para preservación de flora y fauna que eviten problemas de eutroficación ninguno de los años analizados cumplen dichos criterios, por su parte los coliformes totales y coliformes fecales siguiendo el decreto 1594 de 1984 para usos recreativos. Para la época seca los valores de DBO5 registró en el año 1983 del orden de 14 mg/L, los cuales disminuyeron levemente en el año 1994 con 11 mg/L, posterior a la implementación de la bocana se tienen registros de 9 mg/L para el año 2005, una ligera disminución en el año 2007 con valores de 8 mg/L, que se repite en el año 2009, nuevamente una disminución en mayor medida para el año 2010 con 4 mg/L (siendo este el único que cumplió los criterios del Water Quality Criteria del EPA-US, 2009 y los criterios de Haskonning, 2001), sin embargo para el año 2011 se da un incremento del orden de 60 mg/L, a su vez para las Coliformes totales no se obtuvieron registros previos a la implementación de la Bocana, donde registraron valores bajos en el año 2005 y 2007 del orden de 1100 NMP/100mL (cumpliendo para uso recreativo para secundario del decreto 1594 de 1984), una disminución en el año 2009 y 2010 con valores inferiores a 100 NMP/100mL (cumpliendo el uso recreativo primario de la misma norma). Por otro lado las Coliformes fecales al igual que las totales solo se

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

tienen registros posteriores a la implementación de la Bocana, en el año 2007 con 900 NMP/100mL y 2008 con 100 NMP/100mL (este último cumple para uso recreativo contacto primario).

Ahora bien si realizamos el mismo análisis para la época de lluvia se pudo que la DBO₅ registró valores altos en el año 1983 con 9 mg/L, los cuales aumentaron levemente en el 2007 con la implementación de la Bocana con 10 mg/. En el año 2013 entra en funcionamiento el emisario submarino por lo cual se observó una disminución en el año 2015 con un valor de 4 mg/L (siendo el único que cumplió con los criterios de la EPA-US, 2009 y Haskonnin, 2001). Para las Coliformes totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 un valor del orden de 800 NMP/100mL (cumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma con del emisario submarino en el año 2013 se encontró un valor del orden de 80000 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984). Las Coliformes fecales al igual que las totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 con un valor del orden de 800 NMP/100mL (incumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma en el año 2015 posterior a la puesta en marcha del emisario submarino con de 80000 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984).

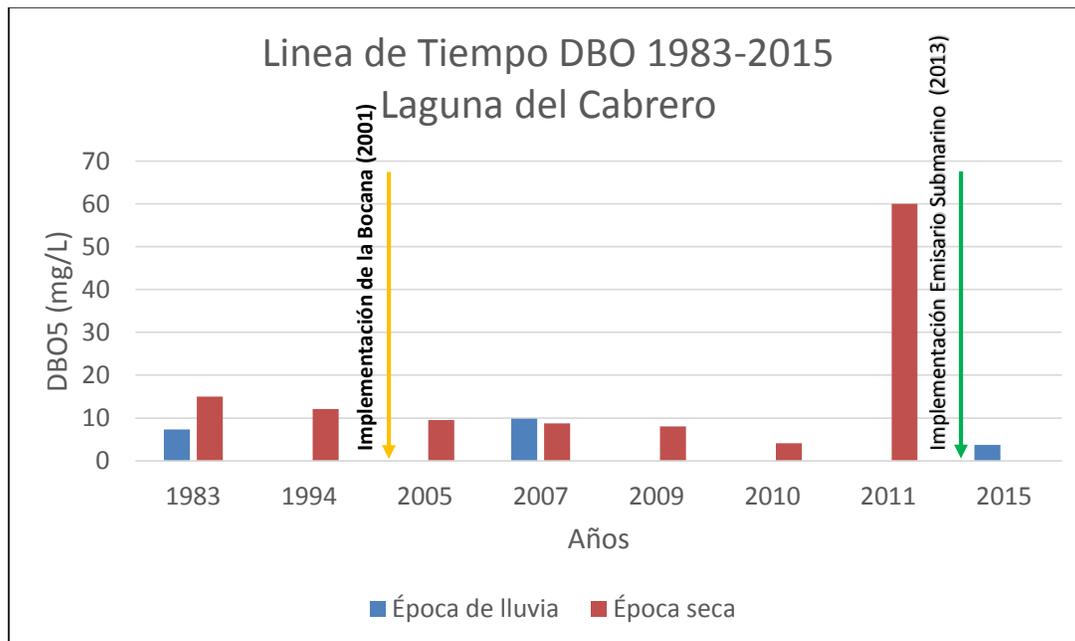


Figura 32. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Laguna el Cabrero en época seca y de lluvia.

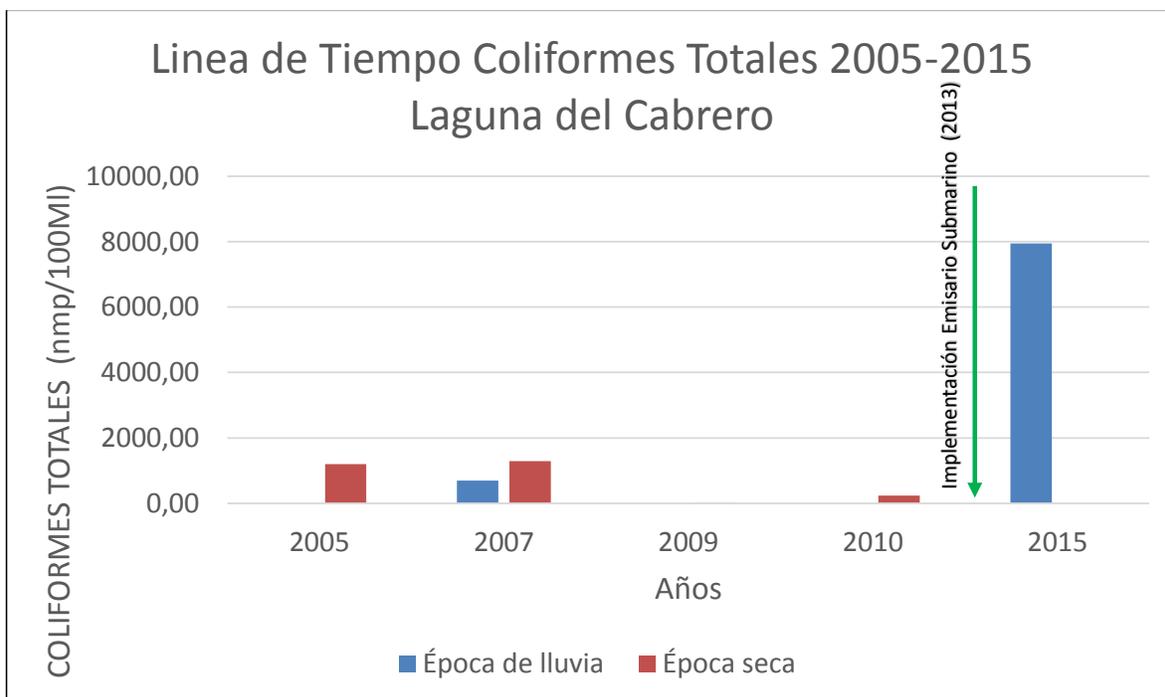


Figura 33. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para la Laguna el Cabrero en época seca y de lluvia.

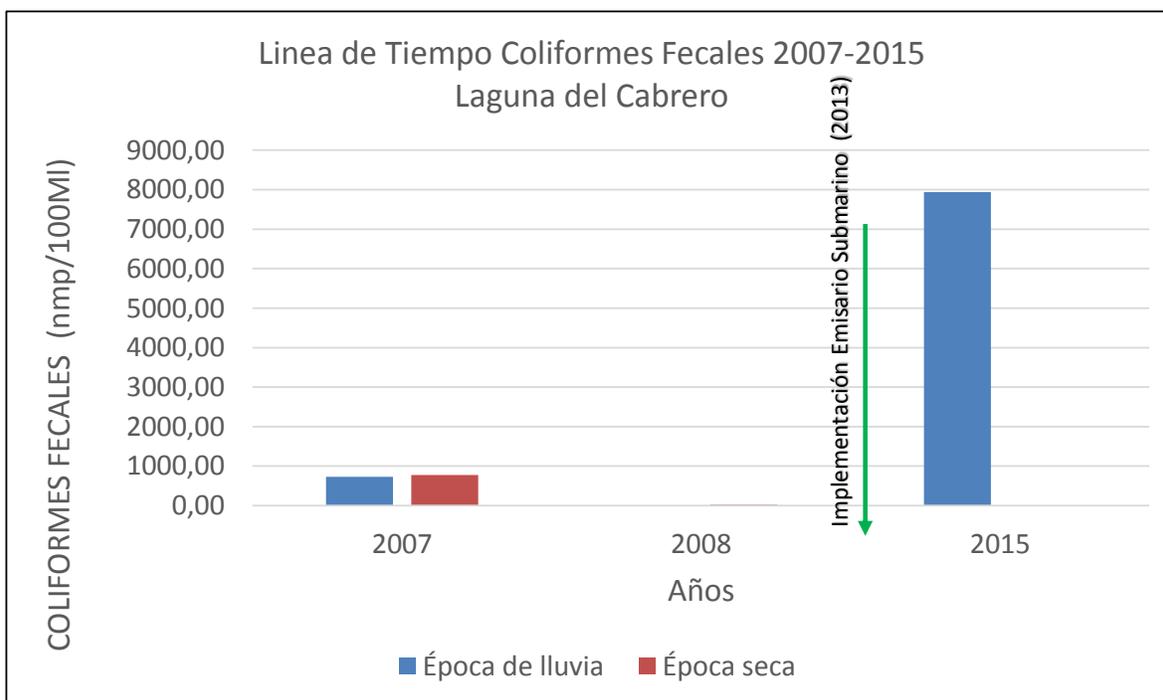


Figura 34. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para la Laguna el Cabrero en época seca y de lluvia.

- **Laguna Chambacú.**

El análisis multitemporal para este cuerpo de agua se puede apreciar en la Figura 35, Figura 36 y Figura 37, se realizó siguiendo con los criterios de la EPA de Estados Unidos y las consideraciones de Haskonnig (2001) para la DBO₅ para preservación de flora y fauna que eviten problemas de eutroficación ninguno de los años analizados cumplen dichos criterios, por su parte los coliformes totales y coliformes fecales siguiendo el decreto 1594 de 1984 para usos recreativos. Para la época seca los valores de DBO₅ registró en el año 1983 del orden de 9 mg/L, los cuales disminuyeron levemente en el año 1994 con 8 mg/L, posterior a la implementación de la bocana se tienen registros de 9 mg/L para el año 2005, una disminución en el año 2007 con valores de 3 mg/L, año 2008 con 1,8 mg/L y un aumento para el año 2009 con 4,4 mg/L (estos tres últimos cumplieron los criterios del Water Quality Criteria del EPA-US, 2009 y los criterios de Haskonning, 2001), para las Coliformes totales solo obtuvieron información con valores en posterior a la implementación de la Bocana en el año 2007 con 2000 NMP/100mL (cumpliendo con la norma para uso recreativo para contacto secundario), mientras que para las Coliformes fecales no se obtuvieron registros previos a la implementación de la Bocana, donde registraron valores bajos en el año 2007 y 2008 del orden de 1480 NMP/100mL y 1500 NMP/100mL, una disminución total en el año 2009 del orden de 30 NMP/100mL (siendo el

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

único que cumplió con la norma para uso recreativo para contacto primario) y 2010 con valores de 500 NMP/100mL.

Ahora bien si realizamos el mismo análisis para la época de lluvia la DBO₅ registró valores en el año 1983 con 8,2 mg/L, los cuales aumentaron levemente en el 2007 posterior a la implementación de la Bocana con 9,8 mg/, luego en el año 2015 con un valor de 2,5 mg/L (siendo el único que cumplió con los criterios de la EPA-US, 2009 y Haskonnin, 2001). Para las Coliformes totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 un valor del orden de 2000 NMP/100mL (cumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto secundario), de igual forma con la puesta en marcha del emisario submarino en el año 2013 se encontró un valor del orden de 40 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984). Las Coliformes fecales al igual que las totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 con un valor del orden de 2000 NMP/100mL (incumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma en el año 2015 posterior a la puesta en marcha del emisario submarino con de 17000 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984).

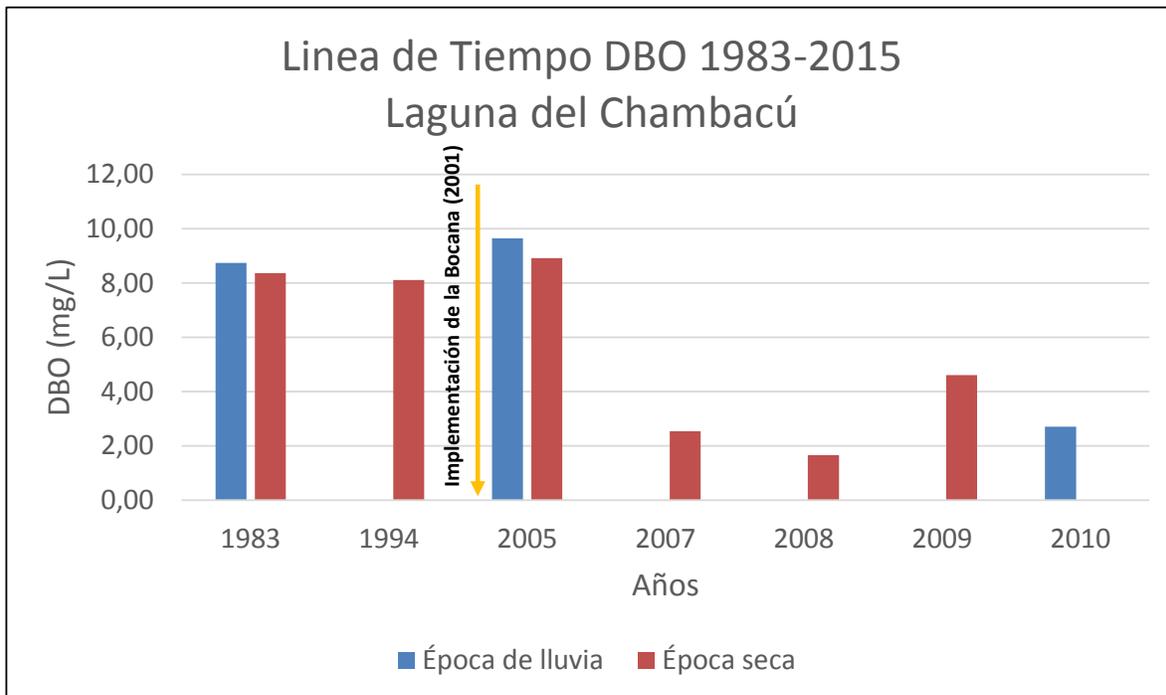


Figura 35. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Laguna Chambacú en época seca y de lluvia.

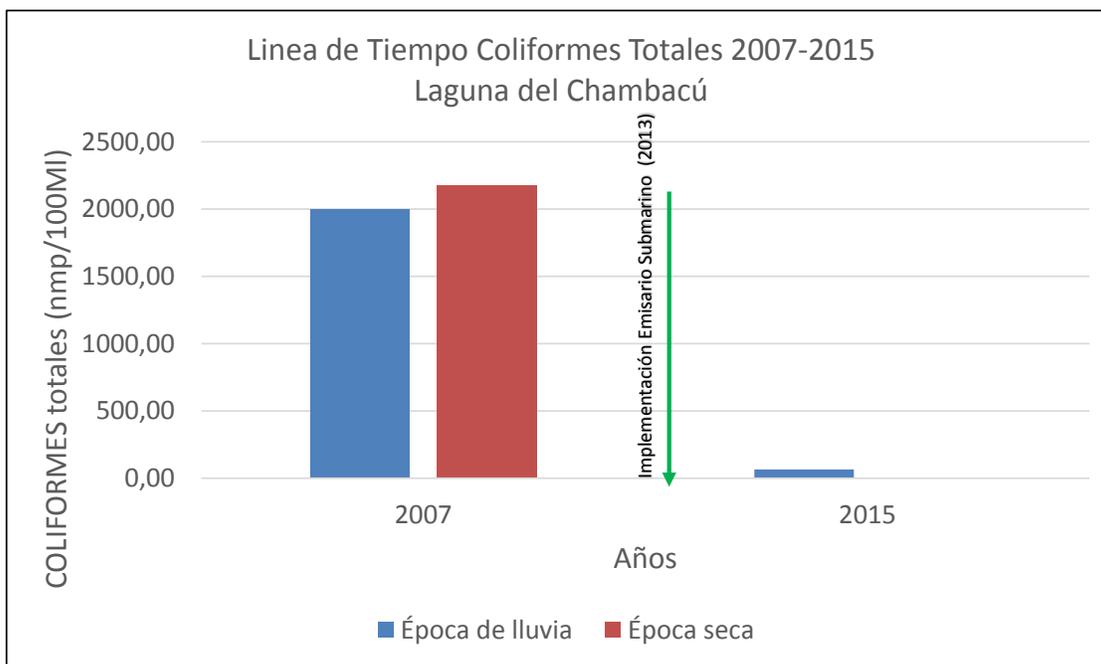


Figura 36. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para la Laguna Chambacú en época seca y de lluvia.

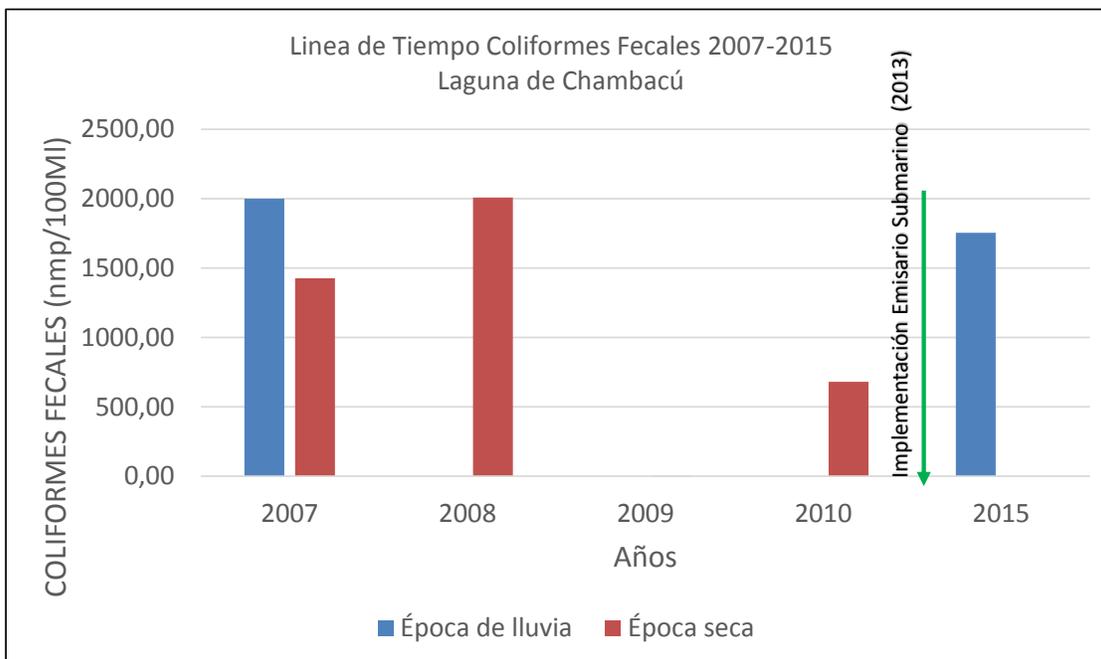


Figura 37. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para la Laguna Chambacú en época seca y de lluvia.

- **Caño de Bazurto.**

El análisis multitemporal para este cuerpo de agua se puede apreciar en la Figura 38, Figura 39 y Figura 40, se realizó siguiendo con los criterios de la EPA de Estados Unidos y las consideraciones de Haskonnig (2001) para la DBO₅ para preservación de flora y fauna que eviten problemas de eutroficación, por su parte los coliformes totales y coliformes fecales siguiendo el decreto 1594 de 1984 para usos recreativos. Para la época seca los valores de DBO₅ registró en el año 1983 del orden de 11 mg/L, los cuales disminuyeron levemente en el año 1994 con 6,1 mg/L, posterior a la implementación de la bocana se tienen registros de 12,2 mg/L para el año 2007 (ninguno cumplieron con los criterios del Water Quality Criteria del EPA-US, 2009 y los criterios de Haskonning, 2001), para las Coliformes totales y fecales no se obtuvieron registros para la época seca.

Ahora bien si realizamos el mismo análisis para la época de lluvia la DBO₅ registró valores en el año 1983 con 9 mg/L, los cuales disminuyeron levemente en el 1994 previo a la implementación de la Bocana con 5,8 mg/L (cumpliendo con el criterio de EPA-US, 2009 y Haskonnin, 2001), luego con la puesta en marcha del emisario submarino en el año 2015 obtuvo 8,2 mg/L. Para las Coliformes totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 un valor del orden de 7900 NMP/100mL, de igual forma con la puesta en marcha del emisario submarino en el año 2013 se encontró un valor del orden de 150 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984). Las Coliformes fecales al igual que las totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 con un valor del orden de 1998 NMP/100mL (incumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma en el año 2015 posterior a la puesta en marcha del emisario submarino con de 40 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984).

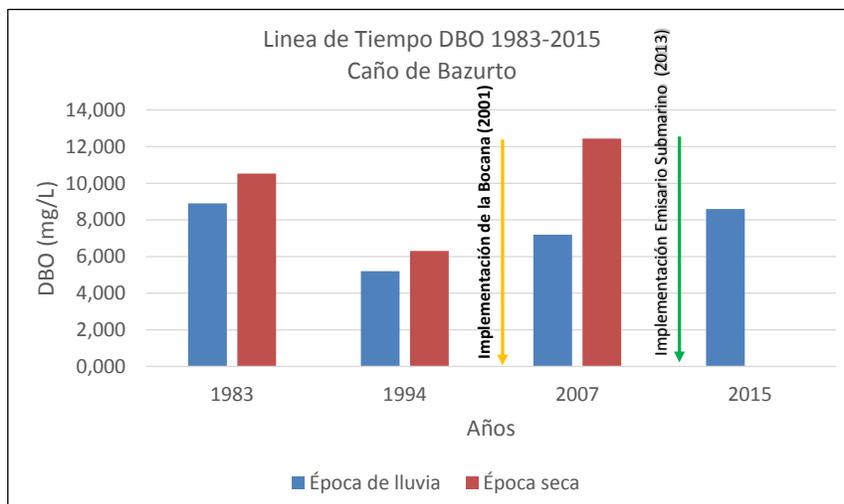


Figura 38. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia.

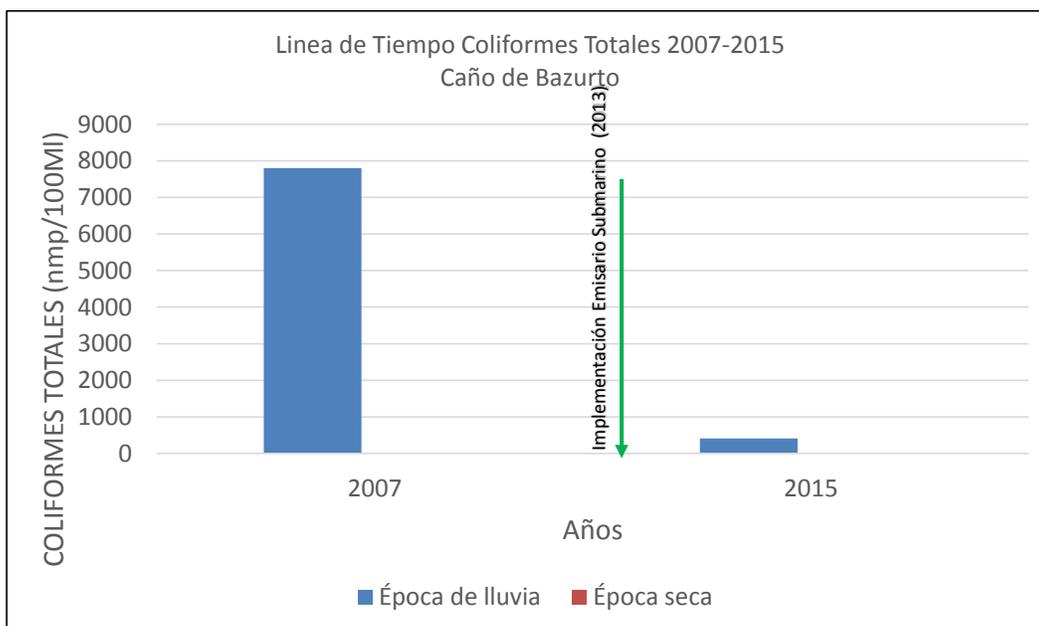


Figura 39. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia.

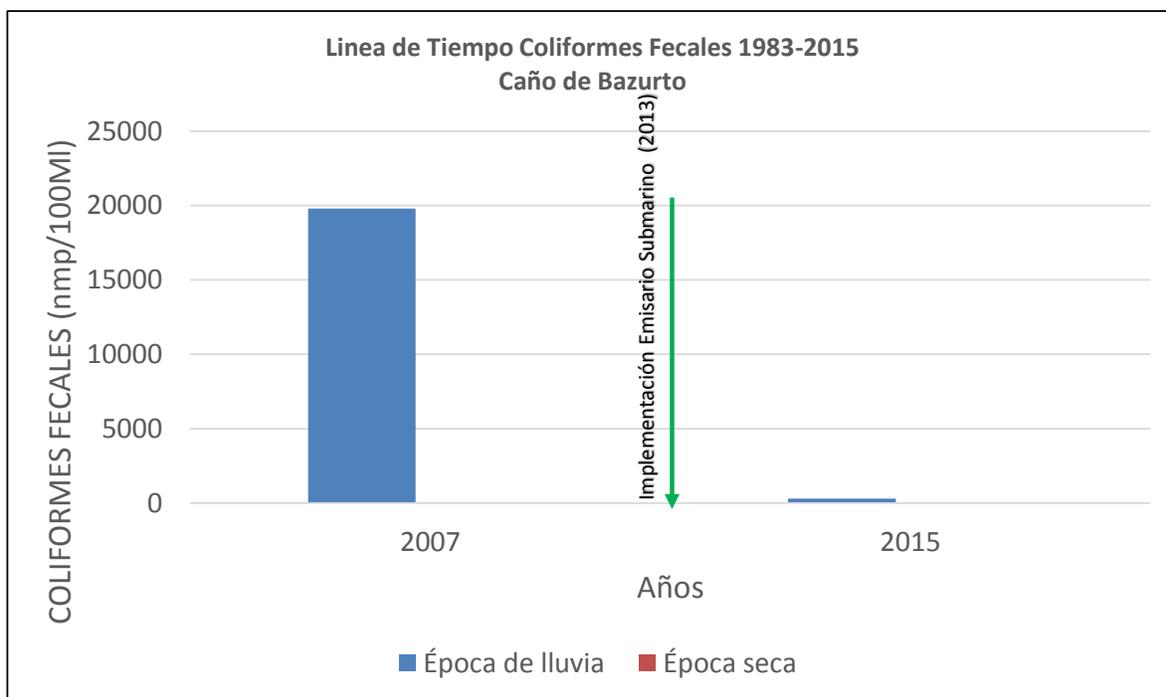


Figura 40. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Ciénaga de las Quintas.**

El análisis multitemporal para este cuerpo de agua se puede apreciar en la Figura 41, Figura 42 y Figura 43, se realizó siguiendo con los criterios de la EPA de Estados Unidos y las consideraciones de Haskonnig (2001) para la DBO5 para preservación de flora y fauna que eviten problemas de eutroficación, por su parte los coliformes totales y coliformes fecales siguiendo el decreto 1594 de 1984 para usos recreativos. Para la época seca los valores de DBO₅ registró en el año 1983 del orden de 6,2 mg/L, los cuales disminuyeron levemente en el año 1994 con 3,8 mg/L, posterior a la implementación de la bocana se tienen registros de 8,2 mg/L en el año 2007, en el año 2008 con 3,9 mg/L, para el año 2009 con 3 mg/L (estos tres últimos cumplieron los criterios del Water Quality Criteria del EPA-US, 2009 y los criterios de Haskonning, 2001), en el año 2010 con 8,4 mg/L. Para las Coliformes totales solo obtuvieron información con valores en posterior a la implementación de la Bocana en el año 2007 con 2500 NMP/100mL (cumpliendo con la norma para uso recreativo para contacto secundario), mientras que para las Coliformes fecales no se obtuvieron registros previos a la implementación de la Bocana, en el año 2007 con 2750 NMP/100mL una disminución total en los años 2008, 2009 del orden de 150 NMP/100mL (cumpliendo con la norma para uso recreativo para contacto primario) y 2010 con valores de 250 NMP/100mL.

Ahora bien si realizamos el mismo análisis para la época de lluvia la DBO₅ registró valores en el año 1983 con 6,4 mg/L, los cuales disminuyeron en el 2007 posterior a la implementación de la Bocana con 5,5 mg/, luego en el año 2015 con la puesta en marcha del emisario submarino registró un valor de 4,5 mg/L (estos dos últimos cumplieron con los criterios de la EPA-US, 2009 y Haskonnin, 2001). Para las Coliformes totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 un valor del orden de 600 NMP/100mL (cumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma con la puesta en marcha del emisario submarino en el año 2013 se encontró un valor del orden de 400 NMP/100mL (por lo cual no cumple con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario). Las Coliformes fecales al igual que las totales solo se obtuvieron registros posteriores a la implementación de la Bocana en el año 2007 con un valor del orden de 2750 NMP/100mL (incumpliendo con el decreto 1594 de 1984 para contacto primario), de igual forma en el año 2015 posterior a la puesta en marcha del emisario submarino con de 100 NMP/100mL (por lo cual cumple con el decreto 1594 de 1984).

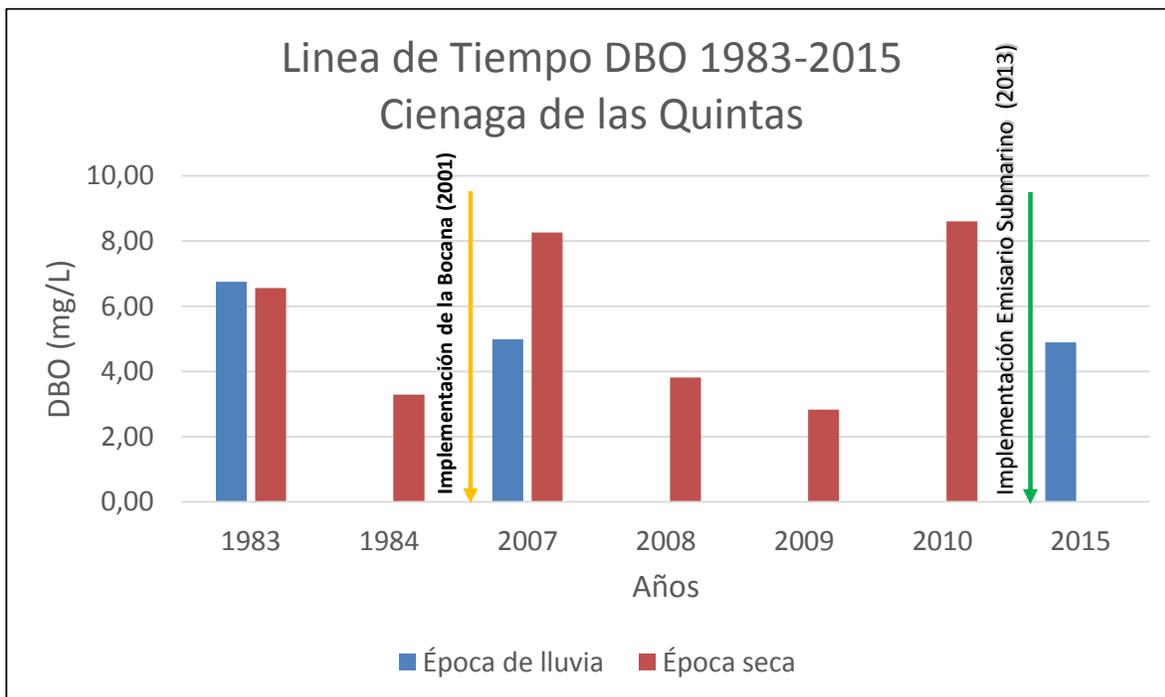


Figura 41. Variación en línea de tiempo de la DBO₅ para la Ciénaga de las Quintas en época seca y de lluvia.

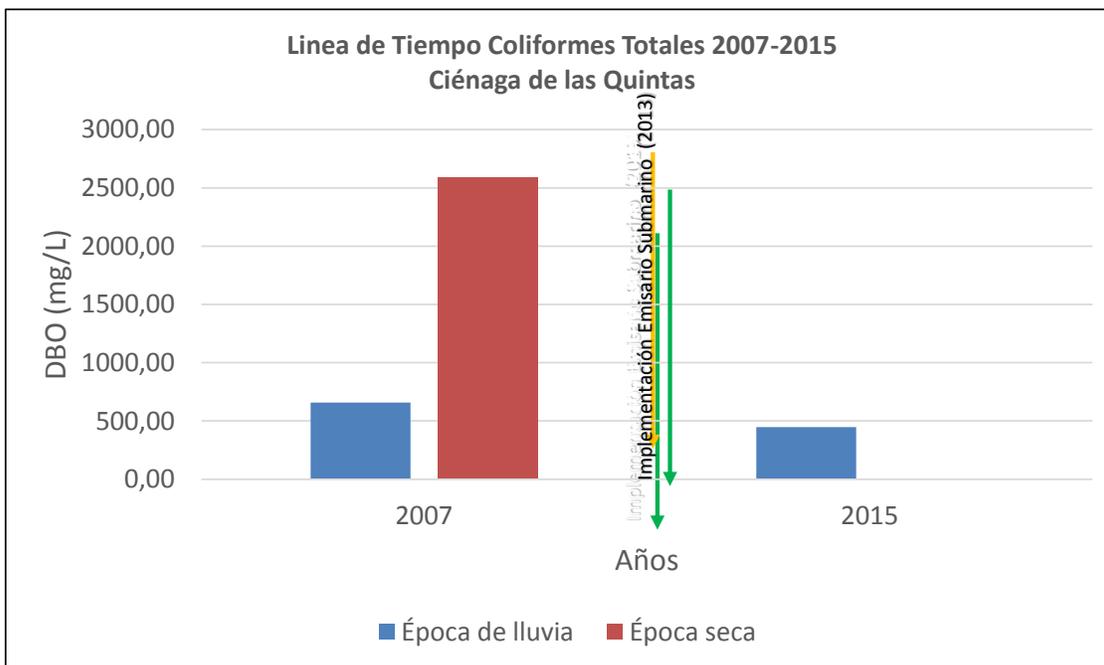


Figura 42. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Totales la Ciénaga de las Quintas en época seca y de lluvia.

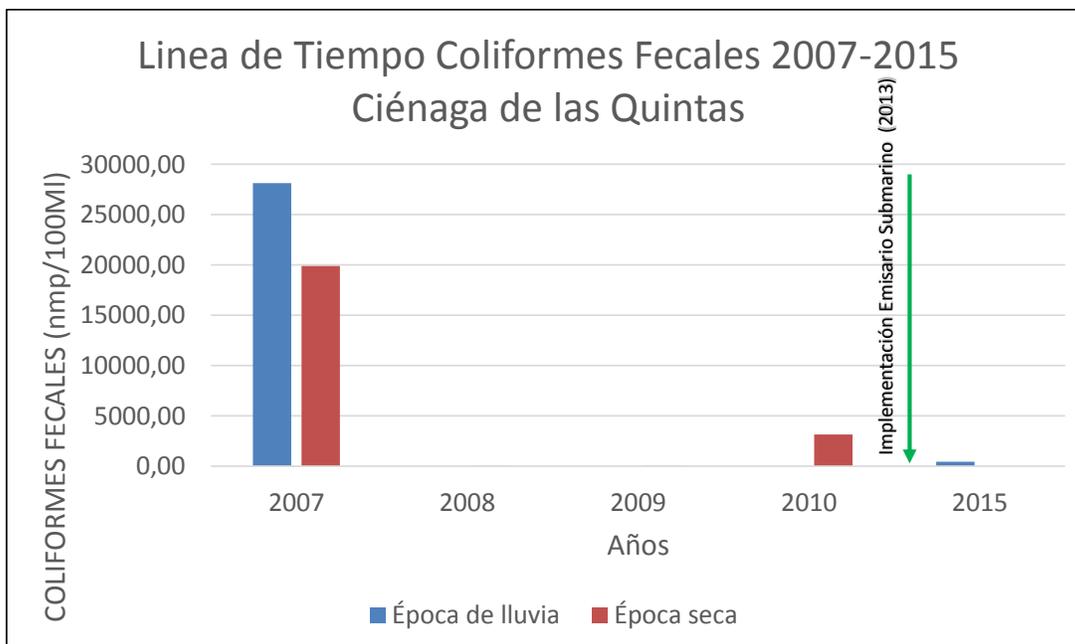


Figura 43. Variación en línea de tiempo de los Coliformes Fecales para el Caño de Bazurto en época seca y de lluvia.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

1.2.3. Análisis del cálculo de indicadores de calidad de agua

Con el propósito de consolidar el estado de la calidad de agua de sistema de caños y lagos se midieron Se utilizaron varios Índices de Calidad de Agua (ICA) de acuerdo a lo contemplado en el tomo de generalidades indicadores, a partir de diferentes entidades para evaluar la calidad del agua en los diferentes cuerpos de agua del sistema de caños y lagos para cada estación de muestreo realizada tanto para la jornada de la mañana como en la jornada de la tarde, para ambas campañas de mediciones (29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015, como se presentan a continuación: Índice de Calidad de Agua Marino Costeras para Preservación de Flora y Fauna – ICAM_{PFF} (Invemar, 2014) e Índice de Calidad de Agua Continental (IDEAM, 2012).

Los resultados y análisis de cada uno de ellos se muestran a continuación.

1.2.3.1 Índice de Calidad de Agua Marina Costera para Preservación de Flora y Fauna (ICAM_{PFF} – Invemar ,2014).

Se realizó en índice de calidad de agua para preservación de flora y fauna con siete (7) de los parámetros estipulados redistribuyéndolos proporcionalmente los pesos de cada componente, ya que no se obtuvieron valores de hidrocarburos aromáticos disueltos y dispersos en las estaciones de muestreo. Luego de realizar los índices de calidad correspondientes se analizaron los resultados obtenidos para darle una clasificación al estado en que se encuentra el cuerpo de agua. Estos resultados se pueden apreciar en la Tabla 7, Figura 44 y en el Anexo 5, en este último la realización de los planos se determinó a partir de los valores de ICAM y la proporción equidistante entre una estación de monitoreo y otra.

Tabla 7. Índice de Calidad de Agua Marina Costera para Preservación de Flora y Fauna (ICAM_{PFF} – Invemar ,2014), para las jornadas del 29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015.

Estación	CAMPAÑA 29 DE SEPTIEMBRE DE 2015				CAMPAÑA 03 DE NOVIEMBRE DE 2015			
	MAÑANA		TARDE		MAÑANA		TARDE	
	ICAM Mañana	calificación	ICAM Tarde	calificación	ICAM Mañana	calificación	ICAM Tarde	calificación
E1	22,87	pésima	22,43	Pésima	26,19	Inadecuada	21,48	pésima
E2	24,35	pésima	43,25	inadecuada	14,49	pésima	20,63	pésima
E3	40,63	inadecuada	16,63	pésima	24,71	pésima	44,70	Inadecuada
E4	18,55	pésima	34,92	inadecuada	18,25	pésima	40,45	Inadecuada
E5	12,39	pésima	16,33	pésima	18,22	pésima	37,96	Inadecuada

Estación	CAMPAÑA 29 DE SEPTIEMBRE DE 2015				CAMPAÑA 03 DE NOVIEMBRE DE 2015			
	MAÑANA		TARDE		MAÑANA		TARDE	
	ICAM Mañana	calificación	ICAM Tarde	calificación	ICAM Mañana	calificación	ICAM Tarde	calificación
E6	17,85	pésima	23,46	pésima	10,98	pésima	35,23	Inadecuada
E7	12,49	pésima	17,00	pésima	12,51	pésima	26,86	Inadecuada
E8	14,60	pésima	15,47	pésima	19,40	pésima	27,65	Inadecuada
E9	13,43	pésima	24,62	pésima	14,41	pésima	13,62	pésima
E10	10,53	pésima	11,37	pésima	13,50	pésima	12,47	pésima
E11	13,24	pésima	13,88	pésima	12,44	pésima	19,46	pésima
E12	14,62	pésima	28,56	inadecuada	36,51	Inadecuada	76,19	Adecuada
E13	17,14	pésima	22,53	Pésima	19,56	pésima	59,08	Aceptable
E14	16,39	pésima	22,38	Pésima	14,08	pésima	25,59	Inadecuada
E15	10,81	pésima	15,40	Pésima	14,11	pésima	20,67	pésima

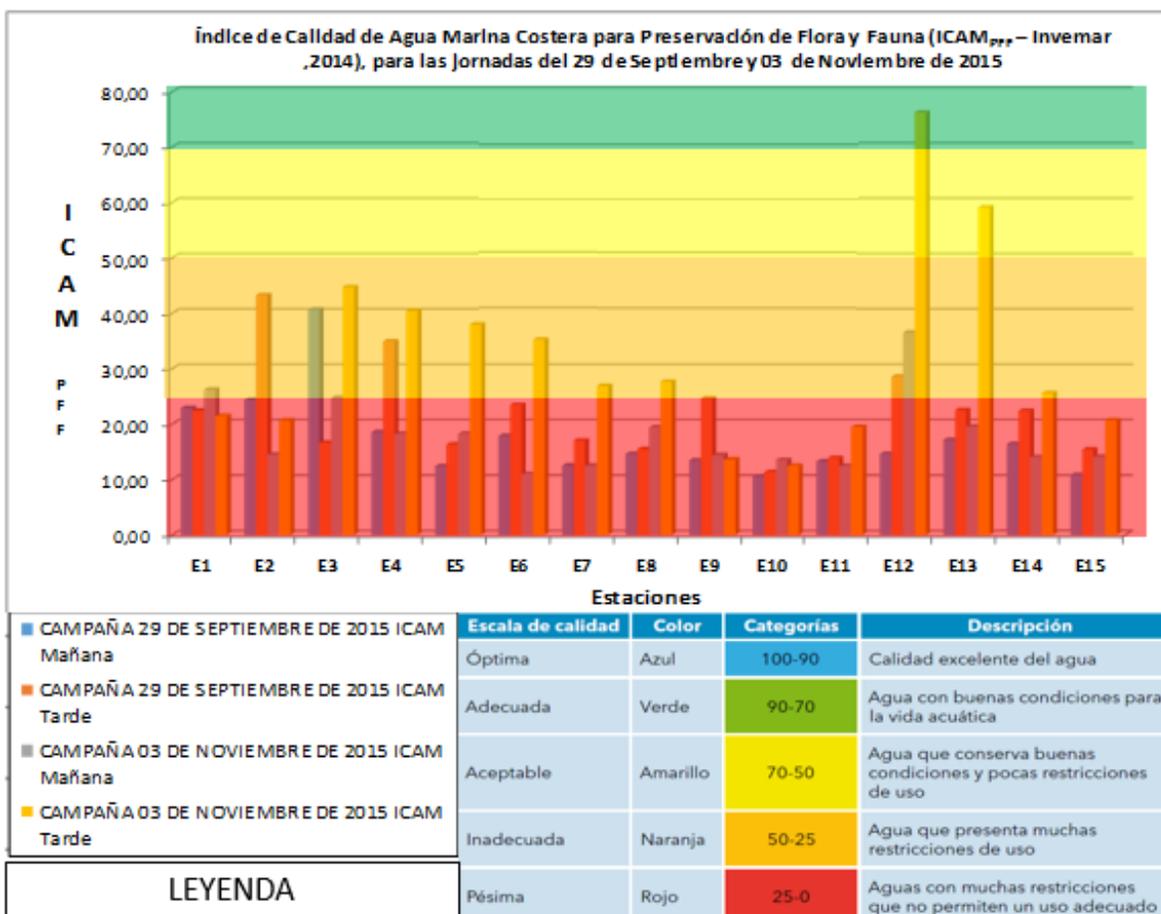


Figura 44. Índice de Calidad de Agua Marina Costera para Preservación de Flora y Fauna (ICAM_{FFF} – Invemar ,2014), para las jornadas del 29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015.

De la Tabla 7 y la Figura 44 se puede apreciar que la gran mayoría de las estaciones para ambas jornadas del monitoreo realizado el 29 de Septiembre demuestra que se encuentran en estados pésimos, es decir, aguas con muchas restricciones que no permiten un uso adecuado, lo cual valida las mediciones de campo realizadas, sin embargo las estaciones E3 para la mañana, así como la E2, E4 y E12 presentaron los mejores valores con condiciones inadecuadas, es decir, aguas que presentan muchas restricciones de uso, por su parte para la campaña de monitoreo del 03 de Noviembre de 2015, se encontraron mejores valores, aunque salvaguardando la proporcionalidad de la primera; para este caso se encontraron valores pésimos para casi todas las estaciones, a excepción de la E1 y E12 para la jornada de la mañana, mientras que para la tarde las condiciones mejoraron notablemente como el caso de las estaciones desde la E3 hasta la E8 y E14 con condiciones inadecuadas, por su parte la estación E13 registro valores Aceptables, es decir, aguas que presentan buenas condiciones y pocas restricciones para

su uso, mientras que la estación E12 presenta condiciones adecuadas, lo que significa, que es un agua con buenas condiciones para la vida acuática.

Este indicador es el ideal para realizar un control y monitoreo continua para los usos de este cuerpo de agua, ya que está basado en las normas del decreto 1594 de 1984 y que de los ocho (8) parámetros que se requieren para su evaluación cuenta con siete (7) de ellos lo que le da una mayor confiabilidad de los datos y criterio en su determinación.

Los resultados de este indicador se muestran en forma espacializada en la Figura 45 y Figura 46 tanto para las horas de la mañana y tarde respectivamente.

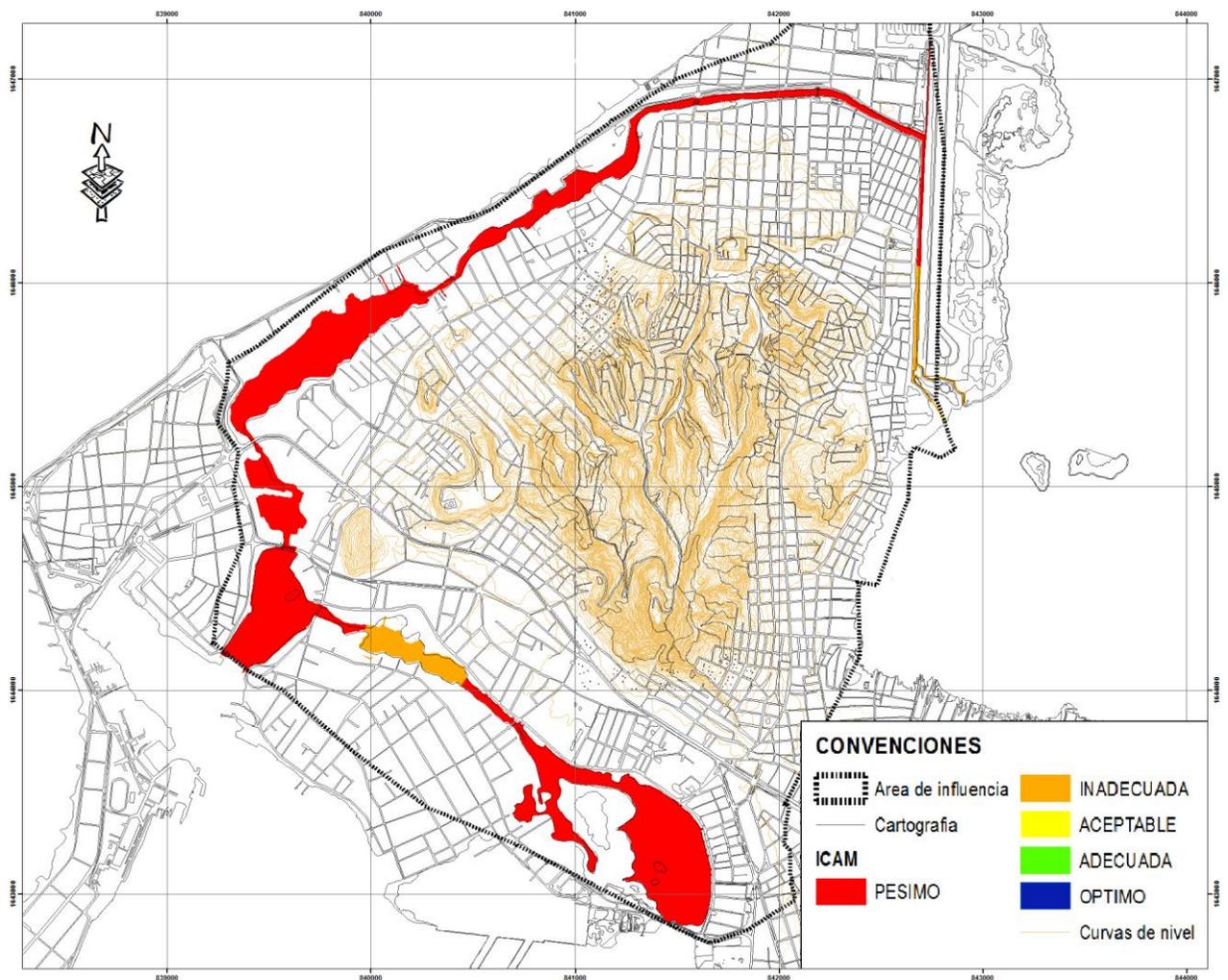


Figura 45. Espacialización del ICAMPFF para las horas de la Mañana

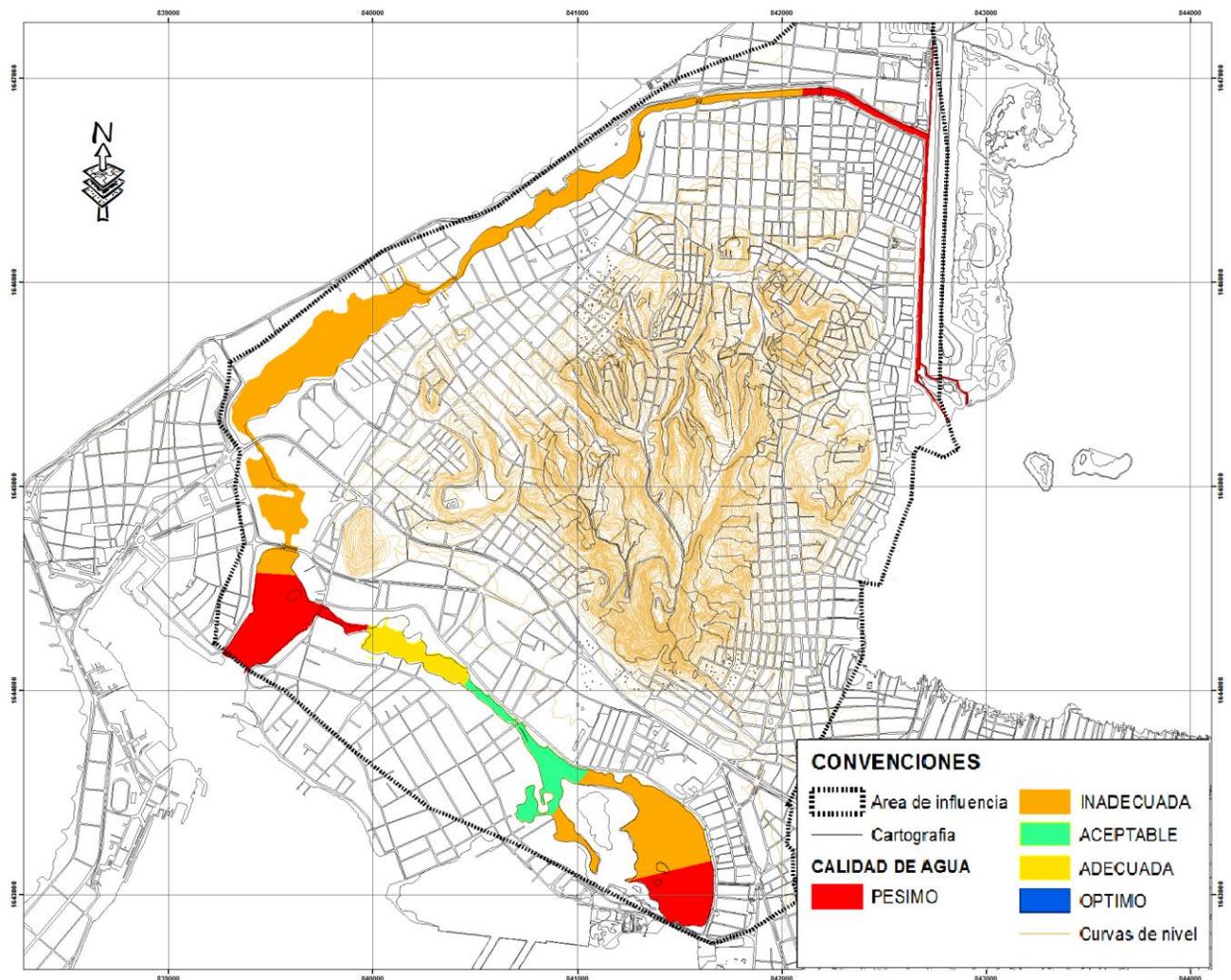


Figura 46. Espacialización del ICAMPFF para las horas de la Tarde

1.2.3.1. Índice de Calidad de agua (ICA – IDEAM, 2012).

Se realizó en índice de calidad de agua del IDEAM Colombia (2012), utilizando cuatro (4) de los parámetros requeridos, redistribuyendo los pesos equitativamente para cada uno de los componentes. Luego de realizar los índices de calidad correspondientes se analizaron los resultados obtenidos para darle una clasificación al estado en que se encuentra el cuerpo de agua. Estos resultados se pueden apreciar en la Anexo 5, Tabla 8 y en el Anexo 4, de igual forma la realización de los planos se determinó a partir de los valores de ICA y la proporción equidistante entre una estación de monitoreo y otra.

 	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Revisión: 1
		Fecha: Dic-2015

Tabla 8. Índice de Calidad de Agua (ICA – IDEAM, 2012), para las jornadas del 29 de Septiembre y 03 de Noviembre de 2015.

Estación	CAMPAÑA 29 DE SEPTIEMBRE DE 2015				CAMPAÑA 03 DE NOVIEMBRE DE 2015			
	MAÑANA		TARDE		MAÑANA		TARDE	
	ICA Mañana	calificación	ICA Tarde	calificación	ICA Mañana	calificación	ICA Tarde	calificación
E1	0,41	Mala	0,99	Buena	0,48	Mala	0,96	Buena
E2	0,51	Regular	0,37	Mala	0,49	Mala	0,49	aceptable
E3	0,51	Regular	0,94	Buena	0,51	Regular	0,95	Buena
E4	0,51	Regular	0,88	Buena	0,50	Mala	0,95	Buena
E5	0,51	Regular	0,94	Buena	0,51	Regular	0,94	Buena
E6	0,50	Mala	0,87	Buena	0,50	Mala	0,97	Buena
E7	0,50	Mala	0,88	Buena	0,51	Regular	0,97	Buena
E8	0,39	Mala	0,92	Buena	0,51	Regular	0,84	Aceptable
E9	0,40	Mala	0,95	Buena	0,39	Mala	0,86	Aceptable
E10	0,40	Mala	0,94	Buena	0,41	Mala	0,88	Aceptable
E11	0,41	Mala	0,94	Buena	0,51	Regular	0,85	Aceptable
E12	0,42	Mala	1,02	Buena	0,50	Mala	0,87	Aceptable
E13	0,38	Mala	1,01	Buena	0,48	Mala	0,86	Aceptable
E14	0,45	Mala	0,99	Buena	0,42	Mala	0,89	Aceptable
E15	0,43	Mala	0,97	Buena	0,41	Mala	0,87	Aceptable

Del Anexo 5 y la Tabla 8 se puede apreciar que la gran mayoría de las estaciones para la jornada de la mañana del monitoreo realizado el 29 de Septiembre demuestra que se encuentran en estados malos, es decir, no permiten unas condiciones adecuadas para la preservación de los ecosistemas, sin embargo la estaciones E2, E3, E4 y E5 presentaron los mejores valores con condiciones regulares, mientras que para la jornada de la tarde en su mayoría presenta condiciones buenas, como producto de los buenos valores de oxígeno durante ese día.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Para la campaña de monitoreo del 03 de Noviembre de 2015, se encontraron mejores valores, aunque salvaguardando la proporcionalidad de la primera; para este caso se encontraron valores malos para diez (10) estaciones, mientras que las E3, E5, E6, E7, E8 y E11 para la jornada de la mañana, mientras que para la tarde las condiciones mejoraron nuevamente de manera notoria encontrándose entre condiciones aceptables y buenas, a excepción de la estación E12 la cual registro valores malos; de igual forma las altas concentraciones de oxígeno son lo que permite estas excelentes condiciones entre una jornada y otra.

Este indicador no es el ideal más indicado para realizar un control y monitoreo continuo para los usos de este cuerpo de agua, ya que está basado en aguas continentales, además que requiere de por lo menos cinco (5) parámetros de los cuales solo se cuenta con cuatro (4) lo que restringe notablemente la confiabilidad de los datos y el criterio en su determinación, por lo cual se recomienda tomar como un factor secundario ligado a los procesos de oxigenación y su cambio en la jornada de la tarde, en la cual guarda proporción para los criterios del ICAM_{PFFF}.

1.3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS.

Los cuerpos de agua del sistema de caños, lagunas y ciénagas de la ciudad de Cartagena están interconectados entre sí. Los ecosistemas de estos cuerpos de agua están íntimamente ligados, por lo que entender la hidrodinámica (en términos de dirección de flujo y niveles de agua) de este sistema es de vital importancia. El nivel del agua en cada uno de los cuerpos de agua en un tiempo determinado, no solo nos permite tener una idea de la dirección del flujo, sino que también nos suministra información valiosa acerca las amenazas potenciales en términos de inundación. Actualmente, la ciudad no cuenta con un sistema de medición de nivel de agua para el sistema. Es así que se realizaron mediciones de nivel de agua (Tabla 9) mediante la instalación de reglas (miras), las cuales se ubicaron en puntos estratégicos del sistema (Tabla 10 y Figura 47) de tal manera que fuese posible entender el comportamiento de los niveles del sistema. A pesar de que se tomaron medidas para asegurar la precisión en la medición de niveles de agua con regla (nivelación de las reglas), es importante aclarar que existen errores inherentes a este tipo de metodología de medición de tipo visual. Estos errores pueden ser: (a) *instrumentales*, al trasladar los BM (Benchmark); (b) *humanos*, al utilizar el nivel; y (c) *ambientales*, posibles obstáculos e impedimentos al realizar la medición debido al constante cambio del valor, ya sea debido a causas antrópicas (navegación).y/o del movimiento natural del agua (oleaje).

La nivelación de las reglas se realizó como parte del trabajo de campo de topografía y batimetría del presente estudio. La nivelación se amarró, al igual que todo el levantamiento, al BM del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) GPS-B-D003, ubicado en predios de la Aeronáutica Civil en el barrio Chile, Manzana 38, Lote 12. En el capítulo 4 del Tomo 1 de este estudio, se discute la metodología con la que se realizaron los trabajos topográficos y batimétricos.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Tabla 9. Campañas de medición de niveles.

Campaña	Alcance	Fecha de Ejecución
1	Toma de muestras físico-químicas y microbiológicas, medición de niveles de agua del sistema de caños y lagos	29Sep2015
2	Toma de muestras componente biótico, medición de niveles de agua del sistema de caños y lagos	14Oct2015
	Monitoreo de parámetros fisicoquímicos in situ y condiciones meteorológicas.	14Oct2015 y 15Oct2015
3	Toma de muestras componente biótico, toma de muestras físico-químicas y microbiológicas, medición de parámetros fisicoquímicos in situ y medición de niveles de agua del sistema de caños y lagos	03Nov2015 y 04Nov2015

Tabla 10. Localización de las estaciones de monitoreo de niveles de agua.

Estación	Latitud	Longitud
Puente Jiménez	10°24'52,88" N	75°31'54,77" W
Puente Las Palmas	10°25'10,08" N	75°32'27,56" W
Puente Román	10°24'59,62" N	75°32'38,89" W
Espíritu del Manglar	10°25'39,76" N	75°32'39,16" W
El Cabrero	10°25'53,27" N	75°32'30,44" W
Puente Salim Bechara	10°26'3,13" N	75°32'5,32" W
La Bocana	10°27'6,48" N	75°30'27,86" W

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---

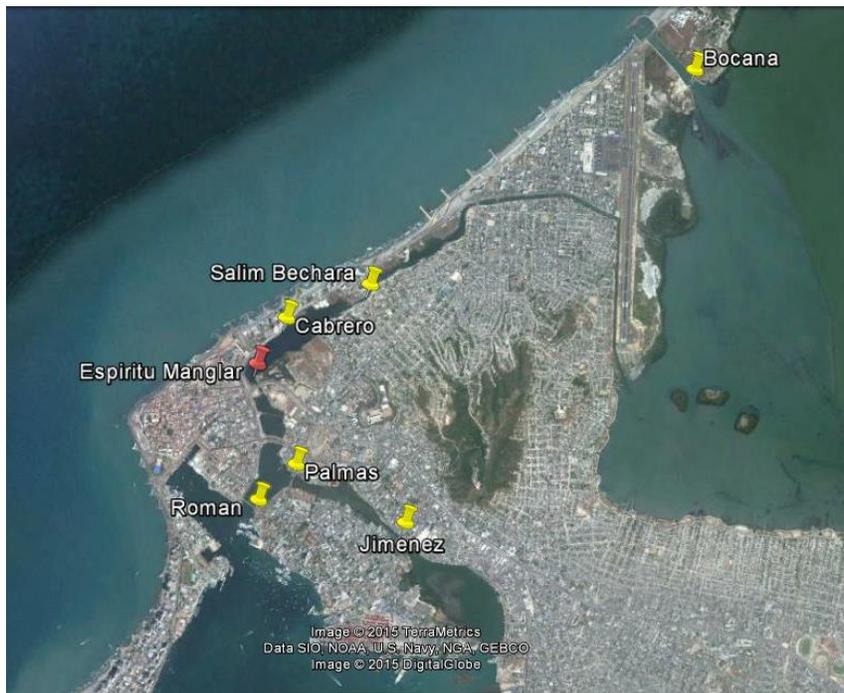


Figura 47. Ubicación de las estaciones de medición de niveles. La estación Espiritu del Manglar fue reemplazada por la del Cabrero por razones logísticas para la segunda y tercera campaña de medición. Fuente: adaptado de Google Earth.

1.3.1. Mediciones 29 de septiembre.

Las mediciones se realizaron en todas las estaciones excepto en la del Cabrero. Las mediciones iniciaron a las 06:00 horas y terminaron a las 18:00 horas. Los resultados de la medición se pueden observar en la Figura 48. Se presentaron problemas con las mediciones realizadas en La Bocana debido a que la persona del sitio contratada al dejar de ser supervisada por unas horas abandonó temporalmente el sitio (no tomó las mediciones durante el periodo 8:30 a 13:30 horas).

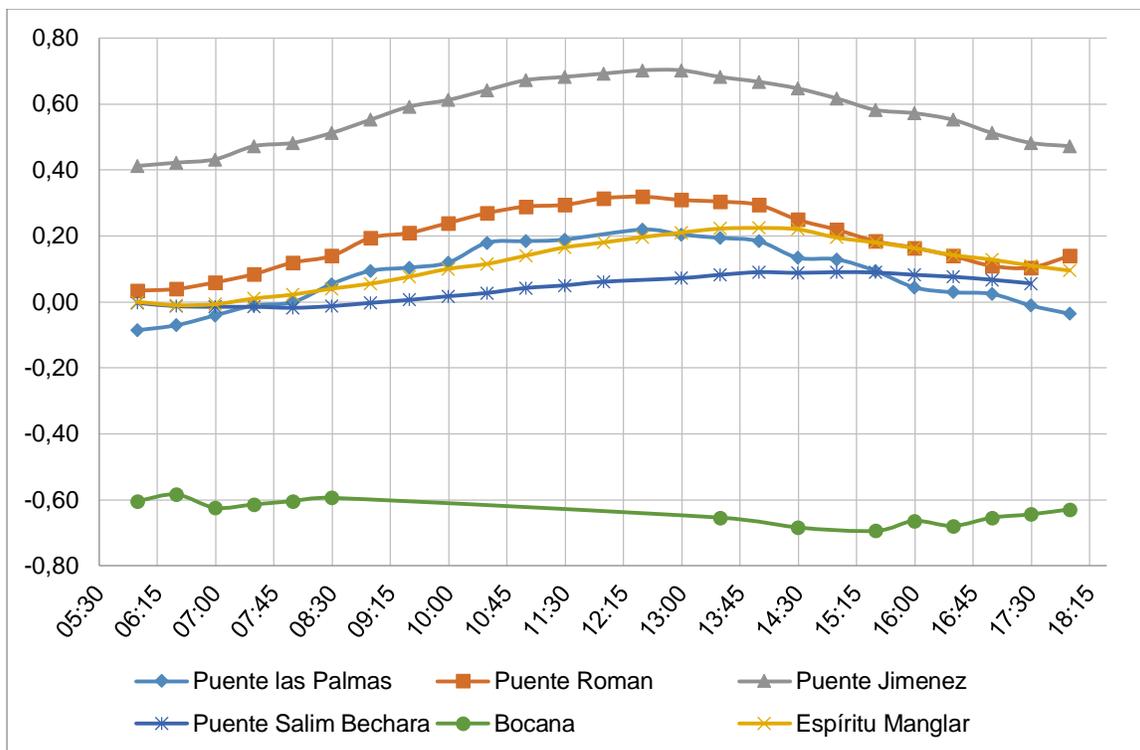


Figura 48. Variación de niveles en salida de campo 29 de septiembre

Puede observarse que los niveles en el puente Jiménez fueron mayores con respecto a las demás estaciones, indicando que hay un flujo de agua proveniente de la bahía de Cartagena hacia la ciénaga Las Quintas y la laguna San Lázaro (la bahía se conecta con estos dos cuerpos de agua). De la ciénaga Las Quintas, el flujo se mueve hacia el caño Bazurto (estación puente Jiménez), el cual, a su vez, está conectado con la laguna de San Lázaro (el agua en este cuerpo de agua proviene de la bahía de Cartagena a la altura del puente Román y del caño Bazurto –estación puente Las Palmas–. Figura 49). De la laguna de San Lázaro, pasa hacia la laguna de Chambacú (estación Espiritu del Manglar) y de ahí hacia la laguna del Cabrero. El flujo continúa hacia el caño Juan Angola (estación puente Salim Bechara) en dirección hacia la ciénaga La Virgen (estación La Bocana). Sin embargo, este flujo no genera grandes cambios en los niveles de la Ciénaga de la Virgen, debido a la gran área de este cuerpo (> 20 Km²) y a su conexión con el mar Caribe a través de La Bocana.

Alrededor de las 13:00 horas, se nota un incremento en el nivel del agua en la estación Espiritu del Manglar por encima de la estación del puente Las Palmas, lo que sugiere un cambio de flujo de las lagunas Chambacú y San Lázaro hacia el caño Bazurto. Igualmente, se nota que a alrededor de las 15:20 horas hay un pequeño incremento del

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

nivel de la laguna del Cabrero y parte del caño Juan Angola (sector Marbella) con respecto a la estación del puente Las Palmas (Figura 50). Igualmente, se observa cómo parte del agua de la laguna del Cabrero y caño Juan Angola (sector Marbella) también drena hacia la laguna Chambacú y esta hacia el caño Bazurto. Hay un tiempo de rezago de 2 horas aproximadamente hasta que ambos cuerpos de agua (lagunas del Cabrero y Chambacú) comiencen a drenar hacia la laguna de San Lázaro y caño de Bazurto (intersección de las gráficas de las estaciones del puente Salim Bechara y Espíritu del Manglar con la del puente Las Palmas).



Figura 49. Direcciones de flujo desde las 8:30 hasta las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

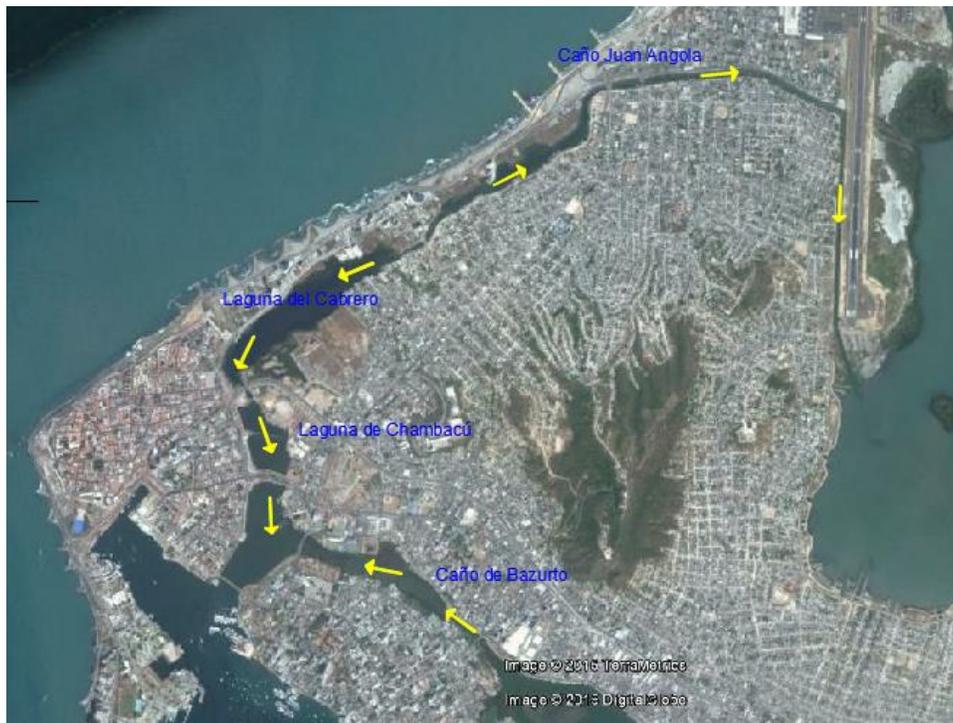


Figura 50. Direcciones de flujo a partir de las 13:00 del 29 de septiembre. Fuente: adaptado de Google Earth.

Cabe anotar que los valores observados en la laguna de San Lázaro y los puentes Las Palmas y Román son básicamente muy similares (esto puede atribuirse a los errores inherentes a la metodología anteriormente mencionados), lo cual no permite hacer una interpretación más precisa con respecto a la dirección del flujo.

El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) pronosticó para esta fecha que los eventos de bajamar sucederían a las 5:08 horas con un valor de -0.3 m y a las 19:43 horas con -0,01 m; mientras que la pleamar sucedería a las 12:23 horas con un valor de 0,26 m. Esto se evidencia en nuestras mediciones, en las que se presentaron los valores máximos en la mayoría de las estaciones en el tiempo pronosticado para la pleamar.

1.3.2. Mediciones 14 de octubre:

Consistente con las mediciones realizadas el 29 de septiembre, el flujo del agua va en dirección de la bahía de Cartagena (entrada por la ciénaga Las Quintas) hacia la ciénaga de La Virgen (los valores de la estación del puente Jiménez fueron los mayores y los de la estación La Bocana los menores). La estación del Espíritu del Manglar fue reemplazada por la ubicada en El Cabrero por razones logísticas. Las mediciones se iniciaron

aproximadamente a las 06:00 horas y terminaron aproximadamente a las 22:00 horas. Los resultados de la medición se pueden observar en la Figura 51.

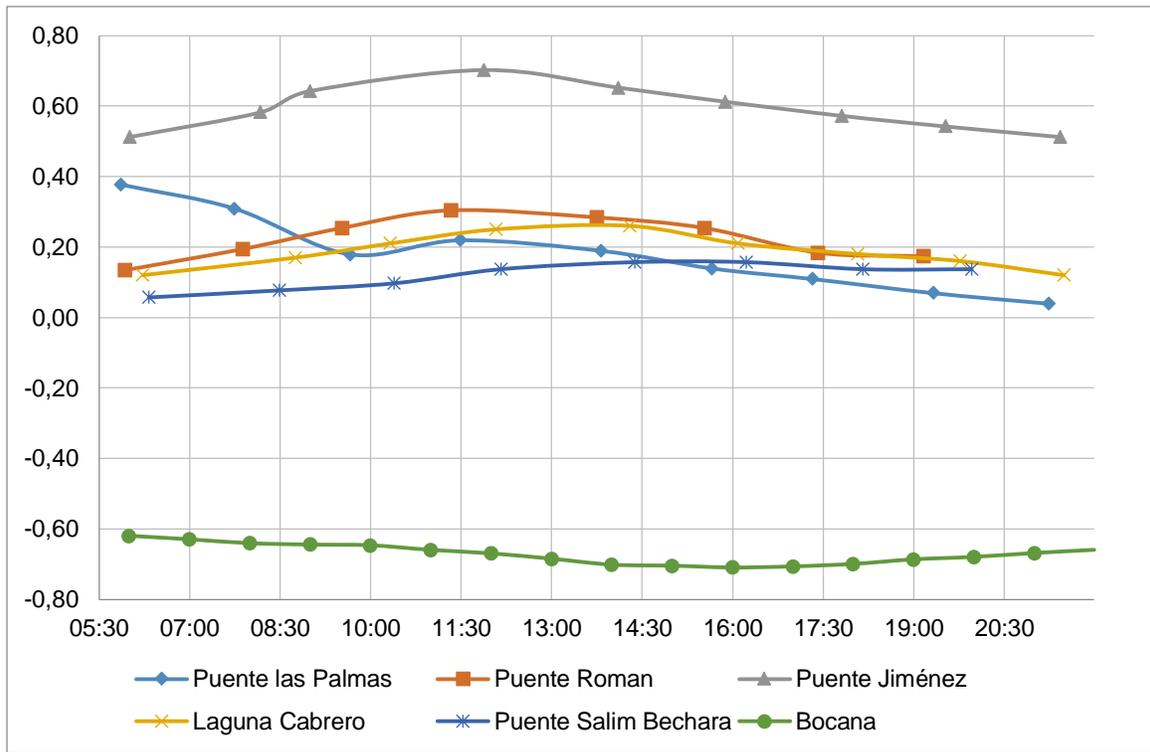


Figura 51. Variación de niveles en salida de campo 14 de octubre.

A pesar de que hay un patrón de movimiento del agua (bahía de Cartagena hacia la ciénaga de La Virgen, Figura 52), es importante aclarar que el sentido de las corrientes puede cambiar en el transcurso del día. Nuevamente, se observa cómo parte del flujo se dirige de las lagunas Chambacú y El Cabrero hacia el caño Bazurto (Figura 52 a la Figura 54). En esta ocasión el tiempo de rezago entre el cambio de la dirección del flujo de las lagunas del Cabrero y Chambacú y parte del aporte del caño Juan Angola (sector Marbella) es mayor (aprox. 6 horas, comprendido entre las 10:00 y las 15:00 horas), como lo muestra la intersección de las gráficas de las estaciones del Cabrero y puente Salim Bechara con la de la estación puente Las Palmas (Figura 53).



Figura 52. Direcciones de flujo hasta las 10:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.



Figura 53. Direcciones de flujo desde las 10:00 hasta las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---

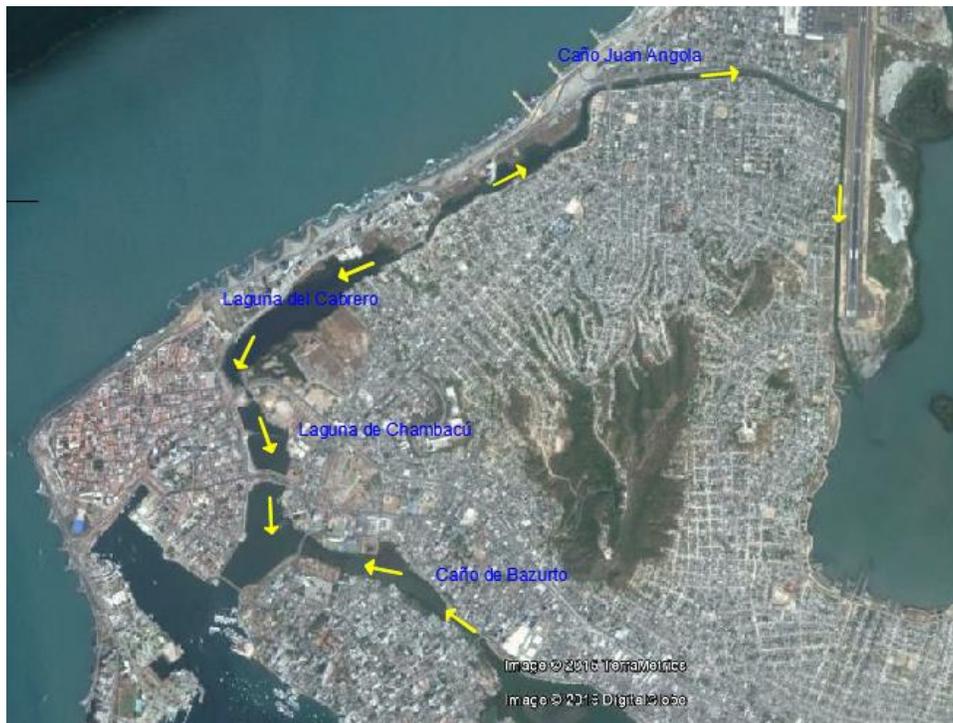


Figura 54. Direcciones de flujo a partir de las 15:00 del 14 de octubre. Fuente: adaptado de Google Earth.

El CIOH presentó como pronóstico para ese día un evento de bajamar a las 2:42 con un valor de 0,0 m y un evento de altamar a las 11:53 horas con un valor de 0,2 m. Esto es observable en nuestras mediciones, en las que se presentaron valores máximos en la mayoría de las estaciones en las mediciones realizadas cercanas al tiempo en el que se pronosticó el altamar.

1.3.3. Mediciones 3 y 4 de noviembre.

Las mediciones se iniciaron aproximadamente a las 6:00 horas del día 3 de noviembre y terminaron aproximadamente a las 6:00 horas del día siguiente. Los resultados de la medición se pueden observar en la Figura 55.

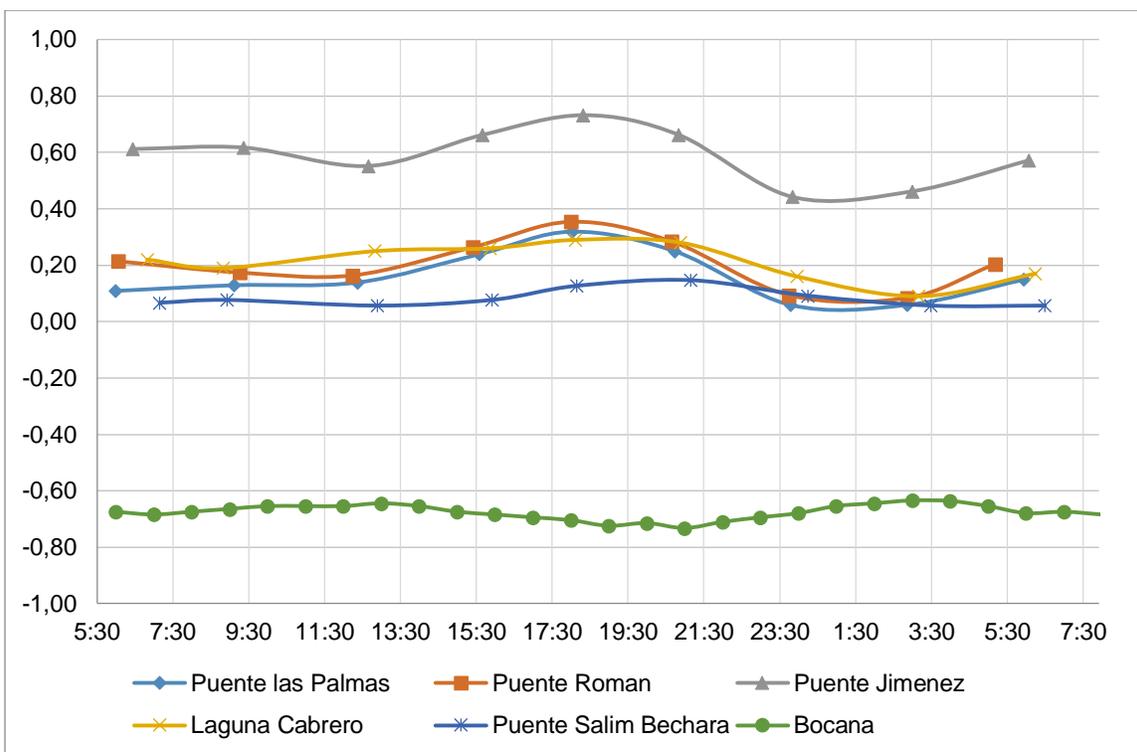


Figura 55. Variación de niveles en salida de campo 3 y 4 de noviembre.

De la gráfica podemos identificar un comportamiento parecido a las campañas de mediciones anteriores (Figura 56). Nuevamente se observan los mayores valores en el puente Jiménez indicando un flujo de agua proveniente de la ciénaga Las Quintas y la bahía de Cartagena. Igualmente, se observa que La Bocana vuelve a presentar los menores valores durante toda la jornada, indicando el movimiento del agua en dirección de la ciénaga de la Virgen proveniente de las lagunas Las Quintas, San Lázaro, Chambacú; El Cabrero y el caño Juan Angola. De la intersección de las gráficas de las estaciones El Cabrero (15:30 horas) y puente Salim Bechara (22:00 horas) con la del puente Las Palmas, se aprecia como hay un flujo de agua hacia el caño Juan Angola, primero de la laguna Chambacú y luego con aportes de la laguna del Cabrero y caño Juan Angola (sector Marbella). Más aún, se observa como parte del flujo no solo va hacia el caño Juan Angola si no también hacia el puente Román (20:30 horas hasta aproximadamente las 2:00 horas del día siguiente (Figura 55 y Figura 57) dado a que el nivel de la estación laguna del Cabrero está por encima de la del puente Román y la del puente Las Palmas.



Figura 56. Direcciones de flujo desde las 15:00 hasta las 20:30 del 3 de noviembre.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



Figura 57. Direcciones de flujo desde las 20:30 del 3 de noviembre hasta las 2:00 del 4 de noviembre.

Los pronósticos del CIOH para 6 eventos de mareas entre los días 3 y 4 de noviembre se muestran en la Figura 55. Comenzando con dos eventos de bajamar de 0,06 y 0,02 m a las 7:15 y 11:00 horas, respectivamente. Se evidencia en la mayoría de las estaciones, pero se observa con mayor claridad en la estación del puente Jiménez. Luego, se presenta un evento de altamar a las 17:48 horas de 0,21 m, evidenciable en la mayoría de las estaciones. Se presentan dos eventos más: uno de bajamar de -0,11 m y otro de altamar a las 7:44 horas de 0,09 m.

1.4. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA QUE HABITA EN EL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS Y EN SUS RONDAS HÍDRICAS.

1.4.1. Flora de la Ronda Hídrica

La caracterización de las coberturas halladas en el área de influencia del proyecto, se hace teniendo como premisa que el área de estudio funciona como una unidad ecosistémica, conformada por una serie de factores climáticos, edáficos y bióticos que obran en forma integrada con diferentes funcionalidades que permite la supervivencia y mantenimiento de la biodiversidad. Es importante resaltar que en el área se evidencia una fuerte intervención Antrópica y de modificación de las coberturas por actividades como la tala selectiva, así mismo la acción del hombre ha generado nuevas coberturas y fraccionamiento de las originales.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Siendo estas fundamentales en la estructuración de corredores biológicos, hábitats, fuente de alimentos, banco de semillas y flora, así mismo influye y hace parte del ciclo hídrico, en los procesos de absorción y reciclaje de nutrientes del suelo, de la regulación de la temperatura, la protección del suelo, regulación de los vientos y reducción de la radiación sobre el terreno rasante.

El proceso metodológico utilizado para la interpretación y delimitación de las coberturas de la tierra en el área de influencia, inicia con la elaboración de la Cartografía temática basada en Sensores Remotos aplicando la Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y asociada a la identificación de Coberturas de la tierra (IDEAM, 2010). El levantamiento de cobertura vegetal se define como el análisis y clasificación de los diferentes tipos de cobertura presentes en una zona o región determinada, de acuerdo a la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos. En la (Tabla 11), se presentan las coberturas de la tierra identificadas en el área de influencia del proyecto “Diseño del Sistema Inteligente de Monitoreo de Calidad Ambiental del Distrito de Cartagena”, la cual cubre un área de equivalente a 1344,7 ha distribuidas como se denota a continuación.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Tabla 11. Coberturas de la Tierra del área de influencia del proyecto.

COBERTURA DE LA TIERRA EN EL AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO					
NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	AREA (Ha)	AREA (%)
COBERTURA					
ARTIFICIALIZADOS	1.1 Zonas Urbanizadas	1.1.1 Tejido Urbano continuo		584,54	44,12%
		1.1.2 Tejido Urbano discontinuo		413	12,60%
	1.2 Zonas industriales y comerciales	1.2.1 Zonas industriales o comerciales		36	1,10%
		1.2.2 Zonas portuarias		0,93	0,028%
		1.2.3 Aeropuertos		27,3	0,83%
BOSESALES Y	2. Bosques	2.1.1 Bosque denso bajo	2.1.1.1 Bosque denso bajo inundable	53	1,62%
		2.1.2. Bosque Abierto		85	2,59%
		2.1.3 Arbustal abierto		32	0,9765%
SUCEDER	3. Aguas continentales	3.1 Lagunas costeras		93	2,84%

1.4.1.1. Territorios Artificializados.

Comprende las aéreas de las ciudades y las poblaciones y, aquellas aéreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización (IDEAM, 2010). Para el área de estudio, esta cobertura se observa a lo largo del canal paralelo, en donde se evidencia una falta de control con respecto a las áreas con conflicto; producto de las invasiones en áreas de protección en la línea hidrológica.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

- **Zonas Urbanizadas**

Según lo establecido en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, (IDEAM, 2010). Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas.

- *Tejido Urbano continuo*

De acuerdo con la descripción establecida por el IDEAM (2010), el tejido urbano continuo se conforma por edificaciones y espacios adyacentes a la infraestructura edificada y vías que constituyen la grilla característica de todo centro poblado encontrado en Colombia.

Esta cobertura en el área de influencia del proyecto, se encuentra definida por una extensión de 532 ha, encontradas en los alrededores de la Lagunas del Cabrero; en el margen del Barrio el Cabrero, Chambacú; en el área de Puerto Duro, San Lázaro, Caño Bazaruto y ciénaga de Las quintas, en la Figura 58 se observa la Cobertura de Tejido urbano Continuo, dicha área corresponde al 44 % de la área total de influencia del proyecto.



Figura 58. Cartagena, Barrio el Cabrero (10°26'0.05"N; 75°30'50.42"O). Fuente: Elaboración propia

- *Tejido Urbano discontinuo*

Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas de tipo natural y seminatural se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas. En el área de

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

influencia del proyecto esta área es de 413 ha que corresponde 12,6% del área total; esta unidad se encuentra en las áreas periféricas del sector San Francisco, caño Juan Angola. Es característico en esta zona encontrar rellenos en las áreas costeras con alta influencia hacia los cuerpos de agua. Además, se detectó muy poco tejido vegetal de tipo arbustal y a su vez bosques bajos inundables (manglares).



Figura 59. Cartagena, Barrio el Cabrero (10°26'0.05"N 75°30'50.42"O). Fuente: Elaboración propia

1.4.1.2. Zonas industriales y comerciales o redes de comunicación

Comprende los territorios cubiertos por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicación que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad (IDEAM, 2010).

- **Zonas Industriales o Comerciales**

Son las áreas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados o estabilizados), sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales. Esta cobertura se encuentra representada con una superficie de 36 ha que corresponden al 1% del área de influencia total.

En el área de influencia del proyecto “Sistema Inteligente de Monitoreo Ambiental del Distrito de Cartagena”, este tipo de cobertura se encuentra representada en el sector laguna de San lázaro y ciénaga de Las Quintas. Alrededor de estos sitios, se aprecian áreas comerciales como bombas de gasolina (Bomba Terpel Marina) (Figura 60), centros

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

comerciales, Puertos marítimos (Sociedad Portuaria de Cartagena). Este tejido también se observa en los barrios Manga y Pie de la Popa de manera discontinua.



Figura 60. Cartagena, Barrio Pie de la Popa y Manga (10°25'9.93"N 75°32'33.93"O) . Fuente: Elaboración propia

- *Aeropuertos*

Comprende la infraestructura donde funciona una terminal aérea. Incluye las pistas de aterrizaje y carreteo, los edificios, las superficies libres, las zonas de amortiguación y la vegetación asociada. En este sector, se encuentra el Aeropuerto Internacional Rafael Núñez (Figura 61) que abarca una extensión de área de 27,3 ha, correspondientes al 0,83%. A esta cobertura también están asociadas de manera homogénea áreas de Bosques de Manglar y zonas Arbustales mínimas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



**Figura 61. Cartagena, Barrio Crespo y Barrio San Francisco (10°25'40.28"N 75°30'47.39"O).
Fuente: Elaboración propia**

- *Zonas Portuarias*

Según IDEAM, 2010. Son espacios cubiertos por la infraestructura de puertos, en los que se incluyen las áreas de muelles, parqueaderos, administración y almacenamiento.

Para el caso del presente proyecto, esta área de cobertura se ve identificada por la zona que está ubicada en la laguna de San Lázaro, la cual está rodeada de una zona comercial e industrial (Puertos Sociedad Portuaria de Cartagena) (Figura 62). Además, esta es un área que se mezcla con una zona urbanizada de tejido urbano continuo.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



Figura 62. Cartagena, Barrio Pie de la Popa (10°25'18.22"N 75°32'30.98"O). Fuente: Elaboración propia

1.4.1.3. Bosques y Áreas Seminaturales

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación. Para la leyenda de coberturas de la tierra de Colombia, en esta categoría se incluyen otras coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico, como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o en transición.

- **Bosques**

- *Bosque denso bajo*

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total de la unidad, con altura del dosel superior a cinco metros, pero inferior a 15 metros. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales (IGAC, 1999).

- *Bosque denso bajo inundable*

Corresponde a las áreas con vegetación de tipo arbóreo caracterizada por un estrato más o menos continuo cuya área de cobertura arbórea representa más de 70% del área total

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

de la unidad, y con altura del dosel entre 5 y 15 metros y que se encuentra localizada en las franjas adyacentes a los cuerpos de agua (loticos), las cuales corresponden principalmente a las vegas de divagación y llanuras de desborde con procesos de inundación periódicos con una duración superior a dos meses. El bosque denso bajo inundable tiene para este caso un área de 53 ha que corresponden al 2% del área total de influencia.

Para el proyecto ejecutado a través del convenio EPA – UDC (Establecimiento Público Ambiental - Universidad De Cartagena), este tipo de cobertura está conformada en gran medida por bosques de manglar, el cual se caracteriza por ser de hábitad exclusivamente tropical e intermareal, apto para sobrevivir en suelos o sedimentos saturados de agua. Es característico de esta área, que las especies que la conforman tienen adaptaciones a los diferentes tipos de salinidad que maneja el ecosistema, considerando que están en contacto permanente con agua marina en combinación con las aguas provenientes de las escorrentías. Por lo que se les conoce como plantas Halófitas.

Según Parques Naturales Nacionales de Colombia (PNN 2014), el ecosistema de bosque de manglar se compone de una barrera natural con la finalidad de contener la acción del oleaje propio de la influencia marina y en cuyo interior se encuentra el hábitad más productivo del mundo, puesto que allí se albergan miles de millones de peces pequeños que pasan su etapa reproductiva temprana dando consigo vida entre el laberinto protegido de sus raíces. Principalmente, para aquellas especies de peces oceánicos que se desplazan hacia las laderas del litoral para desovar, peces de agua dulce del interior del continente. Por otro lado, el bosque de manglar también contribuye al mantenimiento de las aves migratorias de ecosistemas asociados como ciénagas, marismas y estuarios.

Para la zona de influencia de este proyecto el bosque denso bajo inundable está representado por una extensión de área de 53 Hectáreas correspondientes al 1,6 % de la misma. Ubicado en una zona rodeada por tejido urbano continuo y discontinuo (Barrios aledaños: Crespo, Canapote, Daniel Lemaitre, Santa María, Urbanización San Juan, Cabrero, Marines Martelo, San Diego, Centro, Manga, Barrio Chino) (Figura 63). Esta cobertura además, es de vital importancia socioeconómica en el área de influencia directa puesto que las comunidades asentadas en sus alrededores, utilizan este ecosistema como fuentes de suministro de peces. Sin embargo, estos pobladores no han logrado entender el valor de este ecosistema que podría proveerles su sustento diario, siempre y cuando su conservación y recuperación se haga de manera efectiva lo cual también garantizarían la belleza escénica que provee este ecosistema.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



**Figura 63. Cartagena, Barrio Canapote y Barrios Crespo (10°26'32.63"N 75°31'17.67"O).
Fuente: Elaboración propia**

1.4.1.4. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva.

En la clasificación de coberturas de la tierra, esta capa comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo natural y producto de la sucesión natural, cuyo hábito de crecimiento es arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales, con poca o ninguna intervención antrópica.

Para la leyenda de CORINE Land Cover adaptada para Colombia, en esta clase se incluyen otros tipos de cobertura tales como las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva con dosel irregular y presencia de arbustos, palmas, enredaderas y vegetación de bajo porte.

- **Vegetación secundaria o en transición**

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de sucesión de la vegetación natural que se presenta luego de la intervención o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original (IDEAM, 2010).

Para la zona de influencia del proyecto, se asume que estas zonas han sido desmontadas para diferentes usos (Agricultura y Sobrepastoreo). Esta cobertura posee un patrón unimodal conformado por especies de plantas leguminosas. Su influencia está dada a lo largo del caño Juan Angola y en inmediaciones de la ciénaga de La Virgen.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



**Figura 64. Cartagena, Barrio Canapote y Barrios Crespo (10°26'32.79"N 75°31'3.85"O).
Fuente: Elaboración propia**

1.4.1.5. Superficies de Agua

Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares.

- **Aguas continentales**

Son cuerpos de aguas permanentes, intermitentes y estacionales que comprenden lagos, lagunas, ciénagas, depósitos y estanques naturales o artificiales de agua dulce, embalses y cuerpos de agua en movimiento, como los ríos y canales (IDEAM, 2010).

- *Lagunas costeras*

Está conformada por superficies o depósitos de agua salada o salobre, separadas del mar por tierras sobresalientes u otras topografías similares. Pueden tener comunicación con el mar de manera permanente o temporal a través de canales, barras de arena y zonas de pantanos costeros (IDEAM, 2010). Para el área de influencia de estudio esta cobertura se encuentra representada por el complejo de agua del sistema, ocupando 93 hectáreas equivalentes al 2.84%. Este patrón ecosistémico se podría clasificar como un área de importancia para el desarrollo de actividades de pesca, corredores ecológicos cobertura densa de manglar el cual, soporta toda la fauna social existente. Además, el manglar hace aportes orgánicos a los cuerpos de agua y ayuda en la regulación del Carbono: Nitrógeno en ecosistemas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



Figura 65. Cartagena, Barrio el Cabrero (10°25'39.48"N 75°32'40.15"O). Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta el mapa de coberturas de la tierra realizado para delimitar los espacios que ocupan el área de influencia del proyecto “Sistema Inteligente de Monitoreo Ambiental del distrito de Cartagena de Indias” (Figura 66).

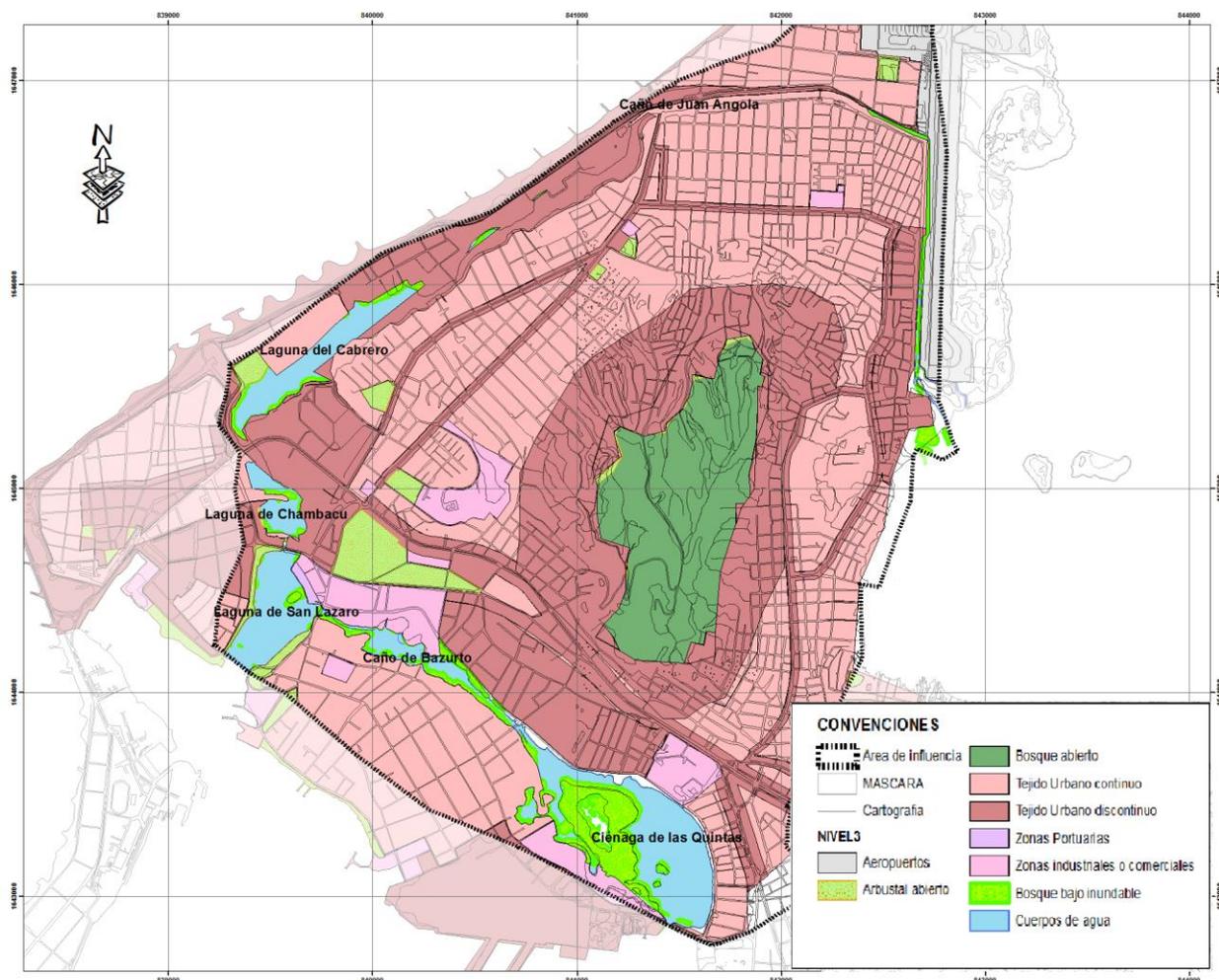


Figura 66. Mapa de coberturas de la tierra del sistema de caños y lagos internos del Distrito de Cartagena.

1.4.2. Caracterización del Bosque de Manglar del sistema de caños y lagos internos del distrito de Cartagena.

El ecosistema de bosque de manglar se encuentra bordeando todo el sistema desde la ciénaga de Las Quintas hasta la ciénaga de La Virgen. A estos lugares se le conoce como sistema estuarino intermareal boscoso (RAMSAR. 1971), caracterizados por presentar cambios de salinidad desde la orilla del mar hacia dentro del sistema interno, con influencia de agua dulce proveniente de las escorrentías. A este fenómeno se le conoce como gradiente de salinidad, el cual es sumamente importante para en el ciclo de vida de un estuario y de su manglar. El grado de salinidad cambia a lo largo del año, pues depende de la influencia de las mareas, por lo cual las especies encontradas en estos sitios deben estar muy bien adaptadas a estas condiciones ambientales.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Las especies de manglar allí establecidas, poseen unas estructuras fisiológicas llamadas hidátodos (poros permanentemente abiertos que se localizan en las hojas) por los que pueden expulsar el exceso de sal, la cual es la parte final del proceso en el que las raíces captan los nutrientes del agua de mar. Continuo a este proceso, la sal circula por el interior de la planta hasta llegar a las hojas, para posteriormente ser expulsada y acumulada en la superficie. Cuando las concentraciones de sal son muy altas las hojas se caen, tendiendo a verse con aspecto xerófilo. Es decir, que las hojas pueden determinar el control en la transpiración. El grado de interacción ecológica que sucede en el sistema interno de caños y lagos del distrito de Cartagena es bastante interesante, pues estas hojas cuando caen al suelo son aprovechadas por los crustáceos y peces que pasan una parte de su ciclo de vida consumiendo estos residuos orgánicos.

Las especies de manglar más comunes registradas durante las campañas de campo que se realizaron para efectos de determinar el componente de bosque bajo inundable del área de influencia del proyecto se registran en la Tabla 12.

Tabla 12. Composición florística de la cobertura bosque bajo inundable.

Especie	Nombre Común	Familia
<i>Avicennia germinans</i>	Mangle salado	ACANTHACEAE
<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle rojo	RHIZOPHORACEA
<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle bobo	COMBRETACEAE

El componente de manglar en el área de influencia, se encuentra en un ambiente inundado de tipo salobre, estas especies requieren de varias adaptaciones para su completo desarrollo del ciclo de vida. Por tanto, los factores que afectan directamente y limitan las especies a que puedan desarrollarse en los humedales son la salinidad y los patrones de aumento del nivel de agua o inundación. Los eventos de aumento en los niveles, trae consigo sustratos saturados que con grandes concentraciones crean ambientes anaerobios, es decir carentes de oxígeno (Moreno e infante, 2009). Estas condiciones zonales no son propicias para el establecimiento de otro tipo de especies arbóreas diferentes al mangle. Ya que algunas especies de mangle poseen raíces aéreas que le permiten salir de la lámina de agua, estas raíces están adaptadas para no permitir el paso de las sales disueltas al interior de la planta.

En el área de estudio las especies que presentan mayor abundancia son *Rhizophora mangle* (Mangle Rojo) y *Avicennia germinans*. (Figura 67).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---



Figura 67. Ecosistema de manglar representativo para caño Juan Angola; *A. germinans* y *R. mangle*.

A. germinans (Mangle salado), es una especie que no crece sobre raíces afianzadas, sino que posee neumatóforos, los cuales permiten que las raíces sumergidas respiren. Además, expulsa la sal absorbida a través de sus hojas coriáceas (Porter, 1983). Esta especie fue posible encontrarla en las áreas de tierra firme donde la influencia del agua está directamente relacionada con los cambios de nivel de la marea, lo que permite que su desarrollo tenga un porcentaje mucho mayor con respecto a las demás especies del ecosistema de manglar, debido a que sus propágulos caen en tierra firme y no son ahogados por el aumento de los niveles de agua. Esta especie pudo ser observada en el caño Juan Angola, en este sitio se evidenció un banco de semillas importante de esta especie, esto obedece al tipo de reproducción y su capacidad de adaptación. Además, estuvo presente en la laguna del Cabrero, laguna de Chambacú, ciénaga de las Quintas y laguna de San Lázaro (Figura 68, Figura 69, Figura 70, Figura 72).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

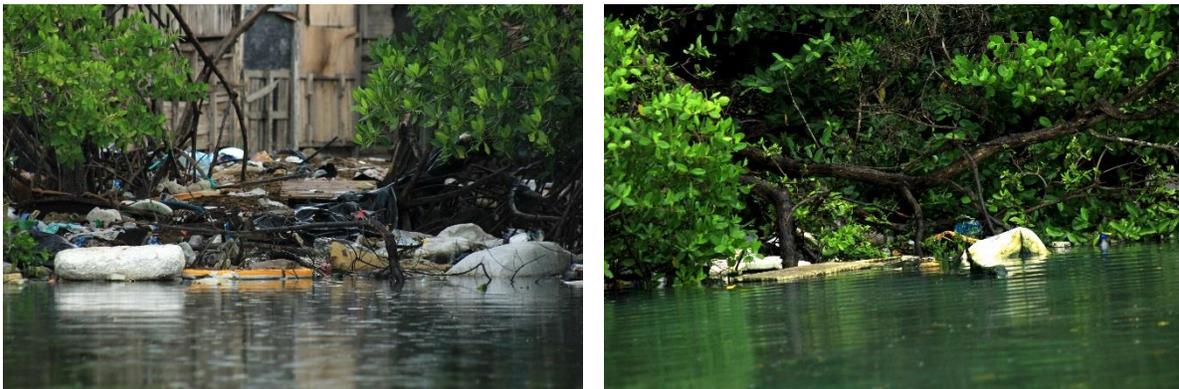


Figura 68. Ecosistema de manglar representativo para laguna de Chambacú; *A. germinans* y *R. mangle*.

Por otro lado, la condición ambiental que determina el desarrollo de otra de las especies de mayor influencia en el sistema como *Rhizophora mangle* (Mangle rojo), está asociado a áreas donde se manejan mayores concentraciones de materia orgánica (Véase en el análisis de sedimentos valores de materia orgánica del sistema en numeral 1.2.1.3); que es el caso de este estudio, lo cual sería la razón por la que esta especie se establezca en el área de influencia.



Figura 69. Ecosistema de manglar representativo para laguna del Cabrero; *A. germinans* y *R. mangle*.

La característica de crecimiento de *R. mangle* en el sistema estudiado está ligado a la formación de densos rodales con fustes poco desarrollados, donde las raíces aéreas se confunden con los troncos. Probablemente, este evento está ligado a los diámetros que puedan alcanzar. Este tipo de rodal recibe el nombre de mangle casilar o ñangal. Generalmente, son encontrados en suelos poco consolidados presentes en la sección convexa de los meandros (curva o sinuosidad por efecto del cambio de dirección que presenta un cauce) que se presentan entre la laguna del Cabrero y Chambacú.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Por su parte, la especie *Laguncularia racemosa* presenta un bajo porcentaje de dominancia con respecto a todo el sistema, pues se desarrolla en pocos puntos. Sin embargo, esta especie fue posible observarla en laguna del Cabrero y caño Bazurto de manera significativa (Figura 69 y Figura 68).



Figura 70. Ecosistema de manglar representativo para la ciénaga de las Quintas; *R. mangle* y *A. germinans*.



Figura 71. Ecosistema de manglar representativo para Caño Bazurto; *L. racemosa* y *R. mangle*

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



Figura 72. Ecosistema de manglar representativo para laguna de San Lázaro; *A. germinans* y *R. mangle*.

La abundancia de las especies de manglar dentro del área de influencia del proyecto “Sistema Inteligente de Monitoreo Ambiental en el Distrito de Cartagena” obedece a la distribución natural de carácter especializado de este tipo de bosque como es el caso de *Avicennia germinans* (mangle salado) en la zona bajas y de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) en las zonas donde se ve muy marcados los cambios de nivel, como corresponde en este caso de estudio. En este sentido el mayor éxito reproductivo *Avicennia germinans* (mangle salado), obedece a su tipo de reproducción y al tipo de áreas en las que se desarrolla, siendo el correspondiente al mayor porcentaje de áreas en el que se realizó la campaña de verificación con el objetivo de evaluar el comportamiento de esta vegetación.

No obstante, este tipo de áreas soporta una fuerte presión antrópica por la tala de árboles, y el asentamiento de indigentes en esta cobertura. Pese a esto, en algunos sectores especialmente en el área donde termina el caño Juan Angola y comienza la ciénaga de la virgen el ecosistema presenta una buena regeneración por su especialización al colonizar las áreas adversas.

Cabe destacar que tanto *Laguncularia racemosa* (mangle bobo) como *Avicennia germinans* (mangle salado) producen grandes cantidades de propágulos pequeños, pero no todos llegan a establecerse exitosamente, y los que sí logran hacerlo tienen que sobrevivir a las condiciones ambientales que encuentran en el lugar donde se establecieron. No obstante, los valores de regeneración de *Laguncularia racemosa* (mangle bobo) son menores que los que presenta *Avicennia germinans* (mangle salado), ya que el comportamiento de este último se ve influenciado por la mayor cantidad de individuos en estratos superiores, lo que aumenta la posibilidad de encontrar más individuos en edad reproductiva y por ende mayores individuos en regeneración, de igual forma se consideran las condiciones óptimas para el desarrollo de la especie ya que estos últimos se distribuyen en las áreas de baja mar con periodos cortos de inundación (Hoyos *et al.*, 2013).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

En algunos sectores, el ecosistema de manglar también se ve influenciado por el guano (excremento) que producen las aves que se posan en ellos y por el peso de las de mayor tamaño. Este material orgánico se seca con los rayos solares impidiendo el proceso de fotosíntesis que naturalmente hacen las plantas.

Finalmente, se puede afirmar se está en frente de una unidad de cobertura de “bosque ralo, dominado por *A. germinas* y *R. mangle*, con área basal baja, regeneración natural media y muy intervenido”.

1.4.3. Anfibios y Reptiles

1.4.3.1. Composición de la herpetofauna

La recolección de datos se dio en dos áreas escogidas por la viabilidad y facilidad del muestreo. La primera área se delimitó desde la laguna del Cabrero hasta la ciénaga de Las Quintas (E1), esta área se caracteriza por presentar principalmente parches de bosque de manglar como vegetación circundante de cuerpos de aguas estuarinas e incluye agua salada en la bahía de Cartagena; la segunda área corresponde principalmente a parches de manglar, y matorral bajo y áreas abiertas en el sector del aeropuerto aledaños al sistema de caños Juan Angola y canal Paralelo (E2).

En total se registraron cuatro (4) especies de reptiles (Tabla 13 Tabla 13. Abundancia de las especies de lagartos en las ciénagas y caños de la ciudad de Cartagena.), todos del grupo de los lagartos, pertenecientes a las familias: Iguanidae (1), Sphaerodactylidae (1) y Teiidae (2) (Figura 73). Estas cuatro especies ya han sido reportadas como muy comunes en otros ambientes de las tierras bajas del Caribe colombiano, donde la riqueza total de lagartos ha alcanzado entre 14 y 16 especies (Rueda-Solano y Castellanos-Barliza 2010, Montes-Correa *et al.* 2015). Sin embargo, estos trabajos se realizaron en ambientes no tan intervenidos como el actualmente estudiado.

Tabla 13. Abundancia de las especies de lagartos en las ciénagas y caños de la ciudad de Cartagena.

TAXA	NOMBRE COMÚN	E1	E2	TOTAL
ORDEN SQUAMATA				
Familia Iguanidae				
<i>Iguana iguana</i>	Iguana	7	16	23
Familia Sphaerodactylidae				
<i>Gonatodes albogularis</i>	Cuqueca		1	1
Familia Teiidae				
<i>Cnemidophorus gaigei</i>	Lobito	1	2	3
<i>Ameiva praesignis</i>	Lobo pollero		1	1

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

TAXA		NOMBRE COMÚN	E1	E2	TOTAL
	ABUNDANCIA		8	20	28
	RIQUEZA		2	4	4

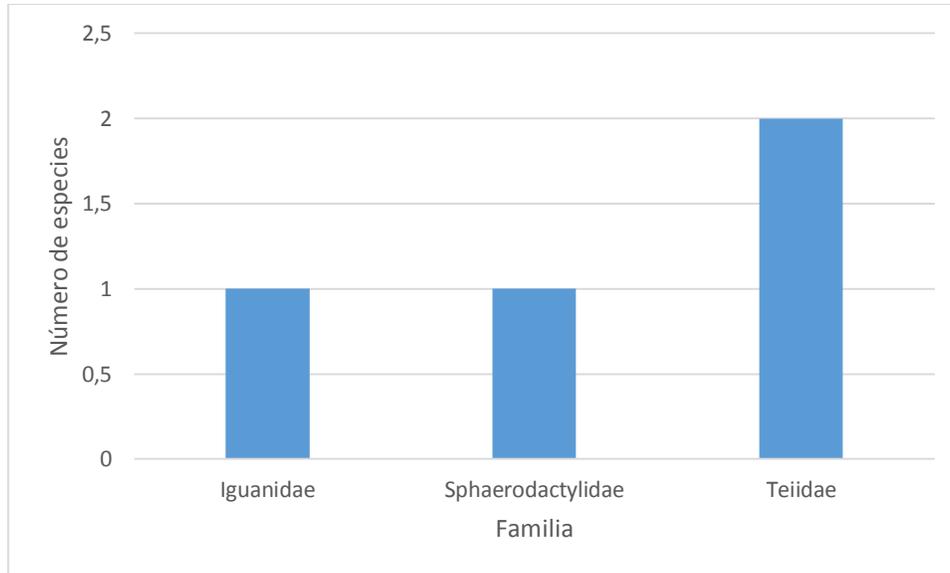


Figura 73. Riqueza por familia de lagartos registrados en las ciénagas y caños de Cartagena.

Con respecto a la abundancia por especie, *Iguana iguana* fue el lagarto más común, registrándose en ambas áreas del ecosistema de manglar. De las demás especies se registraron pocos individuos, siendo la mayor riqueza registrada en el sector E2 en el parque lineal paralelo al caño Juan Angola (Figura 73).

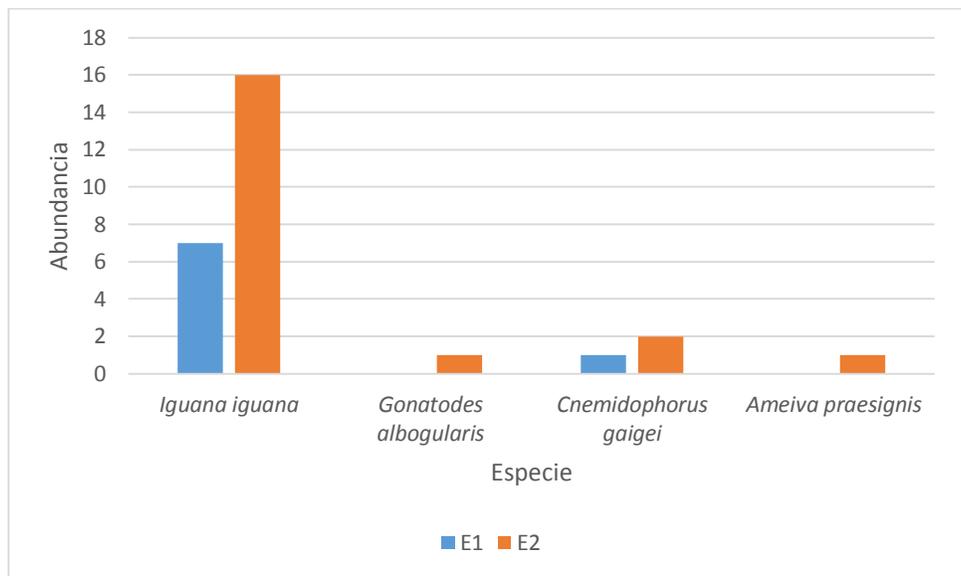


Figura 74. Abundancia por especie por estación de estudio en las ciénagas y caños de Cartagena.

En el caso de los anfibios no se reportaron especies para el área de estudio, principalmente porque los cuerpos de agua estudiados son aguas salobres y saladas, no aptas para la supervivencia de este grupo.

El esfuerzo de muestreo estuvo supeditado a limitaciones técnicas y de seguridad en el área de trabajo, por lo que la riqueza y abundancia de la herpetofauna pudo estar subestimada en el presente estudio.

- **Anotaciones sobre la herpetofauna del área**

Iguana iguana (Figura 75) presenta una amplia distribución en el país; es una especie casi que exclusivamente arbórea, todos los registros en el presente estudio se hicieron en zona del dosel y subdosel del bosque de manglar. Su principal rol ecológico es que son herbívoros importantes en las áreas donde se distribuye (Bock 2013).

Gonatodes albogularis – Cuqueca (Figura 75) es una especie con una marcada sinantropía y que suele ser encontrada en zonas urbanas, cerca de edificaciones y jardines, habitar además bordes de bosque primario y secundario.

Dentro de la familia Teiidae se registran dos especies; estos lagartos diurnos se les observa forrajeando entre los rastrojos y hojarasca durante las horas más calurosas del día, donde registran su mayor actividad. Juegan un rol importante como eslabones intermedios en la red trófica, pues son depredadores de insectos y otros artrópodos, y a su vez son alimento de otros predadores carnívoros, como algunas aves rapaces,

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---

serpientes, entre otros (Grisales-Marínez y Rendón-Valencia 2014). *Cnemidophorus gaigei* – Lobito (Figura 75) tiene una distribución al norte y centro del país, donde habita claros de bosque, orillas de cuerpos de agua, y áreas urbanas (Vitt y Carvalho 1995); mientras que *Ameiva praesignis* – Lobo pollero presenta una distribución más amplia en centro y sur América desde Costa Rica hasta Venezuela, y está asociado al bosque seco, áreas abiertas y pastizales.



Figura 75. Reptiles registrados en las ciénagas y caños de Cartagena. A. *Iguana iguana* – Iguana. B. *Gonatodes albogularis* – Cuqueca. C. *Cnemidophorus gaigei* – Lobito. D. *Ameiva praesignis* – Lobo pollero.

- **Estado actual de conservación y amenazas a la comunidad**

En general los lagartos encontrados suelen ser de hábitos generalistas, comunes en ambientes intervenidos y aún áreas urbanas. Todas las especies encontradas se consideran colonizadoras comunes de áreas intervenidas (Dueñez-Gómez et al. 2004, Butterfield et al. 2009, Medina-Rangel 2011).

Iguana iguana se encuentra listada en el Apéndice II de CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), es una especie que se comercializa en el mercado de mascotas. Adicionalmente, la especie suele ser usada para alimento en algunas comunidades en la región Caribe,

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

principalmente en áreas rurales. Actualmente hay varias instituciones trabajando por la conservación de la iguana (Bock 2013).

1.4.4. Aves

1.4.4.1. Composición y abundancia de la comunidad de aves

La recolección de datos se realizó en dos áreas escogidas por la viabilidad y facilidad del muestreo. La primera área desde la laguna del Cabrero hasta la ciénaga de Las Quintas (E1). Esta se caracteriza por estar compuesta principalmente por cuerpos de aguas estuarinas e incluye agua salada en la bahía de Cartagena, con parches de bosque de manglar como vegetación circundante; la segunda área se relaciona principalmente con el sistema de caños Juan Angola y canal Paralelo (E2), incluyendo playones y marismas en la ciénaga de la Virgen, igualmente con presencia de manglar, matorral bajo y áreas abiertas en el sector del aeropuerto.

Se registraron 67 especies de aves, pertenecientes a 26 familias (una especie registrada no se encuentra actualmente inscrita en alguna familia debido a taxonomía sin resolver, por lo que se registra como *Insertae sedis* (Remsen *et al.* 2015)) y 13 órdenes (Tabla 14). Composición de la comunidad de aves en el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.). Esta riqueza corresponde al 16% de aves registradas para el departamento de Bolívar, 412 especies según la base de datos eBird (2015).

Tabla 14. Composición de la comunidad de aves en el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.

TAXA	NOMBRE INGLÉS	E1	E2	TOTAL
GALLIFORMES				
Odontophoridae				
<i>Colinus cristatus</i>	Crested Bobwhite		5	5
SULIFORMES				
Fregatidae				
<i>Fregata magnificens</i>	Magnificent Frigatebird	9	3	12
Phalacrocoracidae				
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Neotropic Cormorant	39		39
PELECANIFORMES				
Pelecanidae				
<i>Pelecanus occidentalis</i>	Brown Pelican	73	5	78
Ardeidae				



TAXA	NOMBRE INGLÉS	E1	E2	TOTAL
<i>Tigrisoma lineatum</i>	Rufescent Tiger-Heron	1		1
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Black-crowned Night-Heron	6	1	7
<i>Nyctanassa violacea</i>	Yellow-crowned Night-Heron	2		2
<i>Butorides virescens</i>	Green Heron	14	17	31
<i>Butorides striata</i>	Striated Heron	1		1
<i>Bubulcus ibis</i>	Cattle Egret	7		7
<i>Ardea herodias</i>	Great Blue Heron	3		3
<i>Ardea cocoi</i>	Cocoi Heron	1	1	2
<i>Ardea alba</i>	Great Egret	46	2	48
<i>Egretta tricolor</i>	Tricolored Heron	5	7	12
<i>Egretta thula</i>	Snowy Egret	80	5	85
<i>Egretta caerulea</i>	Little Blue Heron	3	3	6
Threskiornithidae				
<i>Eudocimus albus</i>	White Ibis	13		13
CATHARTIFORMES				
Cathartidae				
<i>Cathartes aura</i>	Turkey Vulture		2	2
<i>Coragyps atratus</i>	Black Vulture	62		62
ACCIPITRIFORMES				
Pandionidae				
<i>Pandion haliaetus</i>	Osprey	1		1
Accipitridae				
<i>Buteogallus anthracinus</i>	Common Black Hawk	1		1
Charadriidae				
<i>Vanellus chilensis</i>	Southern Lapwing	1		1
Recurvirostridae				
<i>Himantopus mexicanus</i>	Black-necked Stilt	2	5	7
Scolopacidae				
<i>Numenius phaeopus</i>	Whimbrel		1	1
<i>Calidris sp.</i>	Least Sandpiper		23	23



TAXA	NOMBRE INGLÉS	E1	E2	TOTAL
<i>Gallinago delicata</i>	Wilson's Snipe		3	3
<i>Actitis macularius</i>	Spotted Sandpiper	1		1
<i>Tringa solitaria</i>	Solitary Sandpiper	2		2
<i>Tringa melanoleuca</i>	Greater Yellowlegs		2	2
<i>Tringa semipalmata</i>	Willet		1	1
<i>Tringa flavipes</i>	Lesser Yellowlegs	1		1
Laridae				
<i>Leucophaeus atricilla</i>	Laughing Gull	7	22	29
<i>Sternula antillarum</i>	Least Tern	5		5
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Gull-billed Tern		1	1
<i>Hydroprogne caspia</i>	Caspian Tern	1	3	4
<i>Sterna hirundo</i>	Common Tern		17	17
<i>Thalasseus sandvicensis</i>	Sandwich Tern		21	21
<i>Thalasseus maximus</i>	Royal Tern	11	26	37
Rynchopidae				
<i>Rynchops niger</i>	Black Skimmer		22	22
COLUMBIFORMES				
Columbidae				
<i>Columba livia</i>	Rock Pigeon	21		21
<i>Zenaida auriculata</i>	Eared Dove	11		11
<i>Columbina passerina</i>	Common Ground Dove		4	4
<i>Columbina talpacoti</i>	Ruddy Ground Dove	1		1
APODIFORMES				
Trochilidae				
<i>Amazilia tzacatl</i>	Rufous-tailed Hummingbird		1	1
CORACIIFORMES				
Alcedinidae				
<i>Megaceryle torquata</i>	Ringed Kingfisher	3		3
<i>Chloroceryle americana</i>	Green Kingfisher	1	1	2

TAXA	NOMBRE INGLÉS	E1	E2	TOTAL
PICIFORMES				
Picidae				
<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Red-crowned Woodpecker		3	3
FALCONIFORMES				
Falconidae				
<i>Milvago chimachima</i>	Yellow-headed Caracara	10	5	15
PSITTACIFORMES				
Psittacidae				
<i>Amazona ochrocephala</i>	Yellow-crowned Parrot	2		2
<i>Eupsittula pertinax</i>	Brown-throated Parakeet	352	10	362
PASSERIFORMES				
Tyrannidae				
<i>Machetornis rixosa</i>	Cattle Tyrant	2		2
<i>Myiozetetes similis</i>	Social Flycatcher		2	2
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Great Kiskadee	1	2	3
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tropical Kingbird	5	9	14
<i>Tyrannus dominicensis</i>	Gray Kingbird		1	1
Hirundinidae				
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Southern Rough-winged Swallow	2		2
<i>Tachycineta albiventer</i>	White-winged Swallow	4		4
Troglodytidae				
<i>Troglodytes aedon</i>	House Wren		2	2
<i>Campylorhynchus griseus</i>	Bicolored Wren		2	2
Thraupidae				
<i>Thraupis episcopus</i>	Blue-gray Tanager		4	4
Incertae Sedis				
<i>Saltator coerulescens</i>	Grayish Saltator		2	2
Parulidae				

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

TAXA	NOMBRE INGLÉS	E1	E2	TOTAL
<i>Protonotaria citrea</i>	Prothonotary Warbler	2		2
<i>Setophaga petechia</i>	Yellow Warbler	1	1	2
Icteridae				
<i>Icterus galbula</i>	Baltimore Oriole		1	1
<i>Icterus nigrogularis</i>	Yellow Oriole	1		1
<i>Molothrus bonariensis</i>	Shiny Cowbird		8	8
<i>Quiscalus mexicanus</i>	Great-tailed Grackle	211	15	226
ABUNDANCIA		1028	271	1299
RIQUEZA		45	42	67

Dentro de los órdenes de mayor riqueza encontramos, dos están estrechamente ligados a ambientes acuáticos: Charadriiformes (Chorlitos, gaviotas y afines: 18 especies) y Pelecaniformes (pelicanos, garzas y afines: 14 especies), que junto con el orden de las Passeriformes (aves canoras: 17 especies) representan el 73% de la riqueza de aves en el área de estudio (Figura 76).

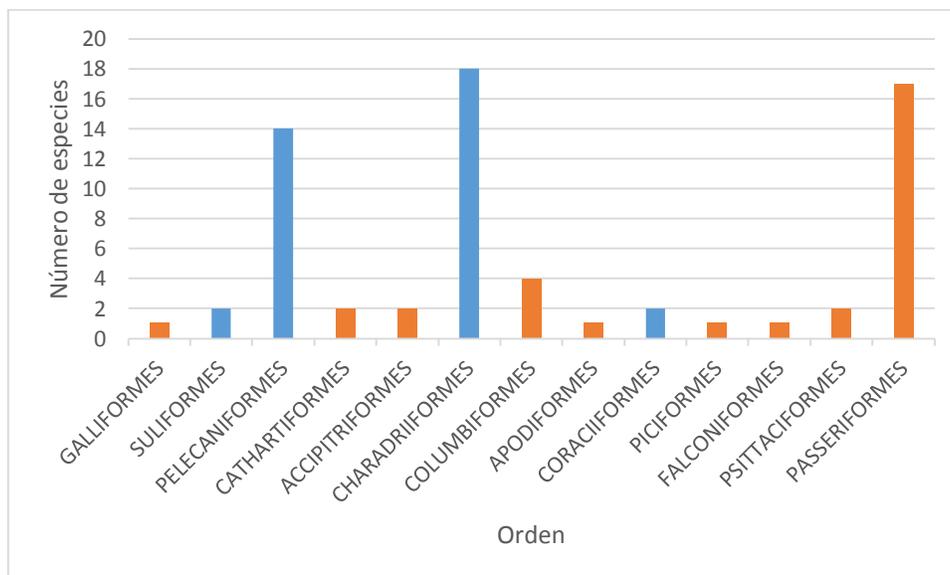


Figura 76. Riqueza por orden de aves registradas en las ciénagas y caños de Cartagena. En azul se muestran los órdenes netamente acuáticos.

En general la composición de la comunidad de aves está conformada principalmente por especies acuáticas, 12 familias de las 26 registradas en el estudio están relacionadas directamente a estos ambientes, de las cuales 3 registran las mayores riquezas para el

estudio (i.e. Ardeidae - garzas, Scolopacidae - chorlitos y Laridae - gaviotas), representando el 40% de la riqueza total (Figura 76). Las familias de aves terrestres están representadas por grupos comunes en las tierras bajas del Caribe colombiano y en ambientes urbanos e intervenidos (e.g. Tyrannidae - atrapamoscas, Columbidae - palomas, Icteridae – turpiales, entre otros), y fueron registradas principalmente en la vegetación de manglar de las ciénagas y en otra vegetación circundante a estas, principalmente en sectores urbanos.

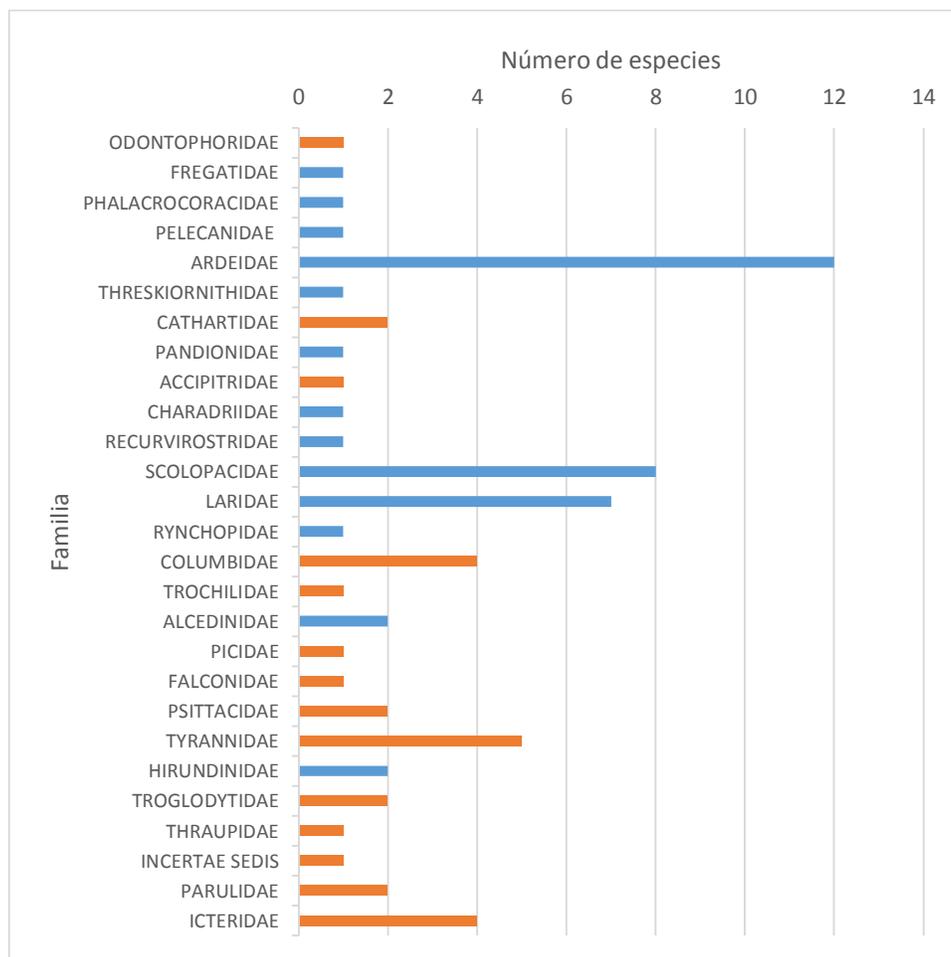


Figura 77. Riqueza por familia de aves registradas en las ciénagas y caños de Cartagena. En azul se muestran las familias con hábitos acuáticos.

- **Análisis de diversidad**

En la primera área (E1) se registraron 45 especies correspondientes al (67%), en comparación con la E2, donde se registraron 42 especies representadas en un (63%) (Tabla 14 y Tabla 15).

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Pese a las riquezas similares, el número de especies registradas en ambos sitios fue 20 (el 30% del total de la riqueza del estudio), correspondiendo a especies acuáticas comunes en la ciudad y otras especies terrestres muy bien adaptadas a ambientes antrópicos, la mayoría de éstas residentes. Las demás especies (25) fueron exclusivas de la E1 y 22 exclusivas de la E2. Si bien, dado el esfuerzo muestral no se puede inferir sobre la exclusividad de una especie a una zona (es necesario realizar un seguimiento exhaustivo del desplazamiento de la especie para determinar su exclusividad), ciertas características de los hábitats y micro-hábitats presentes condicionan su distribución. Así por ejemplo, las marismas favorecen la presencia de más aves limícolas, de igual forma otras especies prefieren lugares de caza abiertos como las ciénagas (e.g. gaviotas y gaviotines), mientras que para otras el manglar y las zonas de caños poco profundas son más favorables (e.g. garzas).

Tabla 15. Índices de diversidad para las áreas muestreadas en las ciénagas y caños de la ciudad de Cartagena.

INDICES DE DIVERSIDAD	E1	E2
Riqueza	45	42
Abundancia	1028	271
Dominancia	0,179	0,054
Índice Simpson	0,821	0,946
Índice Shannon	2,316	3,220
Índice de riqueza de Margalef	6,344	7,319
Equitatividad	0,608	0,861

Al analizar los índices de diversidad encontramos que, pese a que la E2 registró una menor riqueza y abundancia presenta índices de diversidad más altos, esto se debe a que una comunidad con valores de dominancia altos con unas pocas especies, suele ser menos diversa que una, donde los valores se distribuyen más equitativamente. Como se ha observado, en la E1 se registraron altos valores de abundancia para solo dos especies, que representan el 55% de la abundancia total para la zona, por lo que se podría estar sesgando el análisis de diversidad para cada zona, vale recordar que este es un muestreo puntual y se requieren más datos para conocer más acertadamente la dinámica de la avifauna del lugar.

- **Preferencia de hábitat**

El área de estudio se caracteriza por la presencia de diversos hábitats acuáticos y boscosos que condicionan la presencia y distribución de la comunidad de aves en la misma. Se identificaron los siguientes hábitats: 1) lagunas estuarinas y de agua salada, 2)

playas de arenas costeras y marismas, 3) caños, 4) bosques de manglar y 5) vegetación remanente con alto grado de intervención y fragmentación.

De acuerdo a lo anterior, como es de esperarse en un área costera como la muestreada, la mayoría de especies están relacionadas a hábitats acuáticos. Se registraron 36 especies (54%) que usan los hábitats acuáticos presentes en el área de estudio como ambiente primario para desarrollar sus actividades vitales, estas 34 especies están ligadas exclusivamente a estos ambientes (Figura 78), por lo que demuestra la importancia de las bahías, lagunas de agua salada y salobre, marismas entre otros hábitats, para estas especies, incluyendo varias especies migratorias Neárticas, que usan estos como sitios de invernada o como zona de abastecimiento en su ruta migratoria.

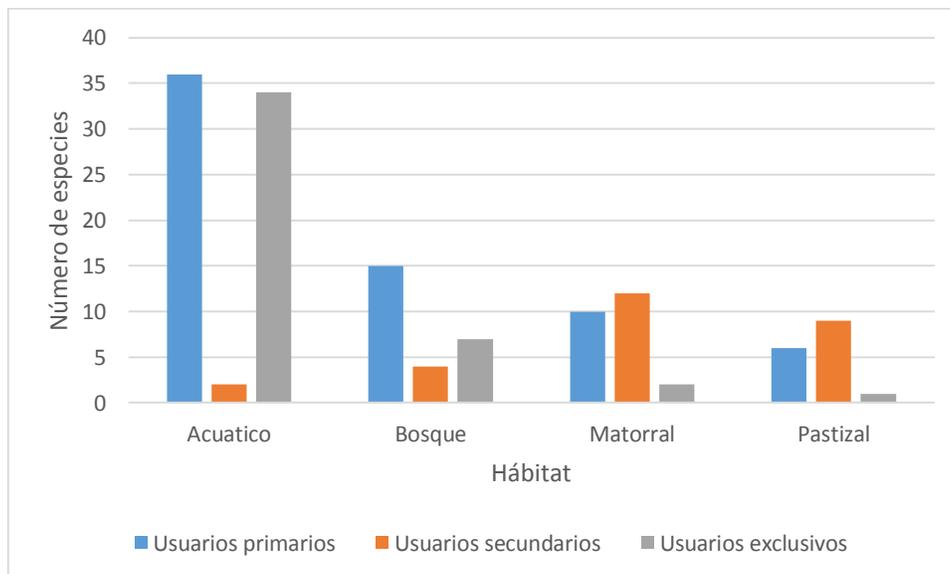


Figura 78. Preferencias de hábitats por la comunidad de aves en las ciénagas y caños de Cartagena.

Los bosques de manglar son de suma importancia para algunas especies de aves acuática ya que, dada la estructura de este bosque, es usado como sitio de anidación y refugio. En la ciénaga de San Lázaro se encuentra una pequeña isla de manglar conocida como “isla de los Pájaros”, usada como dormitorio comunitario entre varias especies (Figura 79), incluyendo *Phalacrocorax brasilianus* - Patobuzo, *Pelecanus occidentalis* - Pelicano, *Ardea alba* - Garza, *Egretta thula* – Garcita patiamarilla, *Eupsittula pertinax* – Cotorra carisucia, *Quiscalus mexicanus* – María mulata, entre otros; en este sitio se registraron más de 500 individuos.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



Figura 79. Izq. Aves perchando en la “isla de los Pájaros”. Der. Marismas en la ciénaga de la Virgen, donde se registraron grandes bandadas de aves limícolas y acuáticas.

Los playones o marismas se encontraron principalmente en la ciénaga de La Virgen, en inmediaciones de la boca del caño Juan Angola paralelo a la pista del aeropuerto Rafael Núñez, estos playones costeros, principalmente los estuarinos son importantes para una gran variedad de aves limícolas y vadeadoras, especialmente migratorias Neárticas (Stotz *et al.* 1996). Una gran variedad de aves acuáticas forrajea en estos playones y requieren de la presencia de cobertura de manglar (Figura 80). Estos playones suelen ser visitados por una gran diversidad de especies, dadas las adaptaciones para explotar los recursos presentes en los diversos microhábitats, así por ejemplo no todas las aves limícolas forrajean a la misma profundidad evitándose la competencia.

El caño Juan Angola soporta una variedad de aves acuáticas que forrajean en busca de organismos acuáticos desde perchas en la vegetación adyacente, y otras especies arborícolas que forrajean en el subdosel y dosel (Figura 80).



Figura 80. Garzas en faena de pesca en el caño Juan Angola. Izq. *Egretta tricolor* – Garza tricolor. Der. *Nycticorax nycticorax* – Vaco.

Las demás especies asociadas a hábitats de tipo bosque, matorral o pastizales y áreas abiertas, suman un total de 31 especies (46% del total registrado) (Figura 78), estas se

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

registraron principalmente en los bosques de manglar, y vegetación circundante a los cuerpos de agua, y algunas pocas sobrevolando el área (Figura 81 Figura 81).



Figura 81. Izq. *Quiscalus mexicanus* – María Mulata en bosque de manglar. Der. *Tyrannus melancholicus* – Sirirí en percha en vegetación riparia.

- **Especies Focales y de interés de conservación**

De las especies registradas en el área de estudio ninguna se encuentra en listados rojos nacionales o internacionales; no se registraron especies con algún grado de endemismo para el país.

Aves migratorias. Las aves migratorias son un grupo de aves consideradas focales y de importancia a la hora de evaluar el estado de una comunidad de aves, determinar prioridades de conservación y establecer especies susceptibles de monitoreo. De las 67 especies registradas en el estudio, se ha reportado comportamiento migratorio para 33 especies (49%) en 12 familias, de estas, 20 especies son invernantes no reproductivos en la región, es decir sus poblaciones se reproducen en otro país, mientras que de las otras 13, al ser invernantes con poblaciones reproductivas permanentes, no podemos tener certeza si los registros realizados corresponden a poblaciones residentes o migratorias (Tabla 16).

Tabla 16. Especies de aves migratorias registradas en el sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena. Tipo de migración: Lat. Latitudinal, Lon. Longitudinal, Alt. Altitudinal, Trans. Transfronteriza, Loc. Local. Estatus de Residencia: Irp. Invernante con poblaciones reproductivas permanentes, Inr. Invernante no reproductivo.

TAXA	NOMBRE INGLÉS	TIPO DE MIGRACIÓN	ESTATUS DE RESIDENCIA
SULIFORMES			
Phalacrocoracidae			
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Neotropic Cormorant	Lat-Alt-Trans-Loc	Irp
PELECANIFORMES			

TAXA	NOMBRE INGLÉS	TIPO DE MIGRACIÓN	ESTATUS DE RESIDENCIA
Pelecanidae			
<i>Pelecanus occidentalis</i>	Brown Pelican	Lat-Trans	Inr
Ardeidae			
<i>Nycticorax nycticorax</i>	Black-crowned Night-Heron	Lat-Trans-Loc	Inr
<i>Butorides virescens</i>	Green Heron	Lat-Trans	Inr
<i>Bubulcus ibis</i>	Cattle Egret	Lat-Trans-Loc	Inr
<i>Ardea herodias</i>	Great Blue Heron	Lat-Trans	Inr
<i>Ardea alba</i>	Great Egret	Lat-Trans	Inr
<i>Egretta tricolor</i>	Tricolored Heron	Lat-Trans-Loc	Inr
<i>Egretta thula</i>	Snowy Egret	Lat-Trans-Loc	Inr
<i>Egretta caerulea</i>	Little Blue Heron	Lat-Trans-Loc	Inr
CATHARTIFORMES			
Cathartidae			
<i>Cathartes aura</i>	Turkey Vulture	Lat-Trans	Inr
ACCIPITRIFORMES			
Pandionidae			
<i>Pandion haliaetus</i>	Osprey	Lat-Trans	Inr
CHARADRIIFORMES			
Recurvirostridae			
<i>Himantopus mexicanus</i>	Black-necked Stilt	Lat-Trans	Inr
Scolopacidae			
<i>Numenius phaeopus</i>	Whimbrel	Lat-Trans	Inr
<i>Calidris sp.</i>	Least Sandpiper	Lat-Trans	Inr
<i>Gallinago delicata</i>	Wilson's Snipe	Lat-Trans	Inr
<i>Actitis macularius</i>	Spotted Sandpiper	Lat-Trans	Inr
<i>Tringa solitaria</i>	Solitary Sandpiper	Lat-Trans	Inr
<i>Tringa melanoleuca</i>	Greater Yellowlegs	Lat-Trans	Inr
<i>Tringa semipalmata</i>	Willet	Lat-Trans	Inr
<i>Tringa flavipes</i>	Lesser Yellowlegs	Lat-Trans	Inr
Laridae			
<i>Leucophaeus atricilla</i>	Laughing Gull	Lat-Trans	Inr
<i>Sternula antillarum</i>	Least Tern	Lat-Trans	Inr
<i>Gelochelidon nilotica</i>	Gull-billed Tern	Lat-Trans	Inr

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

TAXA	NOMBRE INGLÉS	TIPO DE MIGRACIÓN	ESTATUS DE RESIDENCIA
<i>Hydroprogne caspia</i>	Caspian Tern	Lat-Trans	Inr
<i>Sterna hirundo</i>	Common Tern	Lat-Trans	Inr
<i>Thalasseus sandvicensis</i>	Sandwich Tern	Lat-Trans	Inr
<i>Thalasseus maximus</i>	Royal Tern	Lat-Trans	Inr
Rynchopidae			
<i>Rynchops niger</i>	Black Skimmer	Lat-Trans	Inr
PASSERIFORMES			
Tyrannidae			
<i>Tyrannus dominicensis</i>	Gray Kingbird	Lat-Trans	Inr
Parulidae			
<i>Protonotaria citrea</i>	Prothonotary Warbler	Lat-Lon-Trans	Inr
<i>Setophaga petechia</i>	Yellow Warbler	Lat-Trans	Inr
Icteridae			
<i>Icterus galbula</i>	Baltimore Oriole	Lat-Trans	Inr

Dentro de las especies migratorias reportadas, vale la pena recalcar el registro de *Tringa solitaria* (Andarriós solitario), catalogada como una especie de alta preocupación (Brown *et al.*, 2001), común en los cuerpos de agua de la región Caribe durante la temporada migratoria y sobre la cual no se han tomado medidas de conservación directas.

Protonotaria citrea (Reinita cabecidorada) es una especie migratoria de “Interés de Conservación” en Estados Unidos; está clasificada amenazada por la disminución de poblaciones de anidación en Estados Unidos (Butcher *et al.*, 2007) y catalogada como especie de preocupación por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos (BirdLife International, 2006). La especie suele ser común en el Caribe colombiano durante la temporada de invernada.

Adicionalmente *Pandion haliaetus* (Aguila pescadora) es otra especie migratoria que enfrenta amenazas en sus áreas de invernada ya que es vista como una competencia para las empresas piscícolas en la región y usualmente es cazada o envenenada. En menor medida *Icterus galbula* (Turpial de Baltimore) suele ser capturada para ser mantenida en cautiverio debido a su vistoso plumaje y suele ser observada en jaulas, principalmente en zonas rurales, aunque es considerada como una especie de preocupación menor (BirdLife International, 2008), su población no ha sido calculada.

CITES. De acuerdo con los listados CITES fueron reportadas 6 especies incluidas en el apéndice II (Roda *et al.* 2003), en estos listados se listan aquellas especies que presentan algún riesgo a la disminución de poblaciones por su comercio indiscriminado. Sin

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

embargo, a pesar de todas las especies listadas en los apéndices, no todas enfrentan una real amenaza en la región, ya que muchas se encuentran en CITES por su tráfico en el pasado para uso como ornamento y pieles (e.g. gavilanes, halcones y colibríes). Por lo que se debe prestar principal atención a las familias que son usadas como alimento, comercializadas ilegalmente o mantenidas en cautiverio, es el caso de patos, loros y algunas aves canoras (e.g. *Thraupis episcopus* – azulejo e *Icterus spp.* - toches), cuyas poblaciones a largo plazo podrían verse diezmadas debido a la presión antrópica que soportan en la región.

1.4.5. Fitoplancton

En el presente estudio se determinaron 44 morfoespecies (Figura 82), de las cuales 24 pertenecen a la clase Bacillariophyta (diatomeas) representando el 55 % de la comunidad fitoplanctónica, seguido por la clase Cyanobacterias con el 20%, Miozoa (dinoflagelados) con el 16 % (7 especies), (10 especies), Euglenophyta con el 5 % (dos especie) y Charophyta (clorófitas) con el 5% (dos especie) (Figura 82a). Sin embargo, la clase Euglenofita obtuvo el mayor porcentaje de células por litro en el estudio con un valor del 40 %, seguido por los dinoflagelados con el 32% (Figura 82b).

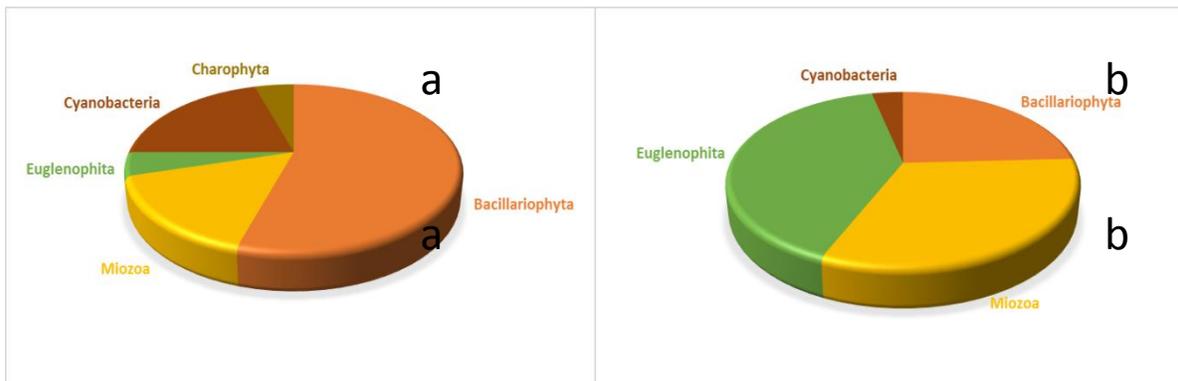


Figura 82. Representación de los grupos taxonómicos. a: Porcentaje de Riqueza; b: Porcentaje de Abundancia.

En la Figura 83 se observa el total de especies identificadas por estación, donde, la EM_6 registró un mayor número de especie con un total de 18 especies, entre las cuales nueve son diatomeas, tres especies de dinoflagelados, tres especies de cianobacterias, dos euglenófitos y una clorófitas; seguido por las estaciones EM_2, EM_4 EM_10. Sin embargo, en esta última el número de especies de la clase Euglenofitas superó a las demás.

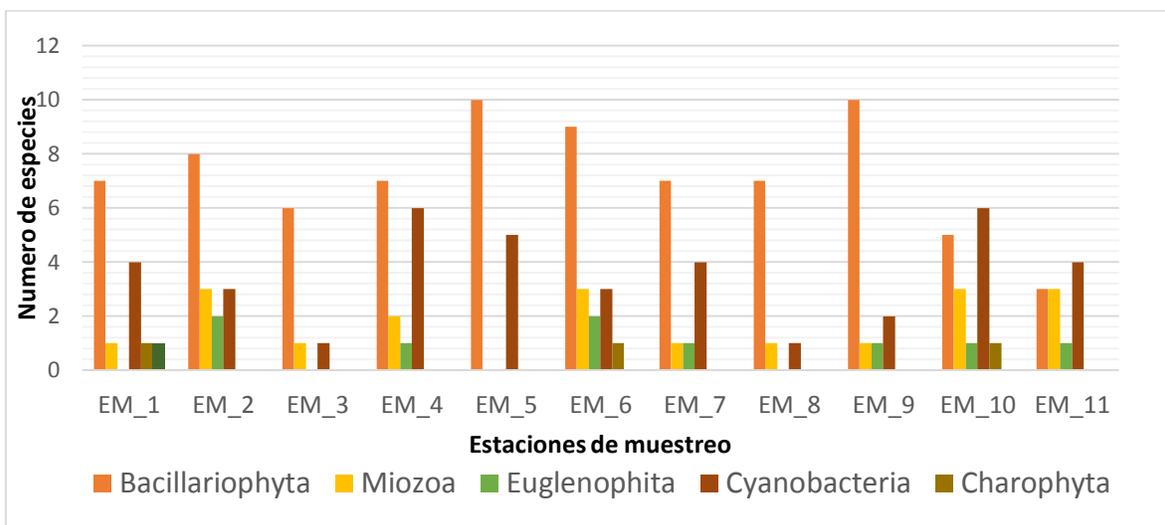


Figura 83. Número de especies por estación y por grupo taxonómico

La prueba estadística de K-W no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) en la composición y abundancia del fitoplancton en las estaciones de muestreo. Debido a la dominancia de algunas especies como *Gonyaulax sp*, *Euglena sp* y *Thracelomona sp*. Sin embargo, el análisis exploratorio de componentes principales si muestra un patrón de distribución a partir de las concentraciones de nutrientes, biomasa y abundancia celular en la zona de estudio (Figura 85). Además, se observa que las menores biomásas están asociadas estadísticamente a los niveles altos de amonio y materia orgánica y a niveles bajos de NKT, oxígeno disuelto y salinidad.

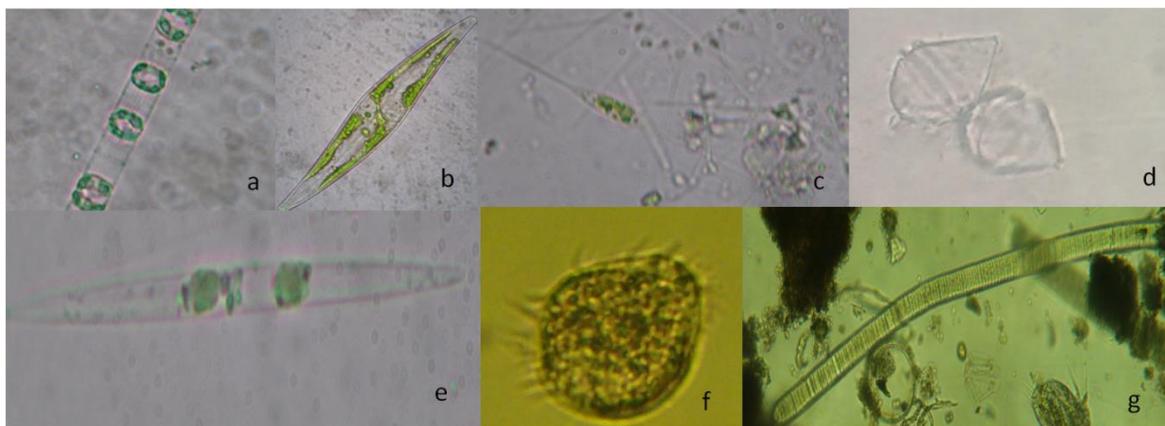


Figura 84. Evidencias de algunas de las especies de fitoplancton reportadas para este estudio. a: *Skeletonema costatum*, b: *Plerosigma*, c: *Nitzschia closterium*, d: *Gonyaulax sp*, e: *Nitzschia sp*, f: *Trachelomonas*, g: *Oscillatoria sp*.

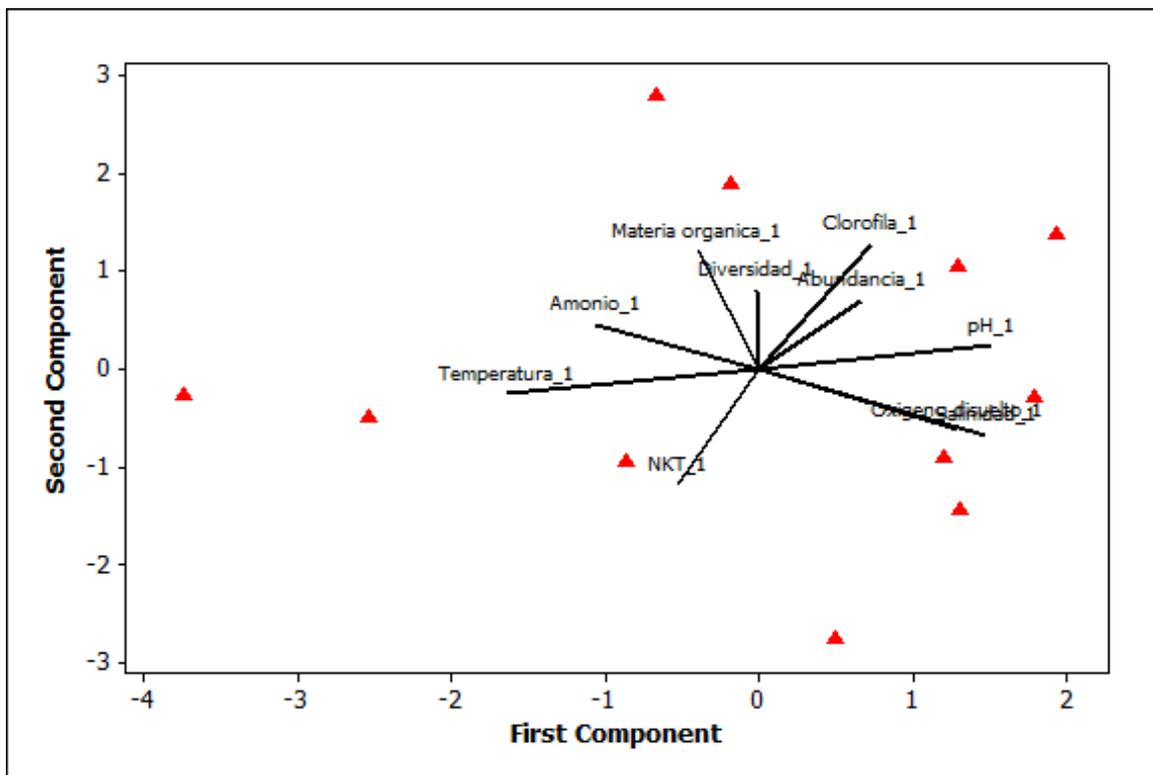


Figura 85. Análisis de componente principal (ACP) de las variables físicoquímicas y biológicas de la zona de estudio.

A parte de esto, las algas en su proceso de fotosíntesis producen materia orgánica disponible para el consumo de los organismos heterótrofos. Por lo que, entre más biomasa fitoplanctónica halla, mayor va a ser la concentración de material orgánico en el sistema. La materia orgánica esa compuesta entre un 50 y 75% en sustancias húmicas, son biológicamente resistentes y se forman por medio de la degradación microbiana de materiales de origen vegetal y animal (Palacio, 2007).

Sin embargo, el incremento anómalo de la concentración de estas sustancias en los ecosistemas acuáticos reduce la capacidad de penetración de la luz en la columna de agua, debido a su capacidad de absorción de la luz y afecta negativamente la biodisponibilidad del fósforo soluble por medio de su inmovilización. Esto hace que el potencial productivo del sistema se reduzca. Por esta razón, se puede inferir que los niveles de fosforo disuelto presente en este estudio estuviera por debajo del límite de detección en varias estaciones. La Figura 86 muestra el comportamiento de las abundancias y Clorofila en este estudio, se observa que los mayores valores de abundancia y clorofila se encuentran hacia la estación EM_5 y los menores valores se encuentran hacia la estación EM_7, EM_ y EM_11. Las mayores abundancias las reportaron las especies *Euglena sp*, *Trachelomonas sp*, de la clase Euglenophyta, estos

son organismos flagelados, desnudos y grandes, poseen clorofila *a* y *b*, beta carotenos y xantofilas, son abundantes en charcas y lagunas temporales con altas concentraciones de material orgánico (Roldan y Ramirez, 2000). El género *Thachelomonas* característico de sistemas mesotrófico a eutrófico, son abundantes en el estrato superior cuando las aguas son más o menos turbias, es muy tolerante a cambios ambientales tanto en pH como en contenido de nutrientes.



Figura 86. Relación abundancia-Clorofila en las estaciones de muestreo

En muchas de las estaciones se evidenció altas abundancias de dinoflagelados del género *Gonyaulax*, los cuales producen bioluminiscencia, pueden producir florecimientos (mareas rojas) y están asociados a producción de toxinas (Ramirez, 2000). Géneros como *Cylindrotheca*, y la mayoría de las especies de *Nitzschia* pueden preferir aguas de contenido iónico mediano, las cuales pueden ser duras o más o menos salobres, estos géneros fueron reportados en la mayoría de las estaciones. El género *Oscillatoria*, en condiciones favorables pueden formar blooms, estas son indicadoras de desechos industriales, de papel y producción salina; este género estuvo presente desde la EM_1 y EM_7.

Cabe resaltar que en la superficie acuática, no todas las formas químicas de los nutrientes (fósforo y nitrógeno) se encuentran disponibles para el crecimiento de las algas fitoplanctónicas. Solo las formas de nitrógeno en nitrato y amonio, los cuales se encuentran en los sedimentos erosionados (NH₄⁺), en la materia orgánica (N y NH₄⁺) y las aguas de escorrentía (NH₃⁻), constituyen la principal fuente de N (Follet, 2001). El fósforo, se encuentra como ortofosfatos (PO₄⁺) y es de esta manera como puede ser asimilado por los autótrofos (Correl, 1998).

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo pueden estar indicando que el sistema está limitado por el fósforo, por encontrarse siempre en menores cantidades, esto es porque, la dinámica del P depende principalmente de los aportes alóctonos. El fósforo es descompuesto por microorganismos y asimilado por el fitoplancton para sus procesos fotosintéticos, por esto, las algas deben competir con ciertas bacterias por el fósforo; si los sustratos orgánicos para el crecimiento bacteriano son altos, el crecimiento del fitoplancton puede verse afectado (Palacio, 2007). A diferencia del nitrógeno que depende principalmente de los procesos endógenos ligados desde su fijación hasta los aportes derivados tanto de la descomposición de la materia orgánica ocurrida en la zona ribereña de la cuenca, como los procedentes del sustrato y las pérdidas por desnitrificación (Donato et al., 1996). Por estas razones, en el presente estudio, las concentraciones de nitrógeno son mayores que las concentraciones de fósforo, y esto conlleva a la aparición de especies más adaptadas a este tipo de condiciones, (i.e algunas especies del género *Oscillatoria* (Cianobacteria) almacenan fósforo como polifosfatos y metafosfatos), que luego son utilizadas para su crecimiento en épocas de deficiencia de fósforo en el agua (Zaiss, 1976), eso hace que la especie esté en mayor capacidad de supervivencia a estas condiciones.

Con respecto a la temperatura, las distintas divisiones de algas se desarrollan dependiendo al rango de temperatura, así como, las diatomeas crecen en rangos de 5 °C a 20 °C, las algas verdes y pardas entre 15 °C y 30 °C y las cianobacterias a 30 °C (DeNicola, 1996). Es por esta razón, que en este estudio, aunque la diversidad fue mayor para la clase Bacillariophyceae, las mayores abundancias se registraron para la clase Euglenophitas, las cuales soportan mayores temperaturas.

El pH es uno de los factores que más interviene en el desarrollo del fitoplancton. Los valores de pH en ciénagas y lagos de las partes bajas tropicales exhiben rangos de pH entre 5.0 y 9.0, dependiendo de qué tan eutrofizado esté. En este estudio se reportan valores de pH entre 7.5 y 8.2, debido a que bajo estas condiciones los nutrientes están más disponibles al igual que los carbonatos y bicarbonatos que son fuente de Dióxido de Carbono en el agua, haciendo condiciones habitables para los organismos allí presentes.

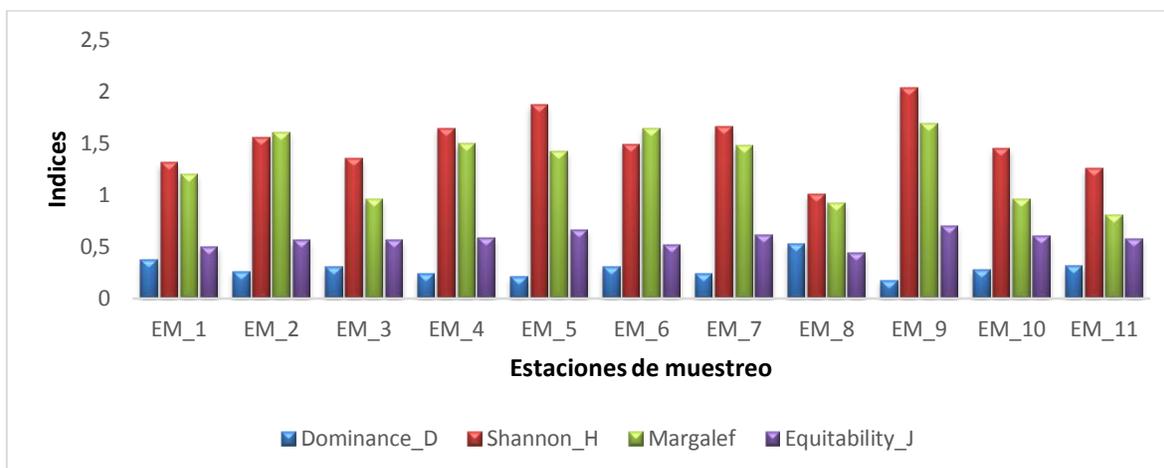


Figura 87. Valores de los índices de diversidad, dominancia, igualdad y riqueza para la comunidad fitoplanctónica en cada una de las estaciones de muestreo.

El índice de diversidad de Shannon osciló entre los valores de 1.0 y 2.0; registrándose la mayor diversidad de especies. La menor dominancia se registró en la estación EM_9 ($H'=2.031$ y $D= 0.17$). Los valores de diversidad más bajos y la dominancia más alta se presentaron en la estación EM_8 ($H'=1.0$; $D= 0,5$) y valores bajos de equidad. En general la riqueza presentó valores entre 0.8 y 1.7 donde la estación EM_6 obtuvo el valor más alto y la estación EM_8 presentó el valor más bajo. Estos índices, en especial H' , indican que estos cuerpos de agua están de medianamente contaminados (1.5-3.0 bits/individuo) a muy contaminada (0-1.5 bits/individuo). Siendo las estaciones menos contaminadas la EM_9, EM_4 y EM_5 (Figura 87).

1.4.6. Zooplancton

El zooplancton está conformado por todos los organismos microscópicos de origen animal que flotan libres en el agua, principalmente protozoos, rotíferos y microcrustáceos (cladóceros y copépodos), (Roldán y Ramírez, 2000). La riqueza de estas especies es menor comparándolas con las de fitoplancton en ecosistemas de agua dulce, y presentan un rasgo típico de adaptación, i.e los rotíferos son más pequeños y su ciclo de vida es más corto que los cladóceros y copépodos (Figura 88).

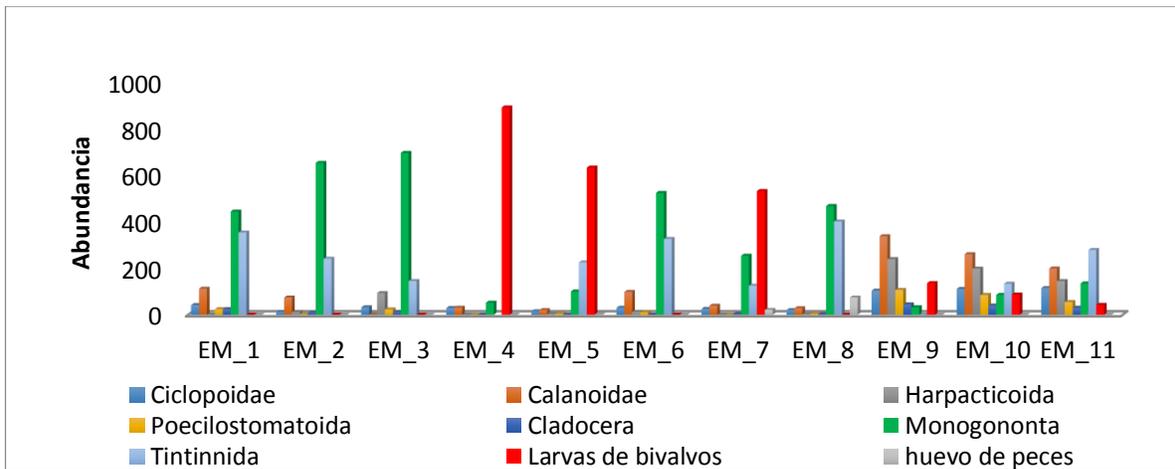


Figura 88. Representación de los grupos taxonómicos del Zooplankton en las estaciones de muestreo.

Se puede observar que el orden Monogononta (Rotíferos) es el más abundante en las estaciones EM_1, EM_2, EM_3, EM_6, EM_8 (Figura 88). Los rotíferos están catalogados como un grupo que tiene gran diversificación en agua dulce.

En lagos tropicales no se ha hallado una relación entre los rotíferos planctónicos y el nivel trófico, pues pueden hallarse en cualquier ambiente. Sin embargo, especies del género *Brachionus* (reportado en el presente estudio), resisten pH elevados y aguas abundantes en calcio, cloruros, sulfatos y carbonatos; por esta razón, se consideran indicadores de aguas eutrofizadas.

Los copépodos son otros de los organismos predominantes en la zona de estudio, siendo más abundante en las estaciones EM_9, EM_10 y EM_11 ubicada en la Ciénaga de las Quintas, puesto que esta tiene más aporte de agua salada. Estos se subdividieron en cuatro órdenes, de los cuales los más abundantes fueron Calanoida y Cyclopoida. Los primeros son filtradores de algas verdes y diatomeas principalmente, mientras que los segundos se alimentan de vegetales y animales. Como se observó en este estudio, los copépodos Calanoida dominan aguas eutrofizadas junto con los rotíferos del género *Brachionus* (Figura 88).

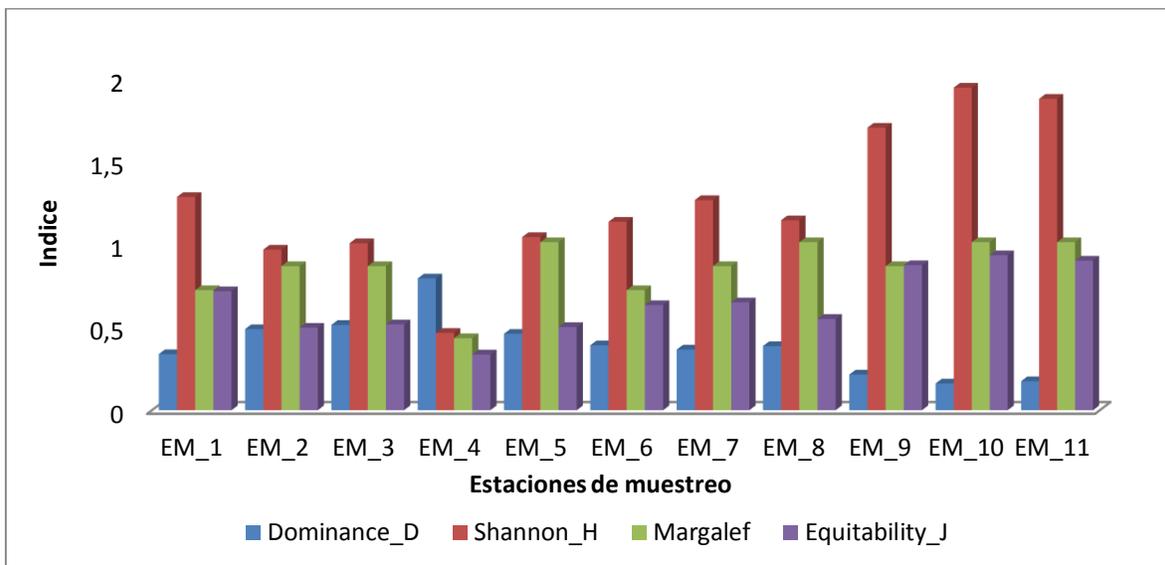


Figura 89. Análisis de diversidad, dominancia, equidad y riqueza.

La diversidad de zooplancton es más alta en las estaciones EM_9, EM10 y EM_11, esto es por la diversidad de copépodos y cladóceros que se reportaron en la Ciénaga de las Quintas, que tiene conexión directa con la Bahía de Cartagena. La dominancia más alta la presentó la estación EM_4, donde predominaron las larvas de bivalvos. Los valores de riqueza más alta se reportaron en la EM_5 y las bajas dominancias se presentaron también en la Ciénaga de las Quintas. Lo cual ratifica el grado de contaminación en el que se encuentra el sistema interno de caños y lagos del distrito de Cartagena de Indias.

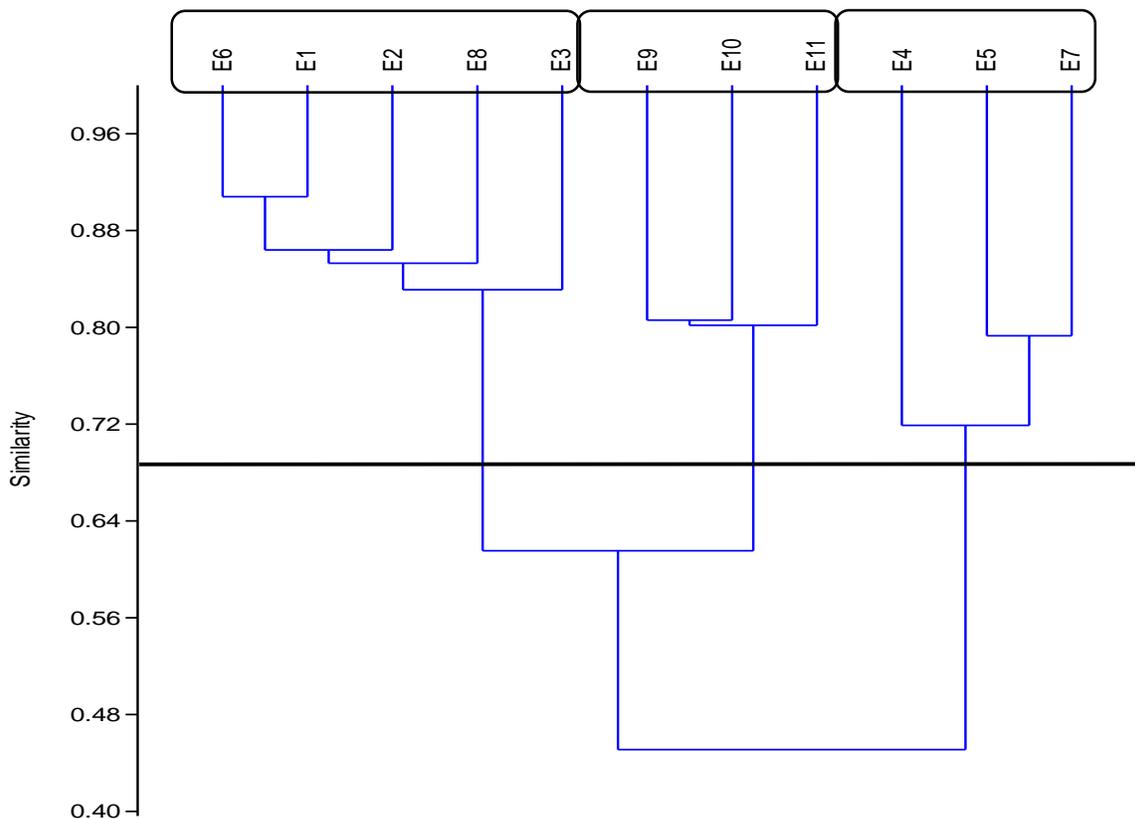


Figura 90. Representación gráfica del análisis descriptivo multivariado no paramétrico de Clasificación Cuantitativa (CLUSTER) para las estaciones.

La Figura 90 muestra el análisis de Clúster, con un 70% de similitud las estaciones se asocian en tres grupos, el primero formado por las estaciones EM_1, EM_2, EM_3, EM_8, EM_6, donde predominaron especies de Tintinidos y Rotíferos (Figura 91 b-d), seguido por EM_4, EM_5 y EM_7, donde predominaron aparte de los rotíferos y tintinidos, las larvas de bivalvos (Figura 92). Y por último, la asociación formada por las estaciones EM_9, EM_10 y EM_11 donde dominaron los copépodos y cladóceros (Figura 91 a).

Los organismos zooplanctónicos al ser consumidores de fitoplancton, controlan la biomasa fitoplanctónica y las consecuentes alteraciones de oxígeno, nutrientes y pH que están en relación directa con estos fenómenos. Normalmente, en los sistemas dulceacuícolas la abundancia de rotíferos y cladóceros superan a los copépodos. No obstante, en este estudio, se reportaron más copépodos de cladóceros, esto puede estar ocurriendo porque los cladóceros de mayor tamaño son atacados preferencialmente por los depredadores más que a los copépodos. Por esta razón, la presencia de estos organismos se convierte en indicadora del tipo de peces que pueden estar presentes (Roldan y Ramirez, 2000).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	---	---

Las bajas densidades de fitoplancton en las estaciones ubicadas en la ciénaga de las Quintas pueden estar asociadas a las altas abundancias de Copépodos en la zona, ya que muchos de ellos son fitófagos. Así mismo, pasa con las estaciones EM_2 y EM_3 donde predominaron los rotíferos que también son filtradores.

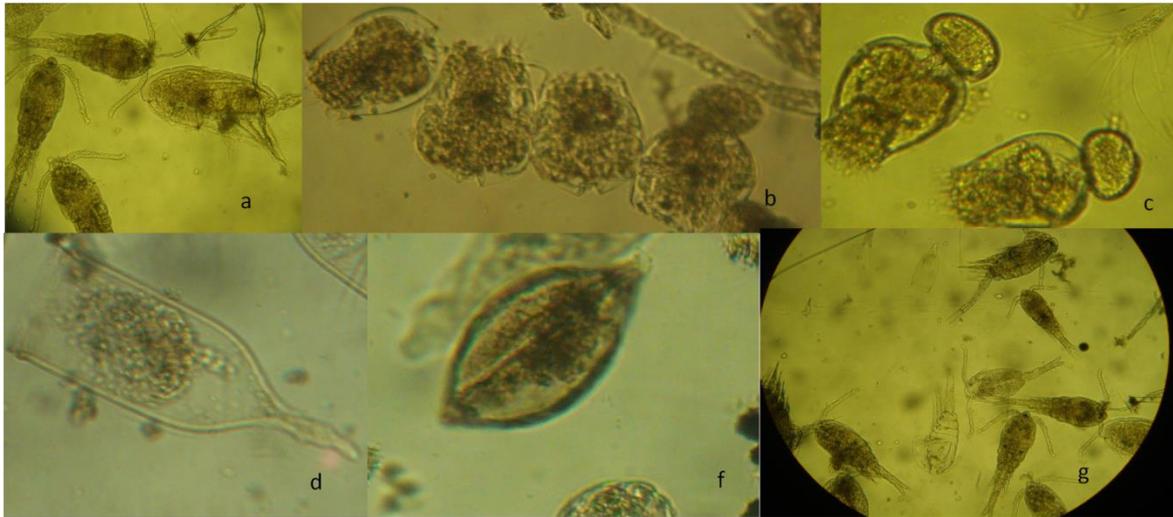


Figura 91. Ilustración de los grupos taxonómicos del zooplancton a: copépodos, b-c Rotíferos. d: Tintinidos. f. Larvas de bivalvos y g: Vista al microscopio de la muestra.

1.4.7. Bentos

Se consideran como macro invertebrados a todos aquellos animales invertebrados que tienen un tamaño superior a 500 μm . Constituyen el grupo dominante en los ríos, aunque también se encuentran en la zona litoral y en el fondo de lagos y lagunas. Estos están representados por diferentes familias de moluscos y larvas de insectos, aunque dependiendo de las condiciones ambientales del cuerpo de agua pueden ser comunes los crustáceos, oligoquetos, anélidos, nematodos e hirudíneos.

Para este estudio, las muestras de bentos solo arrojaron conchas de bivalvos ya muertas, se reportaron en la estación del Cabrero y al inicio el caño Juan Angola. Esto se debe a gran cantidad de material orgánico de la zona, lo cual hace condiciones inhóspitas para la vida de estos organismos, por lo que su presencia en esta área puede ser atribuidas a corrientes o aportes aloctónos.

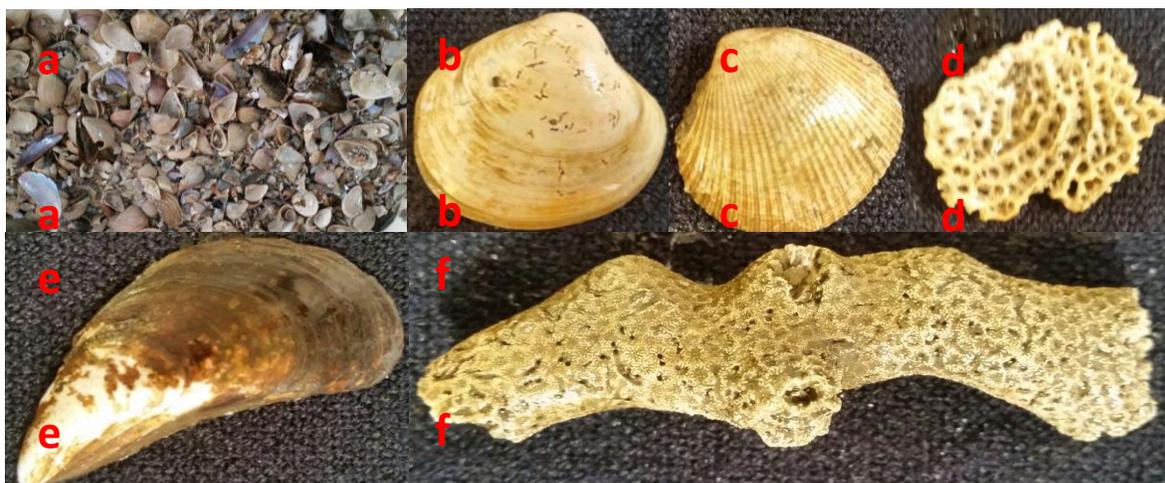


Figura 92. Conchas de bivalvos encontradas en el sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena.

Los sedimentos disminuyen la movilidad y favorecen la acumulación de los algunos compuestos orgánicos persistentes y metales pesados en el fondo de los ecosistemas acuáticos. Los sedimentos constituyen un reservorio y fuente importante de materiales orgánicos e inorgánicos, que pueden ser intercambiados con la columna de agua en la interface agua-sedimentos, dependiendo de las condiciones redox y del pH del agua (Palacio, 2000) Como las condiciones en los sedimentos son anaeróbicas, la reducción microbiana del sulfato implica el predominio de metales asociados a sulfuros de baja solubilidad y limitada biodisponibilidad (Isaure et al., 2002).

Como resultado de la formación y liberación de sulfatos, los metales pesados asociados se solubilizan rápidamente en la fase temprana de aireación. No obstante, la cinética de solubilización de los metales difiere y muestra tasas mayores de liberación para mercurio, plomo y cobre, luego de este proceso, se evidencia una incorporación (reabsorción) nuevamente al sedimento. Por esta razón en el nivel de plomo registrado en los sedimentos fue mayor que el soluble en la columna de agua (Palacio, 2000).

1.4.8. Escarabajos

En las últimas décadas, los ecosistemas acuáticos y terrestres han sido muy vulnerados por efecto de la intervención humana, involucrando actividades de interés económico. Debido a esta problemática, se ha creado la necesidad de idear estrategias que ayuden a estimar el grado de intervención que estas acciones provocan a dichos ecosistemas. Una de las estrategias para evaluar esta situación ha sido utilizar organismos que ayuden a determinar tales efectos, llamándolos: “Grupos Bioindicadores”.

Los grupos bioindicadores pueden tener varios propósitos, como por ejemplo, evaluar las condiciones del ambiente y dar una señal de alarma temprana sobre cambios negativos

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

en el mismo. En particular se buscan grupos que reflejen bien los cambios por acciones humanas como la fragmentación, la pérdida de fauna, simplificación del ecosistema, efectos de la introducción del sobrepastoreo y otros (Dale & Beyeler 2001).

Los escarabajos del estiércol de la subfamilia Scarabaeinae (Coleóptera: Scarabaeidae) han sido propuestos como un grupo indicador ya que permiten estimar el efecto de la fragmentación, evaluando el estado de conservación y monitoreando los cambios a lo largo del tiempo (Halffter & Favila 1993, Favila & Halffter 1997).

En el área de influencia del proyecto, desafortunadamente este grupo nos está indicando un alto grado de fragmentación y degradación del ecosistema, puesto que en la zona este grupo taxonómico no tiene representación alguna. Los escarabajos coprófagos están ligados directamente a la disponibilidad de materia orgánica como subproducto en forma de heces provista por otros grupos taxonómicos como mamíferos, reptiles, anfibios, aves, y todos los grupos faunísticos presentes en el área.

Esta estrecha asociación con el excremento tiene importantes consecuencias ecológicas en términos de la funcionalidad ecosistémica, tales como la fertilización y aireación del suelo (Mittal 1993), aumento de las tasas y eficiencia del ciclo de los nutrientes (Miranda *et al.* 1998), y afectando el rendimiento de la absorción de nutrientes por parte de las coberturas vegetales presentes. Adicionalmente, estos organismos ayudan al ciclaje de los residuos en los pastos, al control de plagas de moscas y parásitos de vertebrados y a la dispersión secundaria de las semillas defecadas por los mismos (Andresen & Levey 2004).

En este sentido, estos grupos taxonómicos también son reducidos en el área de estudio, por ende la materia orgánica en forma de heces también se ve reducida justificando de esta manera la inexistencia de los escarabajos coprófagos en el sistema de caños y lagos del distrito de Cartagena. Además, de que estos individuos son altamente sensibles a los cambios en variables microclimáticas, estructura de la vegetación, las características del suelo, y la abundancia de los recursos alimentarios (Amell y Noriega, 2012)

1.4.9. Diagnóstico del estado de conservación del Componente Biótico en el sistema de caños internos de la ciudad.

Los humedales están definidos por Cowardin et al (1979), como sistemas que comprenden áreas como marismas, pantanos, turberas, aguas naturales o artificiales, estancadas o en movimiento, ya sean dulces, salobres o saladas. Se incluyen dentro de los humedales los ambientes acuáticos cuya profundidad no exceda los seis metros. A partir, de los criterios de clasificación de humedales de la Convención Ramsar (Convención Relativa a los Humedales de importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas, Ramsar 1971), el sistema interno de caños y lagos de la ciudad de Cartagena de Indias se cataloga como un sistema estuarino intermareal boscoso.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Estos humedales tienen la función de intervención en funciones físicas de regulación del ciclo hídrico superficial y de acuíferos, retención de sedimentos, control de erosión y estabilización del microclima. Intervienen también, en la regulación de los ciclos de los nutrientes (retención, filtración y liberación), y descomposición de biomasa terrestre, así como en la retención del CO₂. Además de esto, sustentan actividades con funciones sociales, como la acuicultura, recreación e industria.

El sistema estuarino es uno de los ecosistemas más productivos, junto con los manglares según Wedler (1998). Esta producción depende de la circulación del agua, debido a que, mueve los nutrientes de manera vertical y horizontal, mueve el plancton y prolonga las larvas de peces y crustáceos, retira los desechos animales y vegetales del sistema, controla la salinidad y remueve los sedimentos. Esto, más los cambios en el volumen de escorrentía, velocidad de flujo, acción de las mareas y los vientos hacen de los estuarios uno de los ecosistemas más productivos del mundo (Roldán y Ramírez, 2000).

El sistema de caños y lagos internos del distrito de Cartagena es un estuario que por sus concentraciones de nutrientes, se podría afirmar que está en un proceso de eutrofización. Entendiéndose, eutrofización como el proceso mediante el cual hay un aumento anómalo en las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo); para el caso de este estudio, los valores de nitrógeno fueron altos. Esto hace que la biomasa fitoplanctónica aumente y se desplace favoreciendo especies dominantes capaces de sobrevivir a condiciones extremas como las del género *Gonyaulax*, *Trachelomonas* y *Euglena*. Por consiguiente, la penetración de la luz disminuye, reduciéndose así la fotosíntesis en las zonas más profundas de los caños, y en consecuencia de esto también disminuye el oxígeno; simultáneamente la actividad metabólica consumidora de oxígeno (descomponedores) también aumenta, consumiéndose todo el oxígeno disponible en el fondo del sistema. Debido a esto el medio se vuelve anóxico e inhabitable para otras especies. Esta es una de las razones por la cuales durante los muestreos no se obtuvo registros de especies bentónicas vivas.

Otro indicativo de la eutrofización de los caños y lagos internos de Cartagena es el contenido de materia orgánica, la cual es producida a través de los procesos fotosintéticos del fitoplancton y de la hojarasca proveniente del manglar. Además de las descargas de material orgánico producto de las heces fecales y urea (fuente significativa de nitrógeno) depositadas por la comunidades aledañas. A esto se le atribuye la gran abundancia del género *Brachionus* (rotíferos) indicadores de contaminación por materia orgánica.

Por otro lado, los manglares son ecosistemas asociados a los estuarios, y son claves a la hora de hablar de productividad, puesto que su biomasa es utilizada como alimento para peces y reptiles. La representatividad de este último grupo en el área de estudio fue muy poca. Sin embargo, se tiene conocimiento de la presencia de la especie *Boa constrictor* - Boa (Boidae) con una abundancia representativa. Las serpientes siempre han sido consideradas una amenaza por los humanos, independiente de su letalidad, dado el grado de desconocimiento que se tiene sobre esta fauna.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

El bosque de manglar también alberga otros tipos de organismos como las aves; estas han sido reportadas como agentes importantes a la hora de determinar cambios en el ecosistema, por lo que suelen ser usadas como especies indicadoras o centinelas (e.g. *Ardea herodias* - Garzón migratorio, ha sido utilizada como especie indicadora del estado de contaminación del río St. Lawrence en Canadá). El hecho, de que algunas especies de aves acuáticas se encuentren en lo alto de la cadena alimenticia en ecosistemas acuáticos (e.g. *Ardea alba* - Garza real y *Ardea cocoi* - Garzón azul), y que algunas presentan campos de alimentación relativamente limitados, podría desembocar en la concentración de sustancias tóxicas ante la presencia de contaminantes, repercutiendo así en las funciones biológicas esenciales, como crecimiento, reproducción, etc.

Los hábitats y acceso al recurso acuático que se encuentran en los bosques secos de las tierras bajas del Caribe colombiano son de suma importancia para las poblaciones de aves migratorias en primavera y otoño como sitio de abastecimiento al momento de llegar de su viaje o de iniciar su viaje de regreso (Strewe *et al.*, 2009). Dentro de las principales amenazas que enfrentan las especies migratorias se encuentra la destrucción y alteración de hábitats (Naranjo y Amaya, 2009), incluyendo los ecosistemas de manglar y el bosque seco tropical, ambos enfrentan graves amenazas en el país por la expansión de la frontera agrícola; de allí la importancia de áreas como la estudiada, cuyas medidas de manejo y conservación deben ser establecidas. Vale la pena recalcar que en el presente estudio se registraron 34 especies exclusivamente acuáticas, en comparación con la Región eco-deltaica fluvio-estuarina del Canal del Dique, donde se encuentra el “SFF El Corchal El Mono Hernandez” se han reportado 39 especies de aves acuáticas; lo que demuestra el valor de cada uno de los hábitats y los recursos que estos ofrecen en las ciénagas y caños al interior de la ciudad de Cartagena.

Otro de los grupos taxonómicos que alberga el complejo sistémico del manglar y los cuerpos de agua es la clase insecta. Estos Artrópodos son considerados como indicadores de la calidad del ambiente. Los escarabajos coprófagos pertenecientes a la familia Scarabaeidae, componen un grupo interesante para hacer estudios de diversidad a nivel local y regional, como también para conocer los cambios ocasionados por la actividad antrópica en áreas naturales (Halffter & Favila 1993). Estos insectos son considerados como instrumentos claves en la ecología de un lugar, pues son de mucha importancia en el reciclaje de nutrientes, porque al enterrar el estiércol en la superficie del suelo, previenen la pérdida de nitrógeno (N) a través de la volatilización de amoníaco (NH₃) (Gillard 1967), y mejoran la fertilidad del suelo mediante disponibilidad del N lábil para ser consumido por las plantas a través de la mineralización (Yokoyama et al. 1991); además, evidencian el estado de conservación en que se encuentran los ecosistemas (Nichols et al. 2008). Considerando la diversidad de las zonas de transición ecológica que deberían encontrarse en el sistema, es inusual que grupos como éste no tengan representación alguna en el área de estudio. Esto puede deberse a la disminución en la cobertura vegetal propia de estos y a la intensidad en el uso de los ecosistemas.

El estado ambiental del sistema de caños y lagos internos del distrito de Cartagena de indias en la actualidad es crítico. Es preocupante el grado de fragmentación y presión

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---	---

antrópica (extracción de leña, industria, obras de ingeniería) a la que se encuentran sometidos los pocos relictos de bosque de manglar existentes en cada uno de los cuerpos de agua que lo componen. Lo cual conlleva a la disminución de las abundancias y las riquezas de todos los grupos faunísticos importantes para la estabilidad y funcionalidad, que dependen del ecosistema de manglar.

Sin embargo, existen otro tipo de problemáticas mucho más difíciles de manejar. La contaminación ya sea de origen doméstica y el taponamiento de sus comunicaciones a través de los corredores biológicos con el mar por la construcción de carreteras dentro de estos sistemas, también impiden la restauración ecológica pasiva de este complejo sistémico; y finalmente, la contaminación por materia orgánica que genera bajas de oxígeno en el agua y contamina con bacterias de origen fecal (*Escherichia coli*) otros tipos de organismos que pueden servir de sustento para la misma comunidad.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

2. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS QUE SE ENCUENTRAN EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS.

Los componentes biofísicos y socioeconómicos que se identificaron son los que se presentan en la Tabla 17 y Figura 93 y que en conjunto conforman el área de influencia del sistema de caños y lagos.

Tabla 17. Componentes Biofísicos presentes en el área de influencia del sistema de Caños y lagos Internos.

Componentes Biofísicos	Componentes Socioeconómicos
Cuencas hidrográficas que drenan al sistema de caños y lagos.	Practicas socioculturales. <ul style="list-style-type: none"> • Residenciales. • Recreación y Deporte. • Tráfico vehicular y peatonal. • Salud • Educación.
Vegetación que se encuentran en las rondas hídricas de los arroyos de las cuencas que drenan al sistema de caños y lagos.	Practicas económicas. <ul style="list-style-type: none"> • Industrial • Comercio formal e informal. • Hotelería y Turismo. • Portuarias y Marítimas.
Ciénaga de la Virgen	
Bahía interna de Cartagena	
Suelo que soporta al área de influencia con sus características geológicas y geomorfológicas y coberturas de la tierra y tipos de suelo	
Atmosfera	

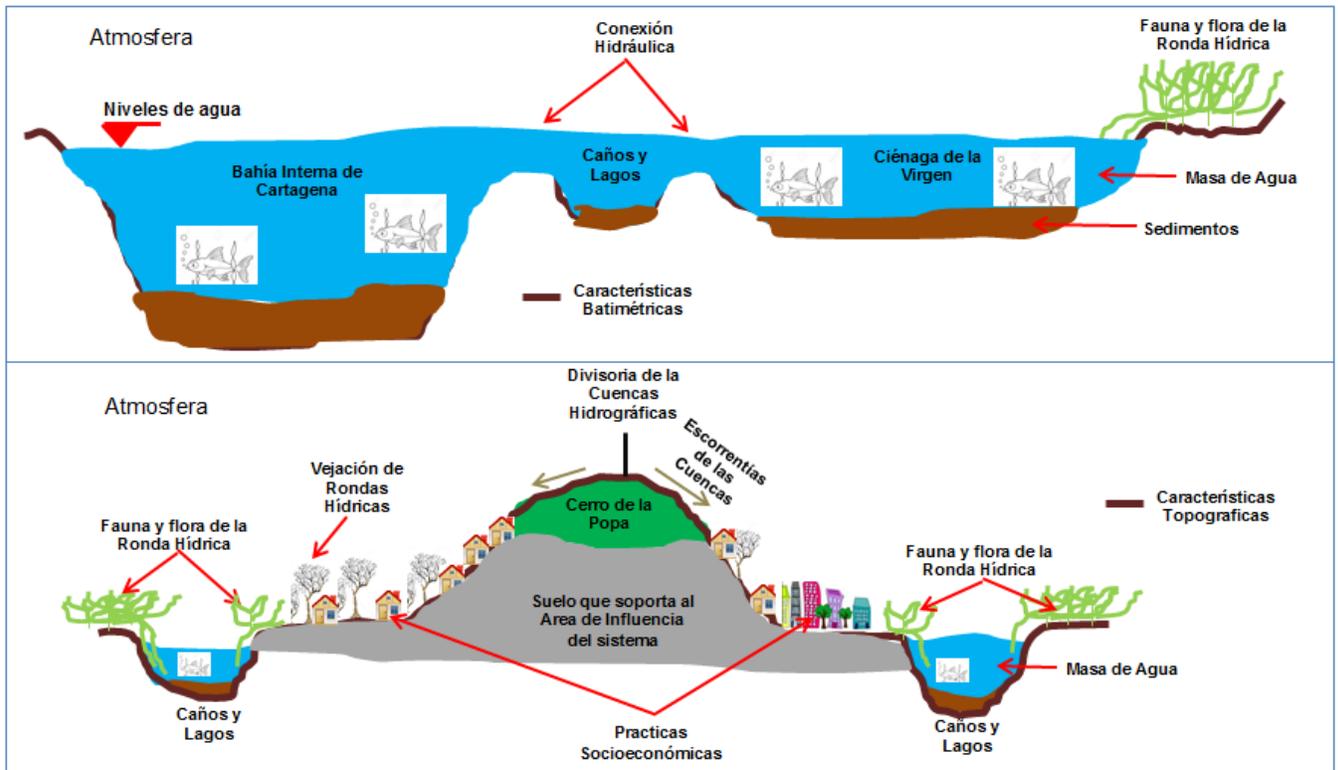


Figura 93. Componentes Biofísicos presentes en el área de influencia del sistema de Caños y lagos Internos.

2.2. COMPONENTES BIOFÍSICOS.

2.2.1. Cuencas hidrográficas que drenan al sistema de caños y lagos.

Las cuencas hidrográficas que drenan hacia el sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena son las que se relacionan en la Tabla 18 y se ilustran en la Figura 94, resaltado la localización de los drenajes y sus direcciones de flujo. Estas cuencas fueron definidas con base en el Plan Maestro de Drenajes Pluviales de Cartagena (Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, 2009).

Tabla 18. Cuencas hidrográficas que drenan hacia el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena de Indias.

No.	Nombre de la Cuenca	Cuerpo de Agua al que drenan
1	San Francisco, Sector La Loma	Caño Juan Angola (sector Canal Paralelo)
2	San Francisco, Calle 77 (La Amistad)	Caño Juan Angola (sector Canal Paralelo)

No.	Nombre de la Cuenca	Cuerpo de Agua al que drenan
3	Daniel Lemaitre	Caño Juan Angola/Canal Paralelo
4	7 de Agosto	Caño Juan Angola/Canal Paralelo
5	Crespito	Caño Juan Angola (sector Crespo)
6	Canapote	Caño Juan Angola (sector Crespo)
7	Torices, Calle 50	Caño Juan Angola (sector Marbella)
8	Torices, Calle 44	Caño Juan Angola (sector laguna del Cabrero)
9	Torices, Calle 42	Caño Juan Angola (sector laguna del Cabrero)
10	Torices, Calle 37	Caño Juan Angola (sector laguna del Cabrero)
11	Pie del Cerro, Cra 16A	Caño Bazurto
12	Pie del Cerro, Cra 21B	Caño Bazurto
13	Bazurto	Ciénaga Las Quintas
14	Crespo	Mar Caribe
15	Manga	Caño Bazurto

Fuente: Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias (2009).

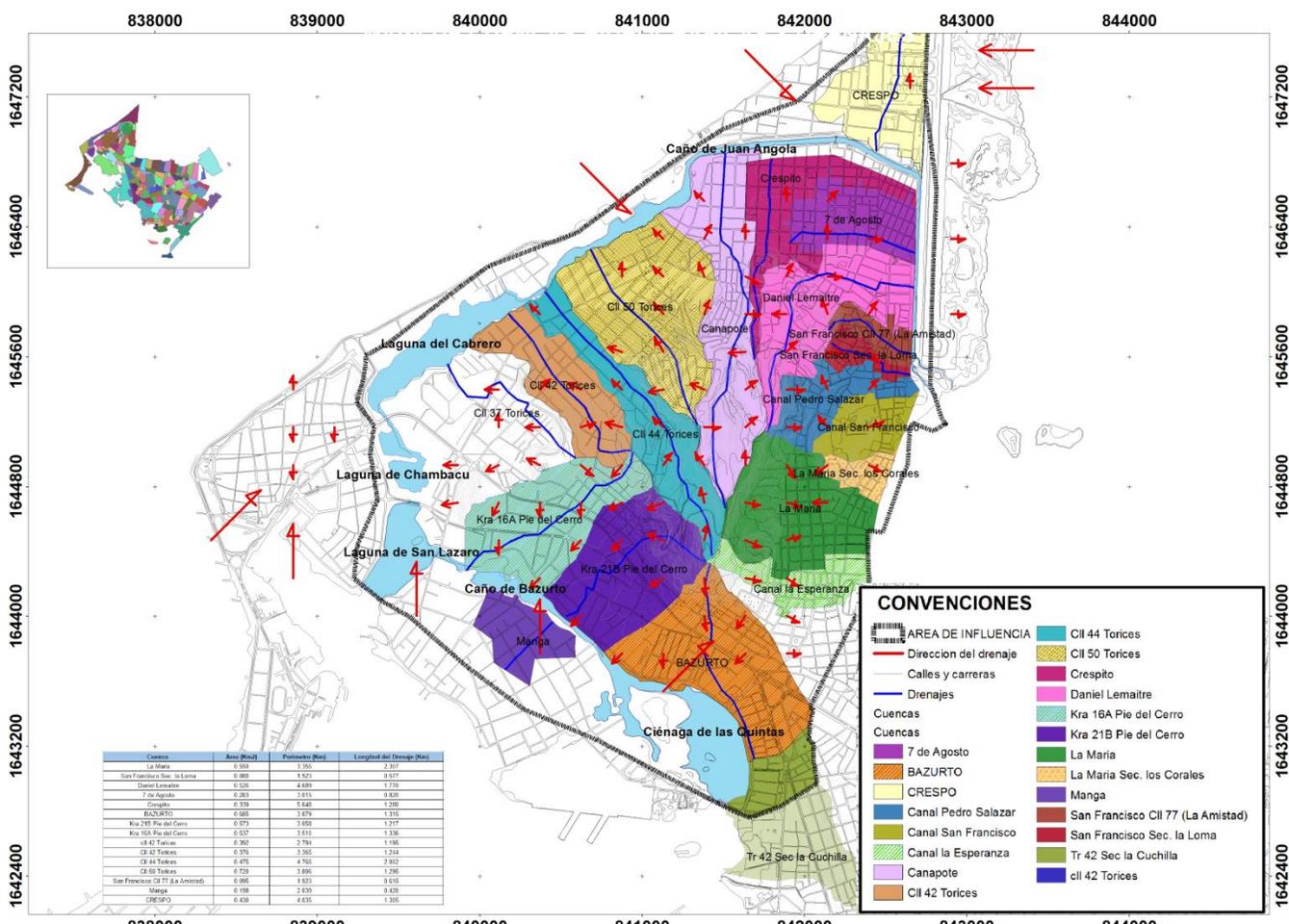


Figura 94. Mapa cuencas hidrográficas que drenan al sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena de Indias. Dirección del drenaje y localización del cauce principal de las cuencas.

Para cada una de las cuencas hidrográficas de la Tabla 18, se describen los siguientes aspectos fundamentales para entender su comportamiento hidrológico:

Parámetros morfométricos, tiempos de concentración (T_c), curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y, finalmente, caudales de escorrentía calculados bajo los métodos racional y del número de curva ($Curve Number, CN$). A continuación, se presentan los resultados de cada uno.

2.2.1.1. Parámetros morfométricos.

Los parámetros morfométricos evaluados para cada una de las cuencas se presentan y describen en la Tabla 19.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Tabla 19. Definición de cada uno de los parámetros morfométricos.

Parámetro Morfométrico	Definición
Longitud del cauce principal (Lc)	Corresponde a la mayor longitud recorrida por el drenaje principal de la cuenca.
Área de drenaje	Medida de la superficie del terreno que contribuye con el aporte de escorrentía, delimitada por las divisorias topográficas
Perímetro de la cuenca	Longitud de la línea envolvente del área de la cuenca
Longitud axial de la cuenca (L)	Distancia entre la desembocadura y el punto más alejado de la cuenca.
Densidad de drenaje (Dd)	<p>Indica la capacidad de una cuenca para evacuar las aguas que escurren por su superficie. Los valores típicos son: (a) <i>mal drenados</i> es de 0,5 Km² y (b) <i>bien drenados</i> 3,5 Km².</p> $Dd = \frac{\text{Longitud total del drenaje}}{\text{área de la cuenca}} \quad (1)$
Sinuosidad (s)	<p>La sinuosidad es la relación entre la longitud del cauce y la longitud de la recta principal, estableciendo que tan recto es el cauce principal.</p> $s = \frac{\text{Longitud del cauce principal}}{\text{Longitud de la recta del cauce principal}} \quad (2)$
Coefficiente de compacidad o Índice de Gravelius (Kc)	<p>Relación entre el perímetro de una cuenca y el área de un círculo, cuyo fin es determinar cuan circular es la cuenca (grado de redondez de la cuenca), entre más alejado a 1 este, menos circular será.</p> $Kc = 0,28 \times \frac{\text{Perímetro}}{(\text{Área de la cuenca})^{0,5}} \quad (3)$
Pendiente media (Sm).	<p>Es la inclinación que tiene la cuenca con respecto al horizonte además de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.</p> $Sm = \frac{\text{Cota max} - \text{Cota min}}{\text{Longitud axial (m)}} \quad (4)$
Ancho promedio (Ap).	<p>Esta ecuación, ayuda a identificar cual es el ancho promedio en Km de la cuenca.</p> $Ap = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud del cauce principal}} \quad (5)$

Los valores de los parámetros morfométricos para cada cuenca se presentan en la **Tabla 20**

 	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA	Revisión: 1
	CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Fecha: Dic-2015

Tabla 20. Características morfométricas de las cuencas que drenan al sistema de lagos, lagunas y ciénagas de Cartagena.

Características de la cuenca	Cuenca														
	San Francisco Sec. La Loma	San Francisco CII 77 (La Amistad)	Daniel Lemaitre	7 de Agosto	Crespito	Canapote	Torices CII 50	Torices CII 44	Torices CII 42	Torices CII 37	Pie del Cerro Cra 16A	Pie del Cerro Cra 21B	Bazurto	Crespo	Manga
Área (Km ²)	0,0799	0,0946	0,5257	0,2833	0,3391	0,6826	0,7196	0,4748	0,376	0,3918	0,5368	0,5725	0,6851	0,4298	0,1983
Perímetro (Km)	1,66	1,92	4,69	3,02	5,65	5,61	3,81	4,77	3,365	2,7940	3,51	3,06	3,88	4,04	2,04
Long. de la recta del cauce principal (Km)	0,524	1,011	1,270	0,775	1,211	2,188	1,265	1,918	1,146	0,978	1,259	0,926	1,236	1,271	0,419
Long. cauce principal (Km)	0,520	0,630	1,810	0,910	1,150	2,320	1,110	2,002	1,300	1,000	1,200	1,000	1,315	1,305	0,420
Grado de urbanización (Km ² /Km ²)	0,687	0,515	0,801	0,997	0,864	0,703	0,972	0,494	0,915	0,884	0,779	0,795	0,881	0,864	0,904
Long. axial (Km)	0,538	0,534	1,270	0,845	1,211	2,188	1,265	1,923	1,146	0,978	1,283	0,985	1,236	1,271	0,419
Sinuosidad	0,992	0,623	1,425	1,175	0,950	1,060	0,878	1,044	1,135	1,022	0,953	1,080	1,064	1,027	1,002
Densidad de drenaje (Km/Km ²)	6,506	6,657	3,443	3,212	3,391	3,399	1,543	4,216	3,459	2,552	2,236	1,747	1,919	3,036	2,118
Ancho promedio (Km)	0,152	0,094	0,414	0,366	0,280	0,312	0,569	0,248	0,328	0,401	0,426	0,618	0,554	0,338	0,473
Coef. de forma	0,276	0,332	0,326	0,397	0,231	0,143	0,450	0,128	0,286	0,410	0,326	0,590	0,448	0,266	1,129
Coef. de compacidad	1,648	1,750	1,811	1,586	2,716	1,901	1,256	1,936	1,537	1,250	1,341	1,132	1,312	1,723	1,282
Cota mayor (msnm)	35,66	56,0	71,5	11	66,08	130	90	136	90	38	90	153	154	2	3
Cota menor (msnm)	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pendiente media (%)	6,4%	10,3%	5,6%	1,2%	5,3%	5,9%	7,0%	7,0%	7,8%	3,8%	6,9%	15,4%	12,4%	0,1%	0,5%
Pendiente media (m/m)	0,0644	0,1031	0,0555	0,0118	0,0532	0,0590	0,0704	0,0702	0,0777	0,0378	0,0694	0,1543	0,1238	0,0008	0,0048

Nota: Grado de urbanización = área urbanizada/área total de la cuenca; msnm=metros sobre el nivel del mar; Pendiente= pendiente promedio del cauce principal.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

2.2.1.2. Tiempos de concentración

Se define como el tiempo que demora una gota de lluvia en recorrer desde el punto más remoto hidráulicamente hablando hasta la salida de la cuenca hidrográfica o sitio de interés de diseño. Existen varios métodos para la determinación del T_c . Para este estudio se utilizaron los métodos mostrados en la Tabla 21 y luego se calculó el promedio.

Tabla 21. Métodos para la estimación del tiempo de concentración (T_c).

Método	Ecuación de T_c (h)	Comentarios (*)
Kirpich (Tennessee) (1940)	$T_c = 0,0003245L^{0,77}S^{-0,385}$	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollada por el NRCS (antiguo SCS). • Se recomienda que para flujo superficial (overland flow) sobre superficies de asfalto o concreto multiplicar por 0,4; para canales en concreto multiplicar por 0,2; no correcciones si es suelo descapotado o flujos en canales laterales de vías. • Áreas entre 0,00404–0,45324 Km². • Pendiente entre 3 y 10%.
California Culvert Practice (1942)	$T_c = [0,871L^3\Delta H^{-1}]^{0,385}$ L, en esta ecuación está dado en Km.	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado inicialmente para pequeñas cuencas montañosas en California. • Está basada esencialmente en la fórmula de Kirpich.
Témez (1987)	$T_c = 0,3[LS^{-0,25}]^{0,76}$	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado inicialmente para cuencas rurales. • Apto para cuencas inferiores a 200 Km².
Velocidad	$T_c = LK^{-1}S^{-0,5}$	<ul style="list-style-type: none"> • $T_c = LV^1$ (fórmula original). • K para Cartagena es de 4,47 (Plan Maestro de Drenajes Pluviales de Cartagena, 1981. Citado en Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, 2009). • Vel. de concentración = $K(S^{0,5})$, en m/s.

Nota: L = la longitud del cauce principal (m); S = la pendiente promedio de la cuenca (m/m); (*) Sharifi y Hosseini (2011); Vélez y Botero (2011).

Para el cálculo de los tiempos de concentración fue necesario determinar las variables de las ecuaciones, con base en las características de cada una de las 15 cuencas, las cuales se encuentran resumidas en la **Tabla 20**. La Tabla 22 muestra los tiempos de concentración.

Tabla 22. Tiempos de concentración de las cuencas.

Cuenca	Tiempo de concentración (T_c)							
	Métodos				T_c promedio (h)	T_c promedio (min)	Tiempo de rezago (min)	k (Clark) (h)
	California	Kirpich	Témez	Velocidad				
San Francisco Sec. La Loma	0,114	0,115	0,128	0,13	0,121	7 (10)	4,359	0,0908
San Francisco CII 77 (La Amistad)	0,119	0,111	0,136	0,12	0,122	7 (10)	4,390	0,0915

 	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Revisión: 1
		Fecha: Dic-2015

Cuenca	Tiempo de concentración (T_c)							
	Métodos				T_c promedio (h)	T_c promedio (min)	Tiempo de rezago (min)	k (Clark) (h)
	California	Kirpich	Témez	Velocidad				
Daniel Lemaitre	0,366	0,318	0,340	0,48	0,375	23	13,514	0,2815
7 de Agosto	0,350	0,340	0,270	0,52	0,370	22	13,327	0,2776
Crespito	0,224	0,228	0,243	0,31	0,251	15	9,047	0,1885
Canapote	0,386	0,377	0,406	0,59	0,441	26	15,860	0,3304
Torices, CII 50	0,190	0,199	0,538	0,26	0,309	19	11,126	0,2318
Torices, CII 44	0,320	0,314	0,842	0,47	0,492	30	17,716	0,3691
Torices, CII 42	0,228	0,217	0,595	0,29	0,347	21	12,479	0,2600
Torices, CII 37	0,236	0,234	0,559	0,32	0,343	21	12,345	0,2572
Pie del Cerro, Cra 16A	0,208	0,213	0,572	0,28	0,331	20	11,916	0,2482
Pie del Cerro, Cra 21B	0,137	0,136	0,428	0,16	0,234	14	8,412	0,1753
Bazurto	0,188	0,183	0,549	0,23	0,307	18	11,038	0,2300
Crespo	1,290	1,274	1,428	2,89	1,331	80	47,906	0,9980
Manga	0,267	0,266	0,428	0,38	0,320	19	11,531	0,2402

Nota: Tiempo de rezago = $0,6T_c$; K (Clark) = $0,75T_c$. Celda gris indica: cuando T_c es menor a 10 min, Texas-DOT (2015) sugiere que se tome un valor de 10 min (en paréntesis) para estimar la intensidad de lluvia (mm/h) de las curvas *IDF* para usar con el método Racional. El valor alto de T_c para la cuenca de Crespo se debe a la topografía casi plana de la cuenca.

2.2.1.3. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (*IDF*)

Se determinaron las curvas *IDF* utilizando registros multianuales continuos (1948-2014) de precipitación mensual máxima en 24 horas de la estación del aeropuerto Rafael Núñez y aplicando la expresión calibrada por Vargas y Díaz-Granados (1997; 1998), basada en una modificación a la ecuación de Kothyari y Garde.

$$I = a \frac{Tr^b}{t^c} M^d \quad (6)$$

En donde: I (mm/h) = intensidad promedio del aguacero para un período de retorno específico; Tr (años) = período de retorno; t (min) = tiempo de duración de la lluvia; M (mm) = promedio de los valores máximos mensuales de precipitación en 24 horas (en este estudio, sin embargo, se utilizó el valor máximo de todos los valores máximos registrados para evaluar el comportamiento de las curvas *IDF* bajo circunstancias extremas). Los coeficientes a , b , c y d fueron determinados por análisis de regresión y dependen de la región (Tabla 23, Región Caribe). El período de retorno determina la probabilidad de excedencia de un evento de precipitación (Prob. de excedencia = $1/Tr$). No debe entenderse, por ejemplo, que un evento de lluvia con un período de retorno de 100 años solamente ocurrirá una vez cada cien años. De hecho, puede realmente ocurrir una, dos, tres veces (o ninguna vez). Lo que nos dice el Tr es la probabilidad de que ese evento de precipitación sea igualado o excedido en un tiempo determinado. Para el caso de $Tr = 100$

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

años, significa que el evento de lluvia tiene un uno por ciento (Prob. de excedencia = $1/100 = 0,01$) de probabilidad que ocurra en cualquier año dado.

Tabla 23. Coeficientes para cada región de Colombia.

Coeficiente	Región			
	Andina	Caribe	Pacífico	Orinoquía
a	0,94	24,85	13,92	5,53
b	0,18	0,22	0,19	0,17
c	0,66	0,5	0,58	0,63
d	0,83	0,1	0,2	0,42

Fuente: Vargas y Díaz-Granados (1997; 1998)

Los valores mensuales de precipitación máxima en 24 horas (promedio y máximo) se muestran en la Tabla 24. La Tabla 25 resume los valores mensuales multianuales promedio y máximo de las precipitaciones máximas en 24 horas. La **Tabla 26** muestra los valores estimados para cada una de las curvas *IDF*.

Tabla 24. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas, estación aeropuerto Rafael Núñez (1948 – 2014).

Año	Prec. (mm)	Año	Prec. (mm)	Año	Prec. (mm)
1948	107,00	1971	104,70	1994	54,80
1949	53,50	1972	120,00	1995	76,30
1950	85,00	1973	74,10	1996	99,40
1951	93,00	1974	126,40	1997	99,60
1952	41,00	1975	101,60	1998	85,60
1953	51,00	1976	54,40	1999	108,50
1954	90,10	1977	60,50	2000	116,20
1955	110,10	1978	68,60	2001	76,20
1956	95,00	1979	120,70	2002	73,50
1957	40,00	1980	135,90	2003	161,80
1958	109,30	1981	124,40	2004	149,00
1959	68,00	1982	98,00	2005	76,40
1960	109,00	1983	63,40	2006	122,30
1961	65,00	1984	102,70	2007	183,10
1962	75,00	1985	164,50	2008	95,30
1963	59,00	1986	64,90	2009	61,30
1964	69,00	1987	171,30	2010	150,70
1965	89,00	1988	115,00	2011	146,10

Año	Prec. (mm)	Año	Prec. (mm)	Año	Prec. (mm)
1966	76,00	1989	201,80	2012	94,20
1967	67,00	1990	77,80	2013	88,00
1968	89,00	1991	32,50	2014	116,00
1969	129,00	1992	161,50	Promedio	99,1
1970	157,00	1993	133,40	Máx.	201,8

Nota: Los valores mostrados corresponden al valor máximo registrado en el año

La Figura 95 muestra las curvas *IDF* para la estación aeropuerto Rafael Núñez para la serie multianual analizada (1948-2014).

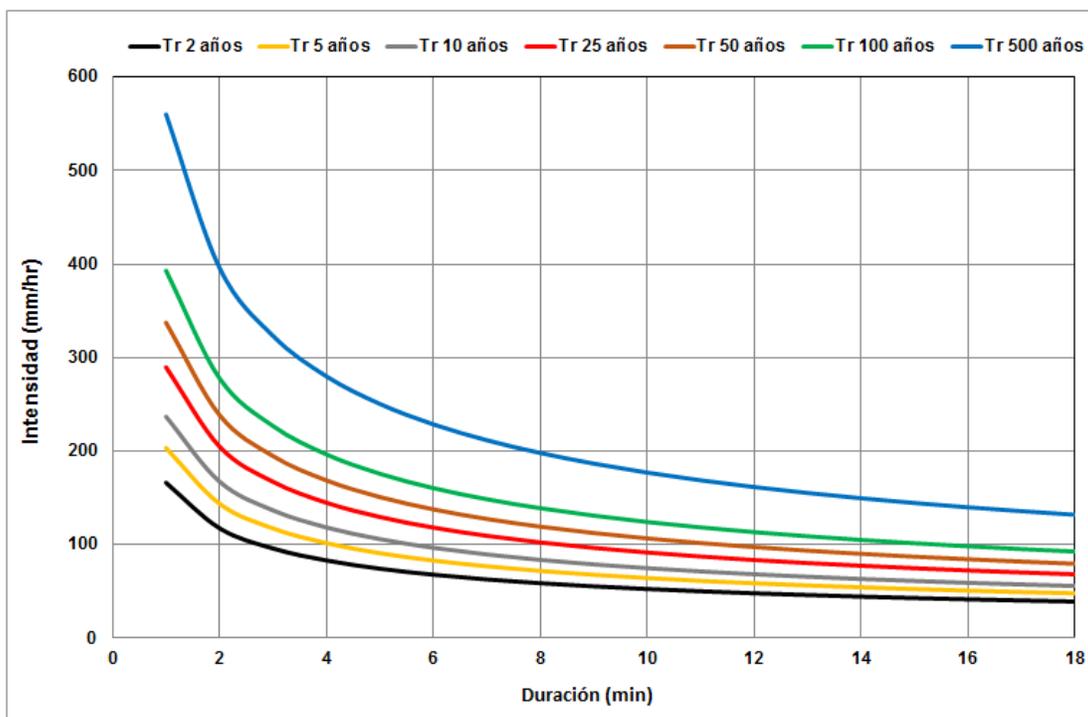


Figura 95. Curvas IDF, estación aeropuerto Rafael Núñez (1948-2014).

 	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Revisión: 1
		Fecha: Dic-2015

Tabla 25. Resumen valores mensuales máximos en 24 horas (promedios y máximos).
Estación aeropuerto Rafael Núñez (1948 – 2014).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom./Max.
Promedios (mm)	3,44	0,36	1,37	15,32	44,10	39,36	44,04	43,62	52,39	66,67	51,03	22,97	32,06
Máximos(m m)	91,0	7,4	27,6	92,3	171,3	120,0	161,5	121,1	183,1	201,8	161,8	157,0	201,8

Nota: el valor de 32,06 mm corresponde al promedio de todos los valores promedio y 201,8 mm corresponde al valor máximo de todos los valores máximos.

Región	Coeficiente			
	a	b	c	d
Caribe	24,85	0,22	0,5	0,1

$$I = 24,85 \frac{T^{0,22}}{t^{0,5}} M^{0,1} \text{ (Ecuación específica para la región Caribe).}$$

Tabla 26. Valores específicos de las curvas IDF para la estación del aeropuerto Rafael Núñez (M = 201,8 mm).

Período de retorno (Tr) (años)	Duración (min)																	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
2	170,5	120,5	98,4	85,2	76,2	69,6	64,4	60,3	56,8	53,9	51,4	49,2	47,3	45,6	44,0	42,6	41,3	40,2
5	208,5	147,5	120,4	104,3	93,3	85,1	78,8	73,7	69,5	65,9	62,9	60,2	57,8	55,7	53,8	52,1	50,6	49,2
10	242,9	171,7	140,2	121,4	108,6	99,2	91,8	85,9	81,0	76,8	73,2	70,1	67,4	64,9	62,7	60,7	58,9	57,2
25	297,1	210,1	171,6	148,6	132,9	121,3	112,3	105,1	99,0	94,0	89,6	85,8	82,4	79,4	76,7	74,3	72,1	70,0
50	346,1	244,7	199,8	173,0	154,8	141,3	130,8	122,4	115,4	109,4	104,3	99,9	96,0	92,5	89,4	86,5	83,9	81,6
100	403,1	285,0	232,7	201,5	180,3	164,6	152,4	142,5	134,4	127,5	121,5	116,4	111,8	107,7	104,1	100,8	97,8	95,0
500	574,4	406,1	331,6	287,2	256,9	234,5	217,1	203,1	191,5	181,6	173,2	165,8	159,3	153,5	148,3	143,6	139,3	135,4

Nota: típicamente, el valor de M en la ecuación usada es el valor promedio de los valores máximos anuales de precipitaciones en 24 horas (diarias) (el valor para este caso hubiese sido 99,1 mm, Tabla 24). Sin embargo, se usó el valor máximo de todos (201,8 mm) para evaluar las condiciones más extremas de lluvia registradas en la serie multianual (1948-2014).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

2.2.1.4. Caudales de escorrentía

Escorrentía es aquella porción del agua lluvia que corre sobre la superficie del suelo, ya que no alcanza a infiltrarse. Existen varios métodos/modelos para su estimación, los cuales pueden ser *globales –lumped models–* (tratan la cuenca hidrográfica como una sola unidad, como un todo), *distribuidos –distributed models–* (tienen en cuenta que las características de lluvia, suelo, vegetación, entre otros, no son uniformes en la cuenca hidrográfica) y los *semi-distribuidos –semi-distributed models–*, en los cuales se trata de volver distribuidas, hasta donde el modelo lo permita, algunas de las variables de un modelo global. Los modelos para determinación de escorrentía son también llamados de “*precipitación-escorrentía*”, debido a que permiten predecir la cantidad de lluvia/precipitación que se convierte en escorrentía en una cuenca hidrográfica dada. Para este estudio se calculará a través de los métodos Racional y Número de Curva (Curve Number o simplemente *CN*, por sus siglas en inglés). Ambos métodos son de tipo global (aunque el *CN* tiene una versión semi-distribuida, la cual será explicada más tarde) y fueron desarrollados de manera empírica. Han tenido gran aceptación dentro de la comunidad de ingenieros e hidrólogos, debido a que a pesar de su simplicidad tienen en cuenta los parámetros que típicamente hacen parte del proceso precipitación–escorrentía. Para el cálculo del caudal de escorrentía de cada una de las 15 cuencas que hacen parte de este estudio, se hace necesario determinar una intensidad de lluvia para un período(s) de retorno de diseño escogido(s). Para esto, se necesitan (Figura 96):

- (a) Tiempo de concentración (T_c) para cada una de las cuencas, los cuales fueron estimados anteriormente (Tabla 22).
- (b) Con el T_c (eje de las abscisas) de cada una de las cuencas hidrográficas, se va a las curvas *IDF* (Figura 95 o en la Tabla 26) y se determinan las diferentes intensidades de lluvia (mm/h, eje de las ordenadas) para cada uno de los períodos de retorno escogidos (25, 50 y 100 años).
- (c) Área de cada una de las cuencas hidrográficas (**Tabla 20**).
- (d) Cálculo del coeficiente de escorrentía (C) ponderado para cada una de las cuencas hidrográficas para usar en el método Racional.
- (e) Cálculo del *CN* ponderado para cada una de las cuencas hidrográficas para usar en el método *CN* (USDA-SCS, 1985; USDA-NRSC, 1986).
- (f) Cálculo del caudal pico de escorrentía.

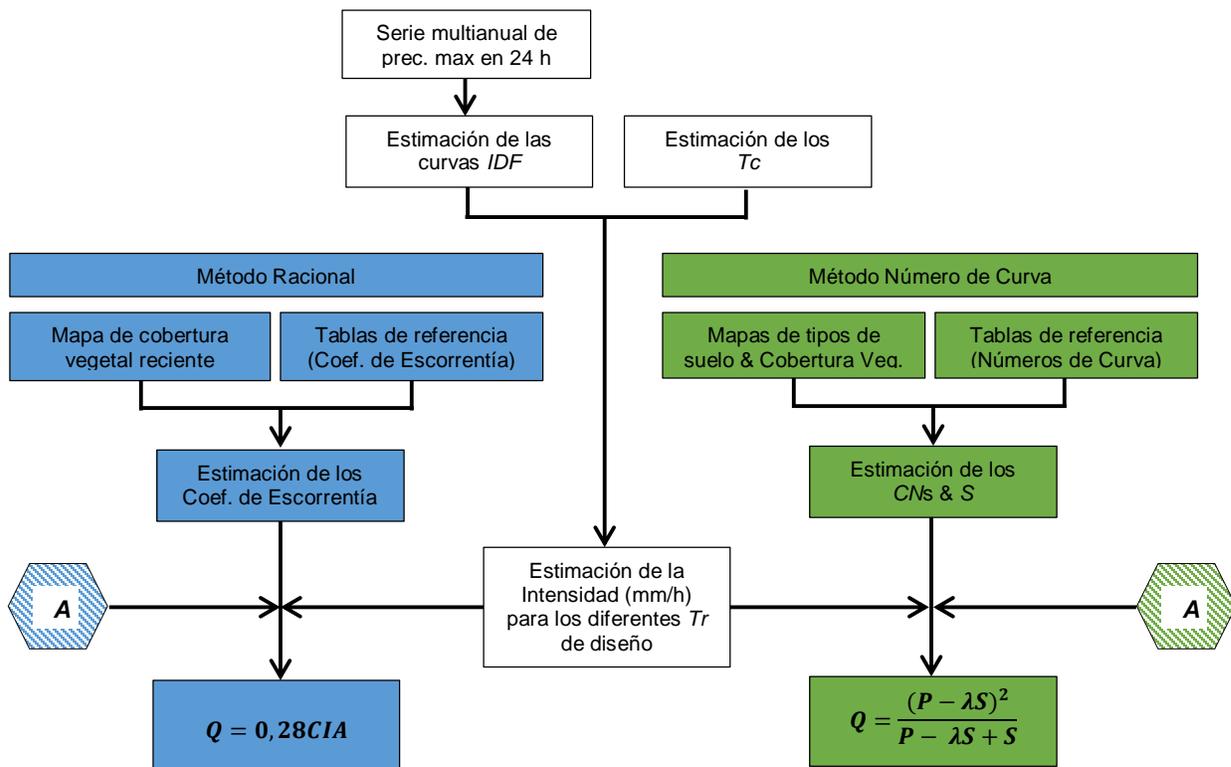


Figura 96. Flujograma para la estimación del caudal pico de escorrentía

- **Métodos racional y de número de curva (Curve Number, CN)**

El método racional permite el cálculo del caudal pico de escorrentía que genera una intensidad de lluvia en un área dada. La idea detrás del modelo es que si una lluvia de una intensidad cualquiera comienza instantáneamente y continúa de manera indefinida, el volumen de escorrentía incrementará hasta llegar a un máximo valor que sucede en el tiempo de concentración (T_c), cuando toda la cuenca contribuye al volumen de escorrentía a la salida de la cuenca (Chow et al., 1988), es decir, el caudal de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad de la lluvia (la lluvia está uniformemente distribuida sobre la cuenca) (Texas-DOT, 2015). Esta es la razón por la cual este método es recomendado para cuencas hidrográficas menores que $0,81 \text{ Km}^2$ (si la cuenca es mayor que este valor, se sugiere dividir la cuenca en sub-cuencas más pequeñas). Igualmente, se sugiere que cuando el T_c es menor que 10 min, se adopte un valor de 10 min para la estimación de la intensidad (mm/h) de las curvas *IDF* (Texas-DOT, 2015). En la Tabla 22, se observa como las cuencas de *San Francisco Sector La Loma* y *San Francisco Calle 77-La Amistad* tienen valor de 7 min, el cual se reemplazará por un valor de 10 min para la estimación, más adelante, de la intensidad para los períodos de retorno

de diseño propuestos para este estudio: 25, 50 y 100 años. El caudal de escorrentía pico está dado por:

$$Q = 0,28(CIA) \quad (7)$$

Q (m^3/s) = caudal de escorrentía pico; C (adimensional y va de 0 a 1) = coef. de escorrentía; I (mm/h) = intensidad de la lluvia del correspondiente período de retorno de diseño; A (Km^2) = área de la cuenca hidrográfica. La metodología se describe en la Figura 97.

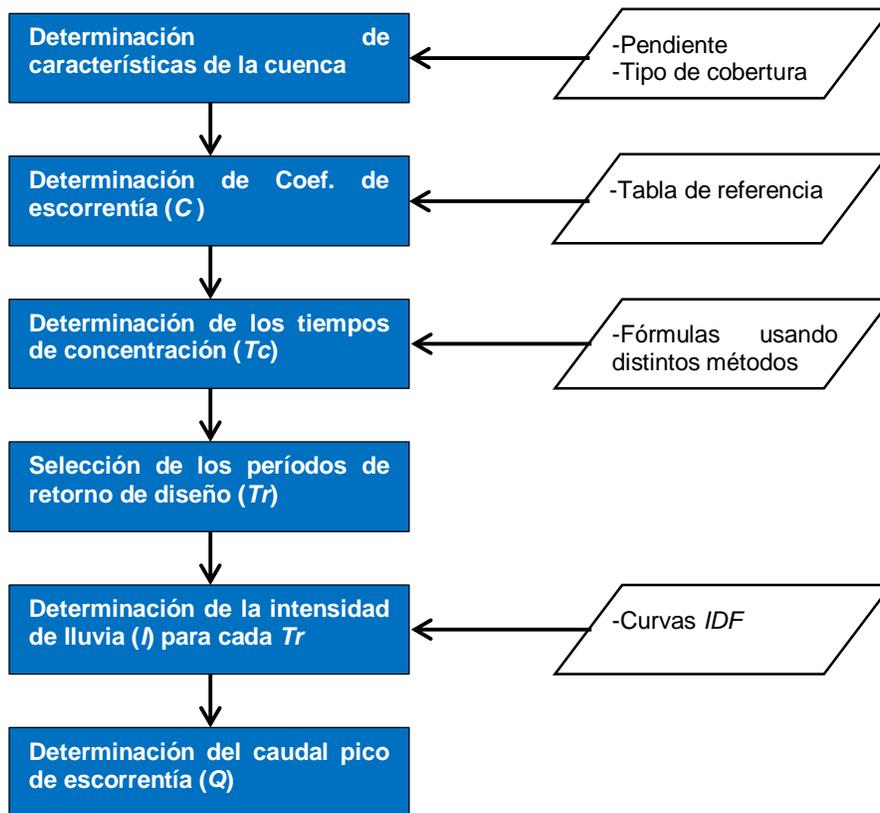


Figura 97. Flujoograma metodología del método Racional. Fuente: Mussy (1998)

○ *Cálculo del coeficiente de escorrentía*

Para la estimación del coeficiente de escorrentía se tuvo en cuenta las áreas ocupadas por los diferentes tipos de cobertura vegetal (Figura 98) y la pendiente promedio de cada una de las 15 cuencas identificadas para luego escoger el correspondiente C que reflejara las condiciones de las cuencas mediante la Tabla 27. Los coeficientes de escorrentías estimados no son más que promedios ponderados dados por la ecuación:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{A_{total}} \quad (8)$$

En donde: C = coeficiente de escorrentía; C_i = C para la cuenca i ; A_i = área de la cuenca i ; A_{total} = área de toda la cuenca.

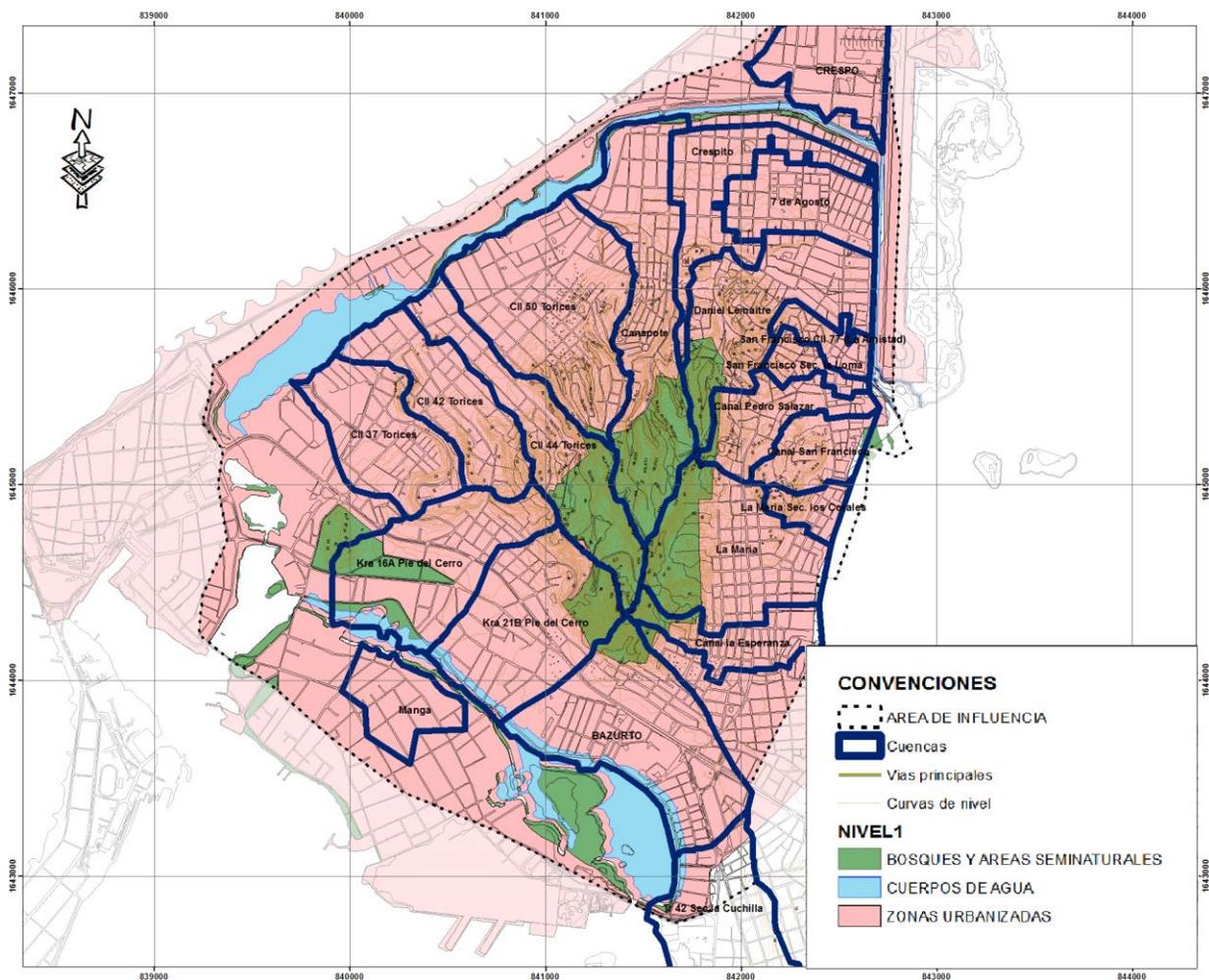


Figura 98. Mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio

Tabla 27. Coeficientes de escorrentía (C) para uso en el método Racional

Tipo de Superficie	Período de retorno (T_r , años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Urbanizada							
Asfáltico	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/techos	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Áreas con pastos (jardines, parques, etc.)							

Tipo de Superficie	Período de retorno (T_r , años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<i>Condición pobre (50% del área cubierta de pastos)</i>							
Plano, (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Promedio, (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Inclinado, (>7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición aceptable (50% a 75% del área cubierta de pastos)</i>							
Plano, (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Inclinado, (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (>75% del área cubierta de pastos)</i>							
Plano, (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Promedio, (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Inclinado, (>7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
No urbanizada							
<i>Tierra cultivada</i>							
Plano, (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Promedio, (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Inclinado, (>7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
<i>Pastos/Llanuras</i>							
Plano, (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Promedio, (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Inclinado, (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Arbóreas/arbustivas</i>							
Plano, (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Promedio, (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Inclinado, (>7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fuente: Adaptada de Chow et al. (1988, p. 498). Esta tabla fue originalmente desarrollada para la ciudad de Austin (Texas). Para suelos descapotados, el rango propuesto para C es de 0,2 a 0,5 (NCSU, s.f.). Se asumirá entonces valores de C iguales a 0,2; 0,35 y 0,5 para T_r de 25, 50 y 100 años, respectivamente.

Existen en la literatura muchas tablas de referencia para valores de C para períodos de retorno entre 2 y 10 años. Para esto, se recomienda usar los factores de corrección (C_f) propuestos en la Tabla 28.

Tabla 28. Factores de corrección (C_f) método Racional

Tiempo de retorno (T_r)	Factor de corrección (C_f)
$T_r < 25$ años	1,00
$T_r = 25$ años	1,10
$T_r = 50$ años	1,20
$T_r = 100$ años	1,25

Fuente: USDOT-FHWA (2009, p. 3-8)

La Tabla 29 resume los cálculos realizados en la determinación de los coeficientes de escorrentía para cada una de las cuencas (no hubo necesidad de ajustarlos con los factores de corrección mostrados arriba). Asimismo en la Figura 101, Figura 100 y Figura 101 se muestran dichos coeficientes en forma espacializada.

		DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA	Revisión: 1
		CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Fecha: Dic-2015

Tabla 29. Determinación de los coeficientes de escorrentía

Cuenca	Pendiente promedio (%)	Cobertura Vegetal	Área (Km2)	Área total de la cuenca (Km2)	% del área total	C			C ponderado		
						Tr (años)			Tr (años)		
						25	50	100	25	50	100
San Francisco Sec. la Loma	6,4	Arborearbustiva	0,025	0,080	31,3%	0,4	0,43	0,47	0,73	0,77	0,81
		Zona urbana	0,055		68,8%	0,88	0,92	0,97			
San Francisco CII 77 (La Amistad)	10,3	Arborearbustiva	0,046	0,095	48,4%	0,45	0,48	0,52	0,67	0,71	0,75
		Zona urbana	0,049		51,6%	0,88	0,92	0,97			
Daniel Lemaitre	5,6	Arborearbustiva	0,089	0,542	16,4%	0,40	0,43	0,47	0,78	0,82	0,87
		Herbácea	0,012		2,2%	0,42	0,45	0,49			
		Zona descapotada	0,007		1,3%	0,2	0,35	0,5			
		Zona urbana	0,434		80,1%	0,88	0,92	0,97			
7 de Agosto	1,2	Herbácea	8,5 E-04	0,282	0,3%	0,42	0,45	0,49	0,88	0,92	0,97
		Zona urbana	0,282		99,7%	0,88	0,92	0,97			
Crespito	5,3	Arborearbustiva	6,9 E-04	0,3393	0,2%	0,40	0,43	0,47	0,88	0,92	0,97
		Herbácea	1,3E-03		0,4%	0,42	0,45	0,49			
		Zona descapotada	1,8 E-05		0,01%	0,2	0,35	0,5			
		Zona urbana	0,338		99,4%	0,88	0,92	0,97			
Canapote	5,9	Arborearbustiva	0,202	0,682	29,6%	0,40	0,43	0,47	0,74	0,77	0,82
		Arbóreas	1,4 E-04		0,02%	0,40	0,43	0,47			
		Zona urbana	0,480		70,4%	0,88	0,92	0,97			
Torices, CII 50	7,0	Arborearbustiva	0,020	0,72	2,8%	0,45	0,48	0,52	0,87	0,91	0,96
		Zona urbana	0,700		97,2%	0,88	0,92	0,97			
Torices, CII 44	7,0	Arborearbustiva	0,198	0,488	40,6%	0,45	0,48	0,52	0,67	0,71	0,76
		Herbácea	0,019		3,9%	0,46	0,49	0,53			
		Pastos	0,007		1,4%	0,46	0,49	0,53			
		Zona descapotada	0,007		1,4%	0,2	0,35	0,5			
		Zona urbana	0,257		52,7%	0,88	0,92	0,97			
Torices, CII 42	7,8	Arborearbustiva	0,029	0,391	7,4%	0,46	0,49	0,53	0,83	0,87	0,92
		Pastos	0,016		4,1%	0,46	0,49	0,53			
		Zona urbana	0,346		88,5%	0,88	0,92	0,97			
Torices, CII 37	3,8	Arborearbustiva	0,027	0,377	7,2%	0,40	0,43	0,47	0,84	0,88	0,93
		Pastos	0,005		1,3%	0,42	0,45	0,49			
		Zona urbana	0,345		91,5%	0,88	0,92	0,97			
Pie del Cerro, Cra 16A	6,9	Arborearbustiva	0,026	0,537	4,8%	0,40	0,43	0,47	0,78	0,81	0,86
		Herbácea	0,056		10,4%	0,42	0,45	0,49			
		Pastos	0,037		6,9%	0,42	0,45	0,49			
		Zona urbana	0,418		77,8%	0,88	0,92	0,97			
Pie del Cerro, Cra	15,4	Arborearbustiva	0,068	0,572	11,9%	0,45	0,48	0,52	0,79	0,83	0,88

Cuenca	Pendiente promedio (%)	Cobertura Vegetal	Área (Km2)	Área total de la cuenca (Km2)	% del área total	C			C ponderado		
						Tr (años)			Tr (años)		
						25	50	100	25	50	100
21B		Herbácea	0,049		8,6%	0,46	0,49	0,53			
		Zona descapotada	1,0 E-06		0,0002%	0,2	0,35	0,5			
		Zona urbana	0,455		79,5%	0,88	0,92	0,97			
Bazurto	12,4	Arborearbustiva	0,012	0,689	1,7%	0,45	0,48	0,52	0,83	0,87	0,92
		Herbácea	0,042		6,1%	0,46	0,49	0,53			
		Pastos	0,018		2,6%	0,46	0,49	0,53			
		Zona descapotada	0,010		1,5%	0,2	0,35	0,5			
		Zona urbana	0,607		88,1%	0,88	0,92	0,97			
Crespo	0,1	Arborearbustiva	0,029	0,429	6,8%	0,31	0,35	0,39	0,80	0,84	0,89
		Árbóreas	0,003		0,7%	0,31	0,35	0,39			
		Herbácea	0,026		6,1%	0,34	0,37	0,41			
		Zona urbana	0,371		86,5%	0,88	0,92	0,97			
Manga	0,5	Árbóreas	0,019	0,198	9,6%	0,31	0,35	0,39	0,83	0,87	0,91
		Zona urbana	0,179		90,4%	0,88	0,92	0,97			

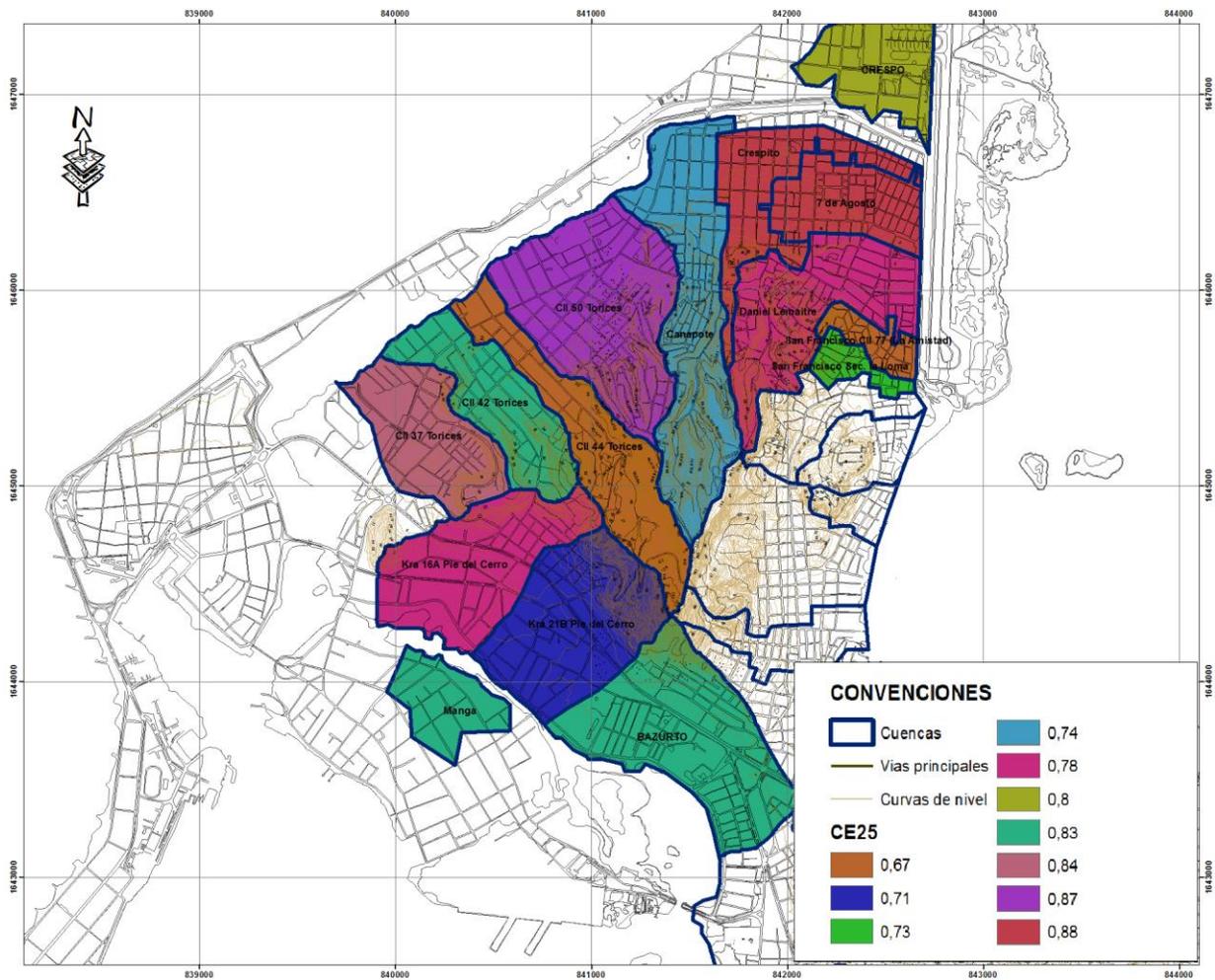


Figura 99. Mapa de coeficientes de escorrentía para Tr de 25 años

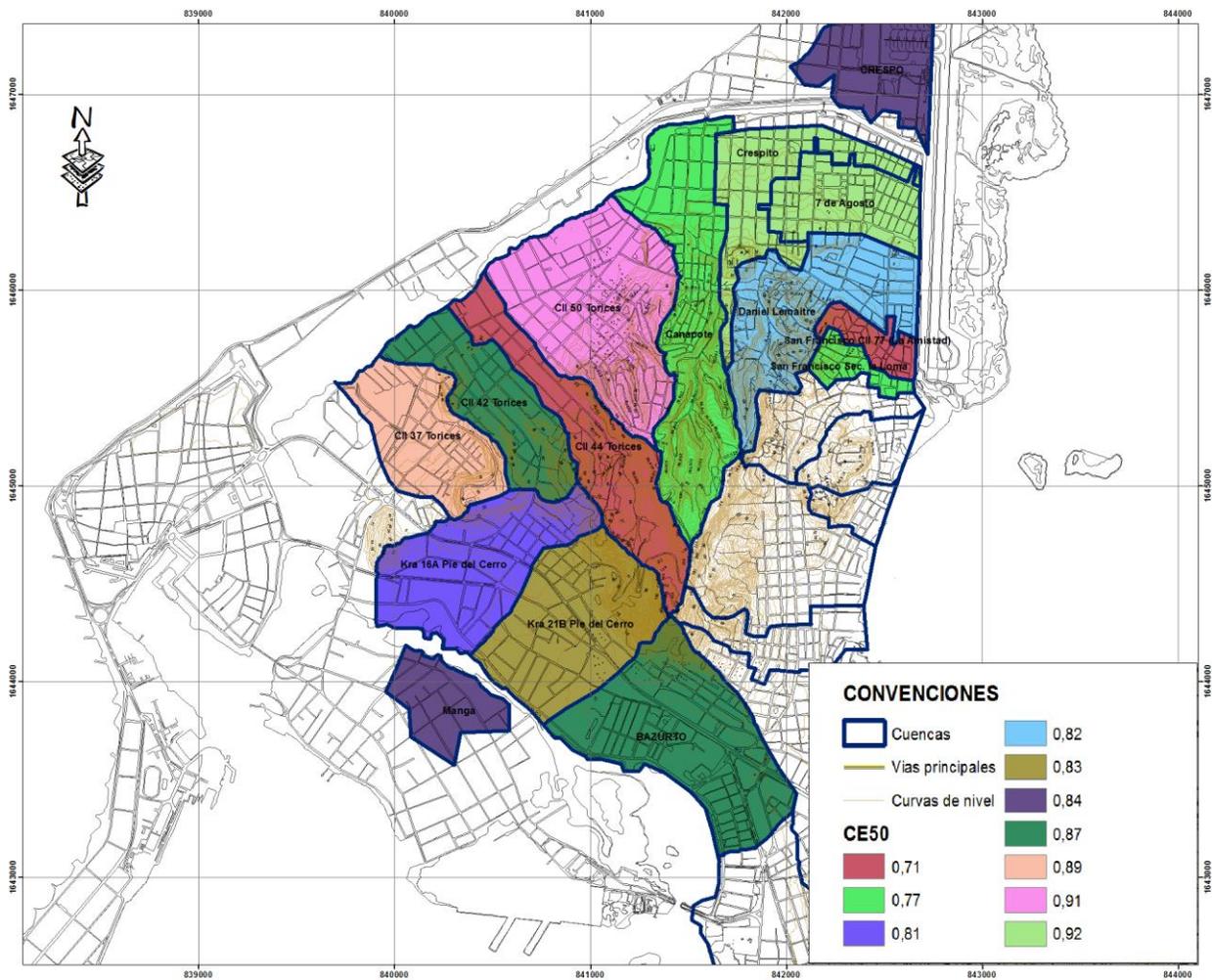


Figura 100. Mapa de coeficientes de escorrentía para Tr de 50 años

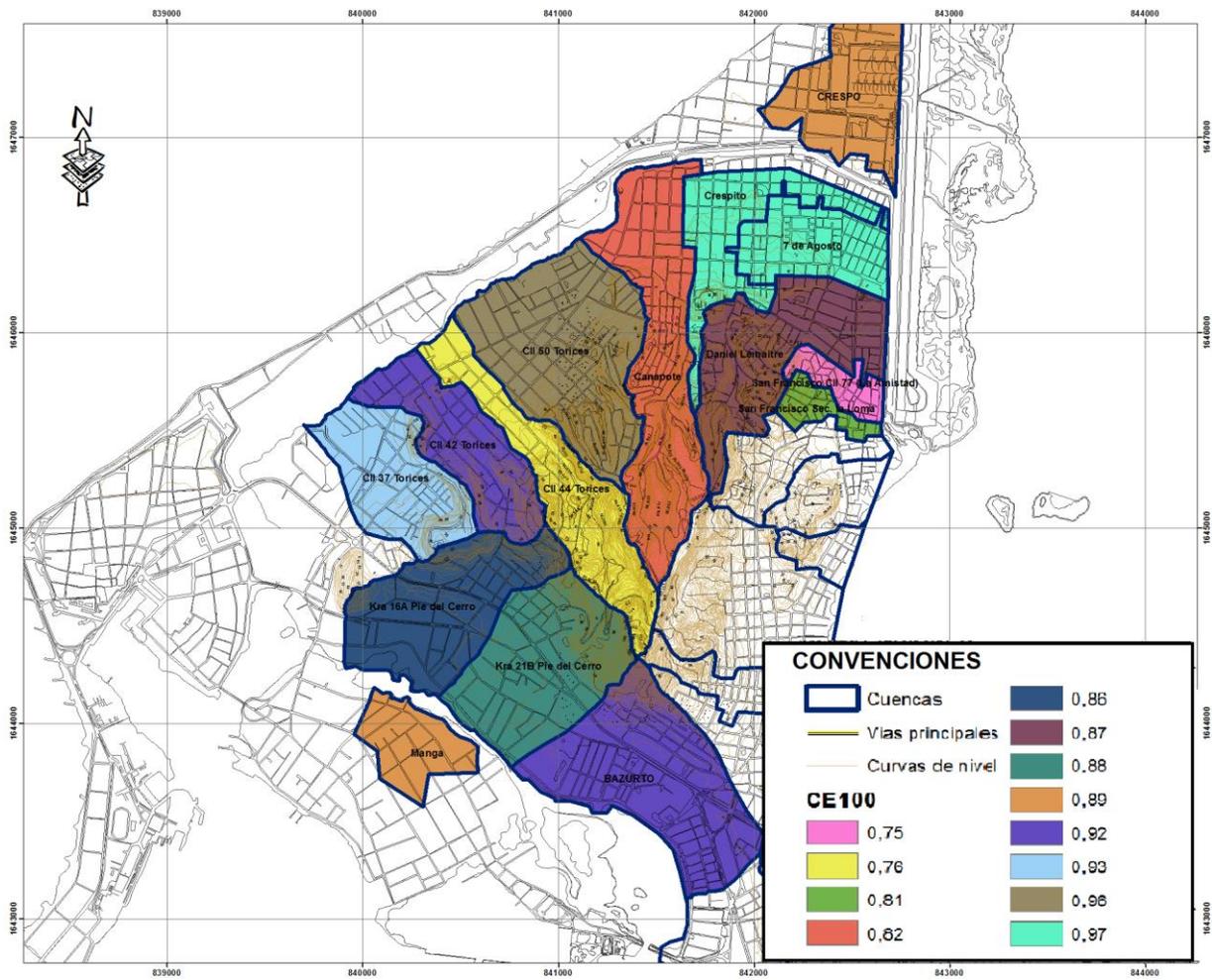


Figura 101. Mapa de coeficientes de escorrentía para Tr 100 años

- *Cálculo de la intensidad y caudal de escorrentía pico*

Con los T_c estimados anteriormente para cada cuenca y con los T_r de 25, 50 y 100 años, pueden estimarse las intensidades (mm/h) de dos maneras:

- Gráficamente a través de la Figura 95. Con el valor de T_c se entra en el eje de las abscisas y se intersecta la curvas IDF para 25, 50 y 100 años y se obtiene el valor de la intensidad proyectando sobre el eje de las ordenadas. Una manera adicional es obtener las ecuaciones de cada una de las curvas IDF y estimar la respectiva intensidad.

		<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

(b) Usando la Tabla 26. Se buscan los valores correspondientes de T_c y se buscan las celdas donde los Tr se intersectan con la duración (min). Si el valor de T_c no se encuentra entre los tabulados, hay que interpolar.

La Tabla 30 muestra las intensidades para los T_c de cada una de las cuencas y los caudales pico de escorrentía para los períodos de retorno (Tr) 25, 50 y 100 años.

Tabla 30. Caudales pico de escorrentía de diseño ($Tr = 25, 50$ y 100 años).

Cuenca	T_c (min)	Área total (Km ²)	C ponderado			I (mm/h)			Q=0.28CIA (m ³ /s)			Cuerpo de agua al que drena
			Tr			Tr			Tr			
			25	50	100	25	50	100	25	50	100	
San Francisco Sec. la Loma	10	0,080	0,73	0,77	0,81	210,11	244,72	285,03	3,44	4,20	5,20	Juan Agola (Canal Paralelo)
San Francisco CII 77 (La Amistad)	10	0,095	0,67	0,71	0,75	210,11	244,72	285,03	3,75	4,60	5,70	Juan Agola (Canal Paralelo)
Daniel Lemaitre	23	0,542	0,78	0,82	0,87	138,54	161,36	187,94	16,45	20,12	24,85	Juan Agola (Canal Paralelo)
7 de Agosto	22	0,283	0,88	0,92	0,97	141,65	164,99	192,17	9,86	12,00	14,74	Juan Agola (Canal Paralelo)
Crespito	15	0,340	0,88	0,92	0,97	171,55	199,81	232,73	14,33	17,45	21,43	Caño Juan Angola (sector Crespo)
Canapote	26	0,682	0,74	0,77	0,82	130,30	151,77	176,77	18,36	22,46	27,75	Caño Juan Angola (sector Crespo)
CII 50 Torices	19	0,720	0,87	0,91	0,96	152,43	177,54	206,78	26,67	32,49	39,92	Caño Juan Angola (sector Marbella)
Torices, CII 44	30	0,488	0,67	0,71	0,76	121,31	141,29	164,56	11,16	13,71	17,03	Laguna del Cabrero
Torices, CII 42	21	0,391	0,83	0,87	0,92	144,99	168,87	196,69	13,20	16,09	19,80	Laguna del Cabrero
Torices, CII 37	21	0,377	0,84	0,88	0,93	144,99	168,87	196,69	12,85	15,66	19,26	Laguna del Cabrero
Pie del Cerro, Cra 16A	20	0,537	0,78	0,81	0,86	148,57	173,04	201,55	17,36	21,20	26,14	Caño Bazurto
Pie del Cerro, Cra 21B	14	0,572	0,79	0,83	0,88	177,57	206,83	240,90	22,55	27,52	33,91	Caño Bazurto
Bazurto	18	0,689	0,83	0,87	0,92	156,60	182,40	212,45	24,96	30,50	37,59	Ciénaga Las Quintas
Crespo	80	0,429	0,80	0,84	0,89	74,28	86,52	100,77	7,18	8,77	10,81	Mar Caribe
Manga	19	0,198	0,83	0,87	0,91	152,43	177,54	206,78	6,97	8,52	10,48	Caño Bazurto

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Método del Número de Curva (*Curve Number, CN*)**

El método *CN* fue desarrollado por el U.S. Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service (*USDA-NRCS*. Antiguamente conocido como el *USDA-Soil Conservation Service, USDA-SCS*). Es un modelo empírico de precipitación-escorrentía inicialmente creado para estimar el caudal de escorrentía pico en cuencas hidrográficas pequeñas de vocación agrícola. Sin embargo, ha sido utilizado con éxito en cuencas de mayor tamaño (González, 2015). A diferencia del método Racional, este modelo expresa el caudal de escorrentía pico en unidades de lámina de agua (mm) que produce un evento de lluvia dado. Para estimar el caudal hay que luego multiplicar por el área de la cuenca. La ecuación para el caudal está dada por (Schneider and McCuen, 2005; González, 2015):

$$Q = \frac{(P-Ia)^2}{(P-Ia)+S} \quad (9a)$$

$$Ia = \lambda S \quad (9b)$$

Con $P > Q > 0$ y $P \geq \lambda S$, de lo contrario $Q = 0$. Q (mm) = caudal de escorrentía pico; P (mm) = precipitación; Ia (mm) = pérdida inicial; λ = coeficiente de pérdida inicial (originalmente establecido como 0,2; sin embargo, un valor de 0,05 ha sido demostrado ser más adecuado González, 2015); S (mm) = retención potencial máxima.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (10)$$

Donde *CN* (adimensional, va de 0 a 100) = número de curva. *CN* es estimado a través de unas tablas de referencias (lookup tables) que pueden encontrarse en el National Engineering Handbook, Section 4, *NEH-4* (USDA, 1985) y en el Technical Release 55, *TR-55* (USDA, 1986), en donde también se describe la metodología del modelo. Su valor depende de:

- (a) Tipo de suelo. Clasificados de A a D (grupos de suelos hidrológicos), con la capacidad de infiltración que decrece de A hacia D.
- (b) Cobertura vegetal.

Los pasos a seguir son: (1) Determinación de los *CNs*; (2) estimación de *S*; (3) cálculo de la precipitación, *P*; y (4) cálculo del caudal pico de escorrentía pico, *Q*.

- *Determinación de los CNs*

Existen varias metodologías para la determinación de los *CNs*: (1) *tradicional*, usando tablas de referencia (USDA-SCS, 1985; USDA-NRSC, 1986); (2) *modificada*, usando registros de precipitación y caudal de escorrentía medidos para hallar lo que se conoce como *CN asintóticos* o *CN observados* (Hawkins, 1973) y (3) *asistida por computador*,

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

usando los programas *HEC-HMS* y *HEC-geoHMS* (extensión compatible con ArcGIS) (USACE, 2006). En este estudio se utilizó la metodología *asistida por computador*. Sin embargo, se describirá también la *tradicional*, ya que los dos programas están basados precisamente en esta.

➤ Metodología CN tradicional.

(a) Determinación de los grupos hidrológicos de suelos (Hydrological Soil Groups, *HSG*) para cada uno de los tipos de suelos encontrados en las cuencas. A cada suelo se clasificó dentro de uno de los cuatro *HSGs* (A, B, C y D) basados en la descripción de la textura los mismos (los suelos) y de los *HSGs*. Para la descripción de los suelos, se utilizó el estudio “Zonificación Geotécnica, Aptitud y Uso del Suelo en el Casco Urbano de Cartagena de Indias, DTC. – Bolívar” (Ingeominas, 2001). La descripción de los *HSGs* se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Grupos hidrológicos de suelos (HSG) método CN.

HSG	Descripción
A	Suelo con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y elevada capacidad de infiltración. Incluye arenas profundas con muy poco limo y arcilla; también suelos permeables con grava en el perfil. Texturas gruesas (arenosa o areno-limosa). Infiltración básica (<i>Fc</i>) 7,63-11,43 mm/h.
B	Suelos con potencial de escurrimiento de moderado cuando están saturados. Son suelos arenosos menos profundos y más agregados que el grupo A. Texturas de moderadamente finas a moderadamente gruesas (franca, franco-arenosa o arenosa). Infiltración básica (<i>Fc</i>) 3,81-7,62 mm/h.
C	Suelos con moderadamente alto potencial de escurrimiento. Escasa capacidad de infiltración cuando están saturados. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla, pero menos que el grupo D. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco-arcillosa o arcillosa). Infiltración básica (<i>Fc</i>) 1,27-3,80 mm/h.
D	Suelos con alto potencial de escurrimiento. Con alto contenido de arcillas expandibles y suelos someros con materiales fuertemente cementados. Muy poca capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable, así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una capa de roca impermeable, ciertos suelos salinos y suelos con alto nivel freático. Infiltración básica (<i>Fc</i>) 0,00-1,26 mm/h.

Fuente: adaptado de USDA-NRCS (1986).

La Tabla 32 muestra la re-clasificación y distribución espacial de cada uno de los tipos de suelos del estudio en su correspondiente *HSGs* de acuerdo a la textura de los mismos.

Tabla 32. Reclasificación a HSG de los suelos en el área de estudio

Nomenclatura del suelo	Descripción	HSG asignado
Dar	Depósitos aluviales recientes	C
Dcal	Depósitos coluvio-aluviales	B
Dcl	Depósitos coluviales	C
Dima	Depósitos intermareales	D

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Nomenclatura del suelo	Descripción	HSG asignado
Dpy	Depósitos de playón	B
Sma	Sustrato de manglar	D
T1-1	Conjunto superior de la unidad calcárea de La Popa	C
T1-2	Conjunto intermedio de la unidad calcárea de La Popa	C
T2-1	Conjunto superior de la unidad detrítica de la Popa	C
T2-2	Conjunto intermedio de la unidad detrítica de la Popa	B
T2-3	Conjunto inferior de la unidad detrítica de la Popa	D

(b) Una vez se tiene la clasificación de los *HSGs*, se utiliza la clasificación y distribución espacial (áreas) de la cobertura vegetal presente en cada una de las cuencas y, con la ayuda de las tablas de referencia, se determina el *CN* ponderado:

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i * A_i}{A_{total}} \quad (11)$$

(c) Se calcula *S* para cada una de las cuencas (ecuación 10).

(d) Se determina la precipitación de diseño (*P*) mediante la elaboración de hietogramas de lluvias teniendo en cuenta los tiempos de concentración hallados previamente para cada una de las cuencas para los períodos de retorno 25, 50 y 100 años (Anexo 6). La intensidad de la lluvia fue estimada con las curvas *IDF*.

(e) Se calcula el caudal pico de escorrentía para cada una de las precipitaciones estimadas en (d) vía ecuación 9a.

➤ 4.2.1.2 Metodología *CN* asistida por computador

El programa de computador *HEC-HMS* está basado en la metodología del *CN* para el cálculo del caudal pico de escorrentía de diseño. *HEC-geoHMS* –extensión del programa *HEC-HMS* compatible con *ArcGIS*– permite ser más precisos en la estimación de los *CNs* y el subsecuente cálculo del caudal de escorrentía. El proceso se describe a continuación:

(a) Procesamiento del mapa de cobertura vegetal (Figura 6) en formato compatible con *ArcGIS* (shapefile).

(b) Procesamiento del mapa de tipos de suelo (litología) en formato compatible con *ArcGIS* (shapefile) y reclasificación para asignarle un *HSGs* basado en la textura de cada suelo (Tabla 32). El resultado es un mapa de *HSGs* (Figura 102). Este mapa de texturas de suelo fue comparado con el realizado por Aguilar-Collazo (2015), mostrando similitudes en la clasificación a pesar de que ambos utilizan escalas diferentes.

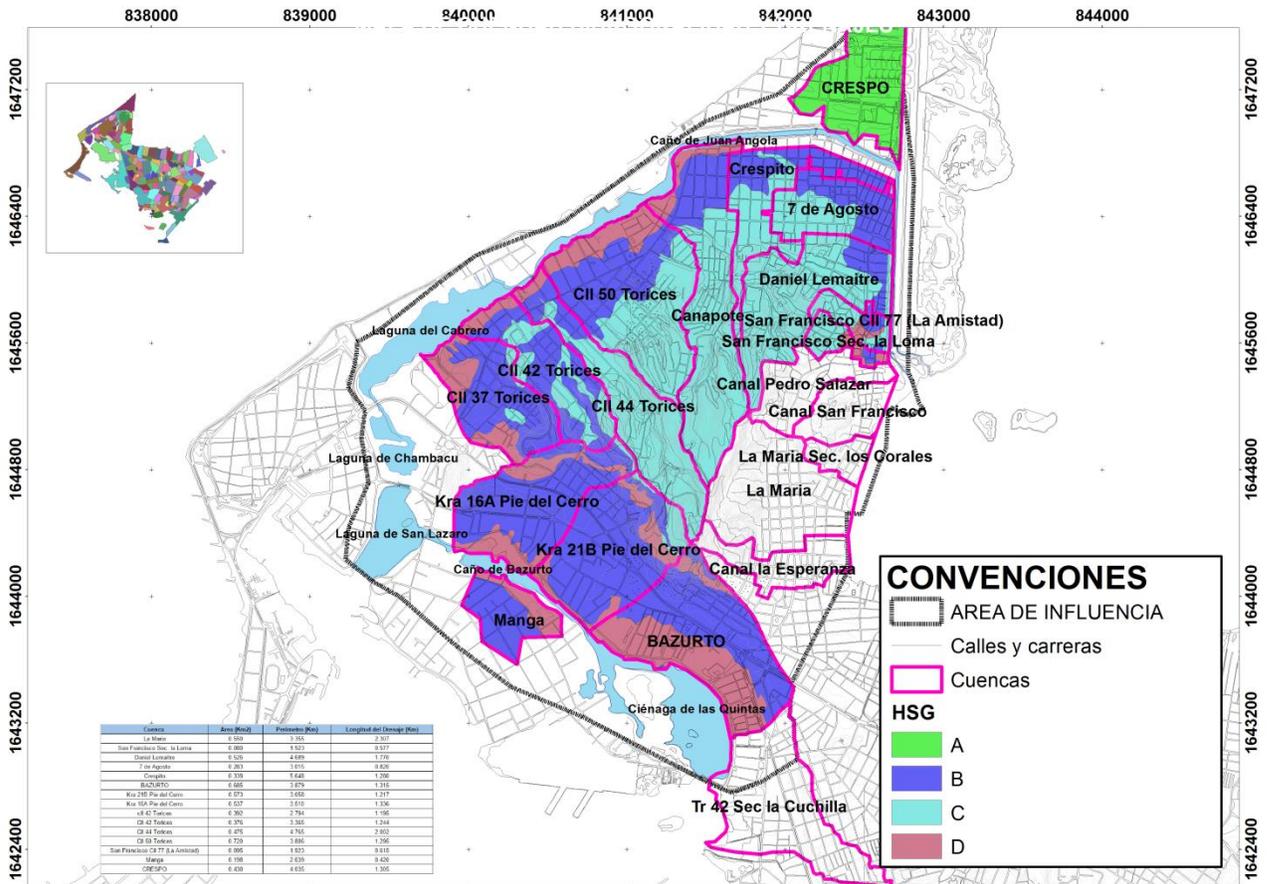


Figura 102. Mapa de HSGs del área de estudio

(c) Combinación de los mapas de cobertura vegetal y HSGs para obtener un mapa CNs (se obtiene una grilla/cuadrícula por pixeles o raster) (Figura 103). Luego, con las áreas que ocupa cada CN dentro de la cuenca se obtienen los CN ponderados (Tabla 33).

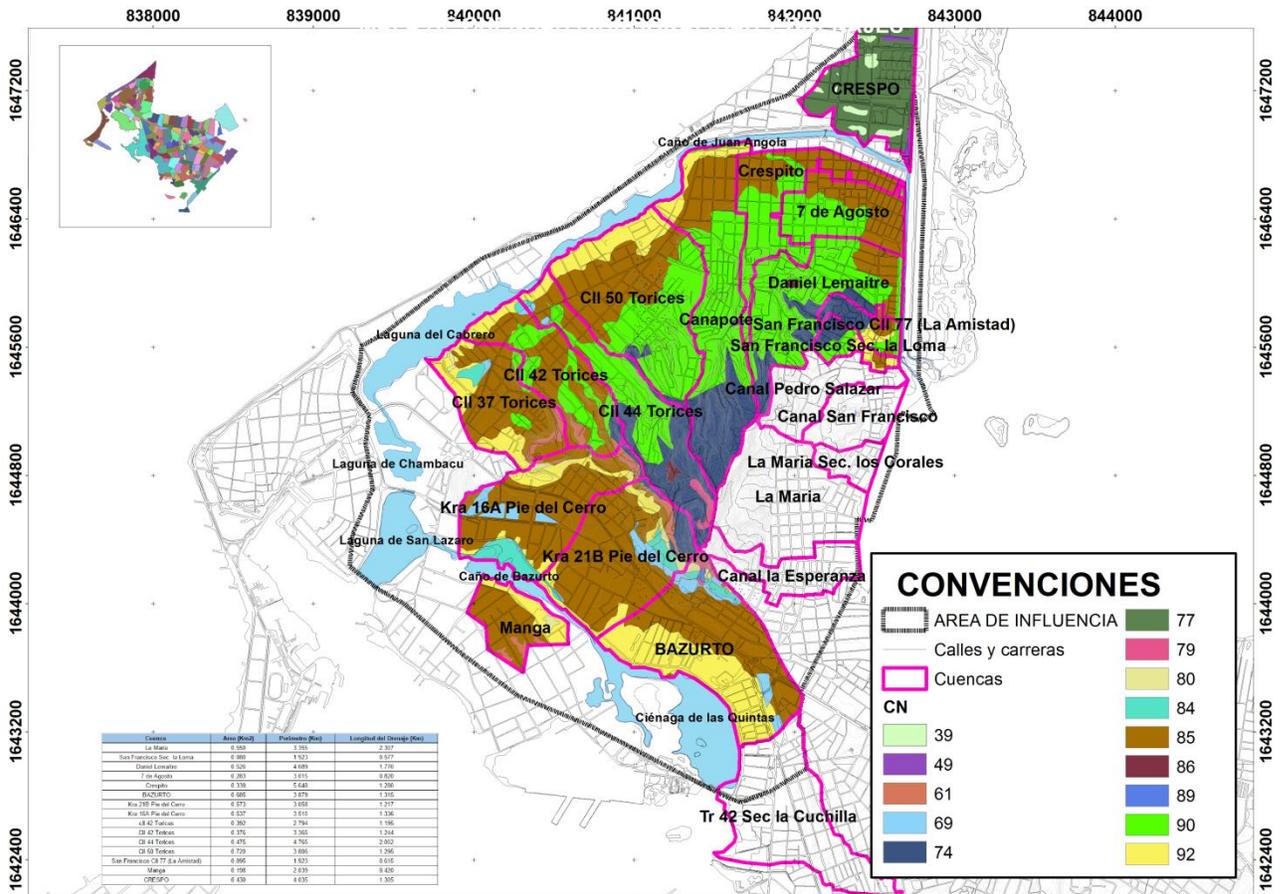


Figura 103. Mapa de CNs del área de estudio

Tabla 33. Números de Curva (CN) ponderados

Cuenca	CN ponderado
San Francisco Sec. La Loma	85
San Francisco, CII 77 (La Amistad)	81
Daniel Lemaître	87
7 de Agosto	87
Crespito	88
Canapote	84
Torices, CII 50	88
Torices, CII 44	82
Torices, CII 42	86
Torices, CII 37	85
Pie del Cerro, Cra 16A	84

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Cuenca	CN ponderado
Pie del Cerro, Cra 21B	83
Bazurto	87
Crespo	72
Manga	85

(d) Con los valores ponderados de *CNs* se estima *S* para cada cuenca.

(e) Se estima la lluvia de diseño utilizando los hietogramas realizados para cada cuenca con duración igual al *Tc*.

(f) Se corre el modelo *HEC-HMS* para calcular el caudal pico de escorrentía.

La Tabla 34 resume los caudales pico de escorrentía calculados por los métodos Racional y del número de curva (*CM*). En los Anexos 7 y 8 se encuentran el esquema de la modelación realizada en *HEC-HMS* y los hidrogramas para los diferentes *Tr* (25, 50 7 10 años), respectivamente.

Tabla 34. Resumen caudales pico de escorrentía de diseño (*Tr* = 25, 50 y 100 años) Métodos Racional y Número de Curva.

Cuenca	Q-Método <i>CN</i> (cm)			Q-Método Racional (m ³ /s)			Cuerpo de agua al que drena
	<i>Tr</i>			<i>Tr</i>			
	25	50	100	25	50	100	
San Francisco, Sec. La Loma	3,4	4,1	4,8	3,44	4,2	5,2	Juan Agola (Canal Paralelo)
San Francisco ,	3,1	3,8	4,6	3,75	4,6	5,7	Juan Agola (Canal Paralelo)
Daniel Lemaitre	17,4	20,6	24,3	16,45	20,12	24,85	Juan Agola (Canal Paralelo)
7 de Agosto	11,6	12,6	14,6	9,86	12	14,74	Juan Agola (Canal Paralelo)
Crespito	17,4	17,9	20,8	14,33	17,45	21,43	Caño Juan Angola (sector Crespo)
Canapote	20,5	24,2	28,7	18,36	22,46	27,75	Caño Juan Angola (sector Crespo)
Torices, CII 50	28,9	33,8		26,67	32,49	39,92	Caño Juan Angola (sector Marbella)
Torices, CII 44	8,3	9,8	11,6	11,16	13,71	17,03	Laguna del Cabrero
Torices, CII 42	14,3	16,5	19,3	13,2	16,09	19,8	Laguna del Cabrero
Torices, CII 37	14,4	16,9	19,8	12,85	15,66	19,26	Laguna del Cabrero
Pie del Cerro, Cra 16A	20,9	24,2	28,2	17,36	21,2	26,14	Caño Bazurto
Pie del Cerro, Cra 21B	15,7	17,6	20,6	22,55	27,52	33,91	Caño Bazurto
Bazurto	28,3	32,9	38,4	24,96	30,5	37,59	Ciénaga Las Quintas
Crespo	8,6	10	11,7	7,18	8,77	10,81	Mar Caribe

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Cuenca	Q-Método CN (cm)			Q-Método Racional (m3/s)			Cuerpo de agua al que drena
	Tr			Tr			
	25	50	100	25	50	100	
Manga	8,1	9,4	11	6,97	8,52	10,48	Caño Bazurto

2.2.2. Vegetación que se encuentran en las rondas hídricas de los arroyos de las cuencas que drenan al sistema de caños y lagos.

En las rondas hídricas de los arroyos que se encuentran localizados en las cuencas descritas anteriormente (Ver numeral 2.2.1) y que drenan hacia el sistema de caños y lagos internos, existe un remanente boscoso que corresponde a vegetación riparia, la cual se caracteriza por presentar un bajo número de especies, dentro de las que se encuentran el uvito de playa (*Coccoloba uvifera*), almendro (*Terminalia catappa*), trupillo (*Prosopis juliflora*), guarumo (*Cecropia peltata*) entre otras. Es significativo tener en cuenta, que estas son coberturas vegetales discontinuas o fragmentadas. Este parche de bosque es muy importante para este sistema, pues representa una zona de ecotono o transición entre el medio acuático y el medio terrestre, recibiendo la influencia hidrológica de ambos, al construir un espacio compartido en el ciclo del agua de los sedimentos y de los nutrientes.

Es pertinente, que se genere una conexión entre las cuencas a través de la regeneración vegetal ecológica de forma participativa y rápida del bosque ripario de los arroyos que tienen influencia sobre el sistema interno de caños y lagos. El papel que juega el bosque ripario es retardar y reducir la escorrentía superficial, utilizando el exceso de nutrientes, atrapando los sedimentos y otros contaminantes que se desprenden de los suelos descubiertos o suelos de cultivos, protegiendo los cuerpos de agua, y aumentando además la infiltración en las áreas de inundación, por acción de las raíces de las plantas que crecen en estas áreas.

Si no se toman estas medidas, incurriremos en problemas ambientales mayores a nivel de fauna asociada a estos ecosistemas, pues se está obligando a grupos exigentes en el uso de sus hábitats a invadir fragmentos remanentes de bosques para refugiarse, restringiendo su área de acción y disminuyendo sus posibilidades de sobrevivencia a largo plazo. Es importante que los gremios o especies más adaptadas mejoren sus facultades para desplazarse por paisajes alterados.

Las zonas riparias proveen de hábitat, así como también una vía para el desplazamiento de la vida silvestre de un parche de vegetación a otro, tanto en ambientes fragmentados como continuos. Entre mayor sea la conectividad entre los parches-hábitats, los animales encontrarán más fácil el desplazamiento entre sitios. Esto ayuda a mantener las poblaciones de vida silvestre en bosques y parches de áreas arboladas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

2.2.3. Ciénaga de la Virgen

El sistema de caños y lagos internos se conecta con la Ciénaga de la Virgen por medio del canal paralelo ubicado al costado occidental – sur de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Rafael Muñes, en este sentido se tiene que la ciénaga de la virgen está relacionada directamente con el sistema de caños lagos y por tanto hace parte de su área de influencia biofísica. A continuación se hace una caracterización general de las misma resaltando el comportamiento de sus corrientes, mareas y la calidad fisicoquímica de sus aguas.

2.2.3.1. Descripción general.

La ciénaga de la Virgen es una laguna costera ubicada sobre el costado norte de la ciudad de Cartagena y separada del mar por el cordón de arenas de La Boquilla. Tiene forma de pera, estrecha en el norte y amplía en el sur, con anchura máxima de 4.5 km, y tiene una longitud de unos 7 km, un espejo de agua de unos 22,5 km² y profundidades de hasta 1,6 m. Se comunica con el sistema de Caños y lagunas internas de la ciudad a través del caño Juan Angola. Sobre el costado oriental existe una zona de manglares y zonas pantanosas que cubren un área de 7,5 km².

2.2.3.2. Comportamiento de sus Corrientes

En cada pleamar entra por el sistema de compuertas de entrada de la Bocana un volumen de agua marina que induce una corriente dentro de la ciénaga que avanza en dirección sur enmarcada al oriente por la pantalla metálica y al occidente por el costado occidental de la ciénaga. Sobre el borde sur la corriente toma dirección hacia el oriente, y toma luego dirección hacia el norte y después hacia el oeste para dirigirse a las compuertas de salida de la Bocana.

2.2.3.3. Comportamiento de sus Mareas

En estudios realizados por (ARRIETA A, 2005) se instaló un mareógrafo en el Canal de la Bocana; el cual registró las lecturas de niveles de marea por un periodo de 48 horas continuas cada media hora (21/01/05 – 22/01/05). En la Tabla 35 se muestran los valores máximos, medios y mínimos de nivel registrados en este estudio y la amplitud de onda.

Tabla 35. Características de la marea medida

	Canal Bocana (m)
Nivel Máximo	0,53
Nivel Medio	0,35
Nivel Mínimo	0,20
Amplitud	0,33

Fuente: (ARRIETA A, 2005).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

De acuerdo con niveles registrados en el canal de la Bocana, los niveles máximos de marea son del orden de 0.18 m y los niveles mínimos de marea son del orden 0.15 m, con respecto al nivel medio.

2.2.3.4. Calidad de agua de la Ciénaga de la Virgen.

La calidad del agua de este cuerpo hídrico ha sido evaluada recientemente por la Red de Vigilancia de Calidad del Agua Marina – REDCAM – (2014) a partir de los parámetros de temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, nutrientes, clorofila, microbiológicos, demanda bioquímica de oxígeno y materia orgánica, plaguicidas y metales pesados; y sus resultados más relevantes se muestran a continuación: conocidos sentada a la vez



Figura 104. Puntos de muestreo de la REDCAM en la ciénaga de La Virgen. REDCAM, 2014

- **Temperatura**

Para los monitoreos realizados la temperatura de las aguas superficiales de la ciénaga de la virgen oscilaron en promedio a $32,0^{\circ}\text{C} \pm 0,68^{\circ}\text{C}$ para el 2012 y $30,5^{\circ}\text{C} \pm 0,81^{\circ}\text{C}$ para el 2013, ambos valores medidos en la época de lluvias.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Salinidad**

Los valores de salinidad fluctuaron entre 9,5 y 31,3 para la época lluviosa de 2012 y entre 19,8 y 27,1 para la época lluvias de 2013.

- **pH**

Los valores de pH en la época de lluvias de 2012 oscilaron entre 8,4 a 8,7 con un promedio $8,5 \pm 0,1$ mientras que en el 2013 fluctuaron entre 5,4 a 8,4 con un promedio $8,0 \pm 0,8$.

- **Oxígeno Disuelto**

En la época lluviosa 2012 fluctuó con un promedio de $4,5 \text{ mg/L} \pm 2,3$ en la época lluviosa y con un promedio de $4,3 \text{ mg/L} \pm 0,8$ para la época de lluvias de 2013.

- **Sólidos Suspendidos Totales**

Los sólidos suspendidos totales (SST) no sobrepasaron los 60 mg/L para el año 2012 ni para el 2013. Es importante mencionar que las variaciones de SST entre las estaciones de muestreo, se deben al cambio de la marea y al drenaje de los arroyos que desembocan en la ciénaga, que resuspenden los sedimentos del fondo.

- **Nutrientes**

Se midió el nitrógeno en formas de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), amonio (NH_4^+), y el fósforo inorgánico disuelto en forma de ortofosfato (PO_4^{3-}). Los resultados mostraron que existen variaciones entre estaciones de muestreo durante la época de lluvia de 2012 y 2013, que registraron los mayores valores en las estaciones ubicadas en los arroyos que drenan hacia la ciénaga.

- **Clorofila**

La concentración de clorofila en la ciénaga fluctuó con un promedio de $23,2 \pm 20,2$, encontrándose las mayores concentraciones de clorofila estarían influenciadas por las descargas de los arroyos que drenan a la ciénaga.

- **Microbiológicos**

El monitoreo de la calidad microbiológica de la ciénaga de La Virgen mediante la determinación de coliformes totales (CTT) y termotolerantes (CTE).mostró que en la época lluviosa del 2012 las CTT superaron los 1.000 NMP.100 mL⁻¹ mientras que en la época lluviosa 2013 oscilaron entre 20 NMP.100 mL⁻¹ hasta 24.000 NMP.100 mL⁻¹. Por

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

su parte las CTE muestran que sólo en el sector norte del Sistema Bocana Estabilizadora de Mareas en ambas épocas se superó el límite de las 200 NMP. 100 mL⁻¹), las cuales son atribuidas a la contaminación puntual por basuras y por las escorrentías que durante la temporada de lluvias producen mayor arrastre de materia orgánica aumentando las concentraciones en este parámetro.

- **DBO5 y Materia Orgánica**

Para el 2012 se registraron en la mayoría de estaciones los valores superiores a 5 mg/L de DBO5 excepto en la salida Bocana y la Ciénaga Juan Polo; mientras en el 2013 se observa un descenso en las concentraciones de DBO5 en el cuerpo de agua. En cuanto a la Materia Orgánica, se presentaron contenidos más altos, especialmente en la época lluviosa de 2011 en el Emisario (22,6 mg/L), Norte de la Ciénaga (20,5 mg/L), Sur Bocana (17,3 mg/L), Norte Bocana (16,1 mg/L) y Canal Aeropuerto (15,4 mg/L); y para la época de lluvias de 2013 las concentraciones de materia orgánica disminuyeron hasta estar entre 0,8 y 3,7 mg/L. Esta situación de cambios favorables en las concentraciones de DBO5 y Materia Orgánica, por el periodo evaluado, puede ser debida a la disminución de las descargas de aguas residuales sobre la ciénaga gracias a la puesta en marcha del Emisario Submarino y la adecuación de nuevos canales recolectores de aguas residuales de la Ciudad.

- **Plaguicidas**

La determinación de plaguicidas organoclorados y de uso actual, durante las épocas lluviosas de 2012 y 2013 estuvo por debajo del límite de detección de las técnicas utilizadas. No obstante la recomendación dada en el mismo informe técnico es que de acuerdo con los registros históricos de mediciones realizadas; no se debe descartar la necesidad de mantener los monitoreos que puedan evidenciar su presencia, que si bien es esporádica lleva asociada efectos sobre el ecosistema local.

- **Otros parámetros de calidad**

El informe técnico de calidad del agua para la ciénaga de La Virgen de la REDCAM también evaluó los parámetros de metales pesados, aceites y grasas e hidrocarburos. De ellos se determinó que ninguno tiene concentraciones que se consideren de alto riesgo para la biota acuática durante los periodos 2012 y 2013 evaluados.

2.2.4. Bahía interna de Cartagena

Pero además de la ciénaga de la Virgen, el sistema de caños y lagos también se conecta con la Bahía de Cartagena en la Laguna de San Lázaro y ciénaga de las Quintas, por tanto la bahía de Cartagena también hace parte su área de influencia. A continuación se hace una caracterización general de la Bahía resaltando el comportamiento de sus corrientes, mareas y la calidad fisicoquímica de sus aguas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

La Bahía Interna es el espejo de agua de la bahía de Cartagena localizado en el interior de la ciudad, que está rodeada por la isla de Manzanillo, la parte norte del barrio el bosque, la isla de manga, el Centro Histórico, Bocagrande y Castillogrande (Ver Ilustración). Este cuerpo de agua tiene una extensión aproximada de 8 km² y una profundidad promedio de 20m.



Figura 105. Localización de la Bahía Interna

Sus corrientes están influenciadas por las corrientes de la Bahía de Cartagena, las cuales son de derivación, tanto con marea entrante como con marea saliente. En la época de lluvia el Canal del Dique imprime gran influencia sobre el régimen de corrientes superficiales, mientras que en la época de vientos Alisios (época seca) las aguas del Dique se orillan sobre la parte sur de la Bahía generando una corriente en el fondo de Sur a Norte (CIOH, 2008).

Como resultado de la modelación del comportamiento hidrodinámico de la Bahía de Cartagena realizada en el estudio Topográfico, del Clima Marítimo, Caracterización Oceanográfica y Determinación del Oleaje de Diseño y Planteamiento de Alternativas de Solución para la Protección de los Fuertes”, se pudo concluir que la hidrodinámica de la Bahía en general está influenciada en su mayor parte por la marea (entrada por la Escollera Submarina y el Canal de Varadero), por el viento local y los aportes del Canal del Dique, observándose una condición específica de flujos de entrada-salida de la masa de agua para las condiciones de marea saliente y marea entrante. Figura 106 y Figura 107 (FONADE & Consorcio AFA- Ingenieros LTDA, 2009).

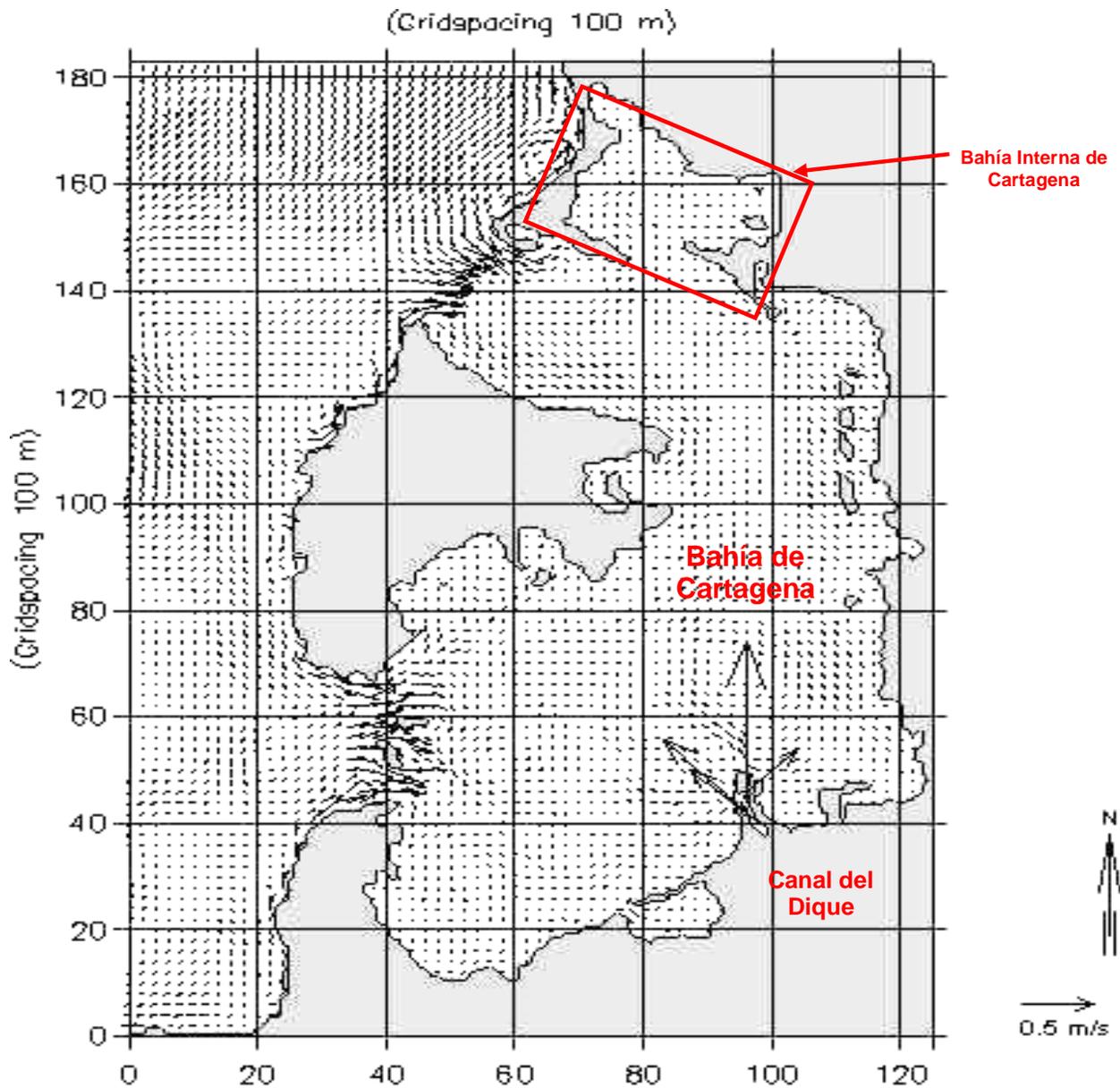


Figura 106. Comportamiento hidrodinámico de la Bahía de Cartagena. Resultados del modelo hidrodinámico HD, marea entrante. FUENTE: FONADE & CONSORCIO AFA-INGENIEROS LTDA, 2009

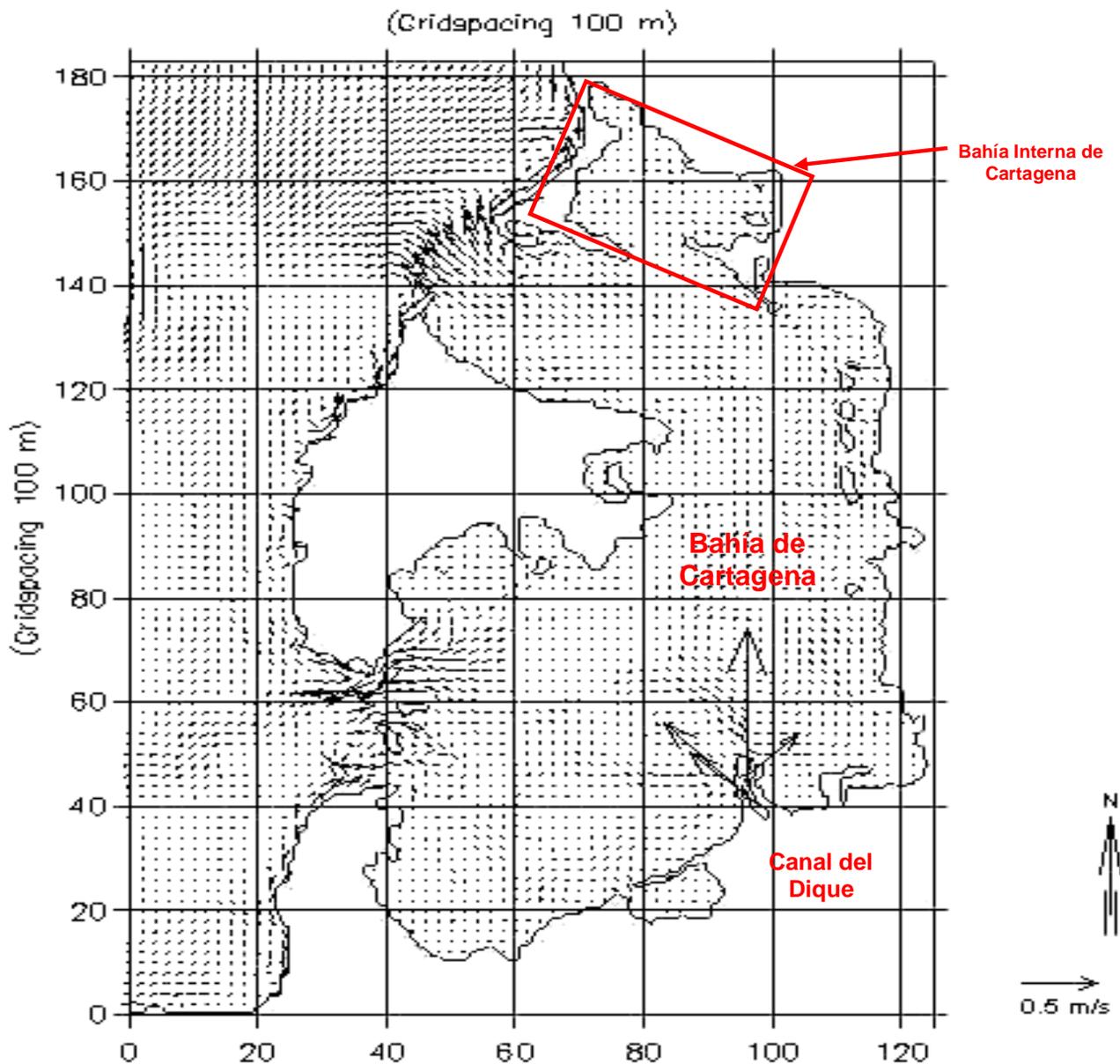


Figura 107. Comportamiento hidrodinámico de la Bahía de Cartagena. Resultados del modelo hidrodinámico HD, marea saliente. FUENTE: FONADE & CONSORCIO AFA-INGENIEROS LTDA, 2009

En cuenta a las mareas de este cuerpo de agua se tiene que durante las diferentes épocas del año, el régimen determinado por las mismas se mantiene, aunque el efecto generado por los vientos Alisios en la época seca produce un régimen predominantemente de norte a sur, permitiendo flujos del mar hacia la Bahía por

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Bocagrande y de la Bahía hacia el mar por Bocachica (INVEMAR, 2009). Para la Bahía de Cartagena el rango de marea astronómica promedio es de 0,375 metros y el nivel medio de bajamar es de 0,521 metros. Durante las tormentas o la presencia de frentes fríos en el Caribe el nivel medio del mar puede aumentar por encima del nivel promedio de marea (CIOH, 2008).

La Universidad de Cartagena ha registrado varias mediciones de marea en diferentes puntos de la ciudad, especialmente en la Bahía de Cartagena. La Figura 108 muestra rangos de marea medidos durante 650 horas en cercanías del canal de Bocachica con amplitudes entre 0.25 m para pleamar y 0.15 m para bajamar con relación al nivel medio de lecturas. Dichas mediciones fueron realizadas en los meses de febrero y marzo de 2008.

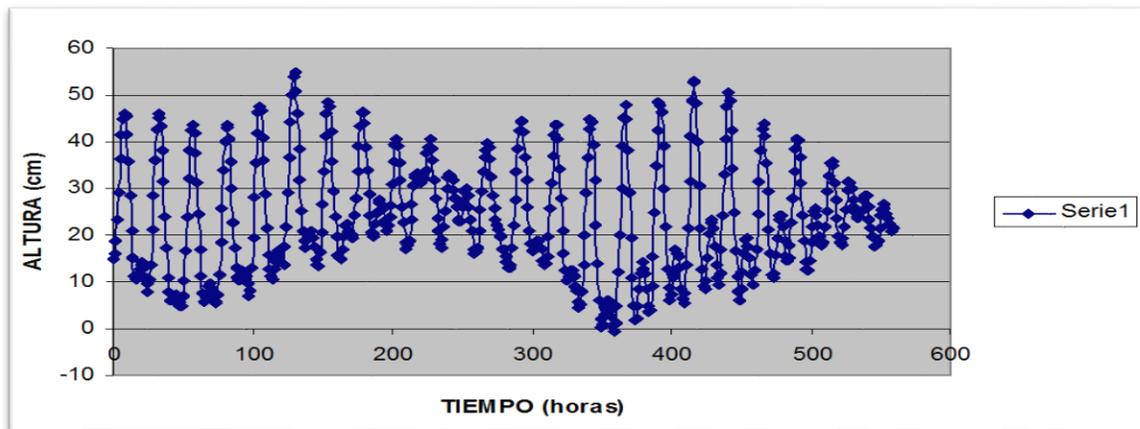


Figura 108. Niveles medidos en el Canal de Bocachica, 2009. FUENTE: UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, 2009

Continuando con la descripción de la Bahía Interna de Cartagena, se pasa ahora a analizar la calidad de sus aguas. Para tan fin se toma como base el análisis multitemporal y espacial realizado por la Universidad de Cartagena, CARDIQUE y ACUACAR (Figura 109), en las estaciones que se muestran en la Figura 109, entre los años 2001 y 2010.



Figura 109. Localización de estaciones para Medición de Calidad de Agua. FUENTE: UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, CARDIQUE Y ACUACAR.

Tabla 36. Resultados de Mediciones de Calidad de Agua

DBO5 (mg/l)							
Estación	2001	2002	2003	2004	2006	2007	2010
E14	-	-	-	-	3,0	5,30	3,2
E17	-	-	-	-	6,0	6,2	2,5
P1	3,9	9,01	2,3	2,1	-	-	-
P2	-	-	-	-	5,6	ND	-
P3	-	-	-	-	6,0	1,3	-
CFS (NMP)							
Estación	2001	2002	2003	2004	2006	2007	2010
E14	-	-	-	-	49	790	230
E17	-	-	-	-	7	1700	40
P1	240	11000	2100	N.D	-	-	-
P2	-	-	-	-	49	< 2	-
P3	-	-	-	-	2	110	-

FUENTE: UDEC, CARDIQUE, ACUACAR.

De estos resultados se puede concluir, que la calidad fisicoquímica y microbiológica de la Bahía Interna de Cartagena es variada en el tiempo y en el espacio, presentando valores de DBO₅ y Coliformes Fecales que oscilan entre 9.01 a 2.5 mg/l y 11000 a 40 NMP, respectivamente. Sin embargo se puede notar que la mayoría de los resultados

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

obtuvieron valores muy altos, que confirman la presencia de materia orgánica y contaminantes microbiológicos en estas aguas.

2.2.5. Suelo que soporta al área de influencia con sus características geológicas y geomorfológicas y coberturas de la tierra y tipos de suelo

El componente suelo es descrito haciendo énfasis en sus características geológicas, geomorfológicas, tipos de suelo y en su cobertura de la tierra

2.2.5.1. Geología

Desde el punto de vista geológico y geomorfológico el área de estudio será descrita abarcando por un lado las unidades próximas al sistema de caños y lagos internos de la ciudad, así como las unidades que componen el cerro de la popa, debido a que ésta última zona influye también de forma directa sobre el sistema de caños y lagos internos de la ciudad.

- **Descripción de las unidades geológicas de la zona de estudio**

De acuerdo a los mapas que integran el estudio “*Zonificación geotécnica y aptitud y uso del suelo en el casco urbano de Cartagena, 2001*” realizado por INGEOMINAS, 2001, las unidades geológicas (Ver Figura 110). , que conforman el área de influencia del sistema de caños y lagos internos de la ciudad son descritas a continuación:

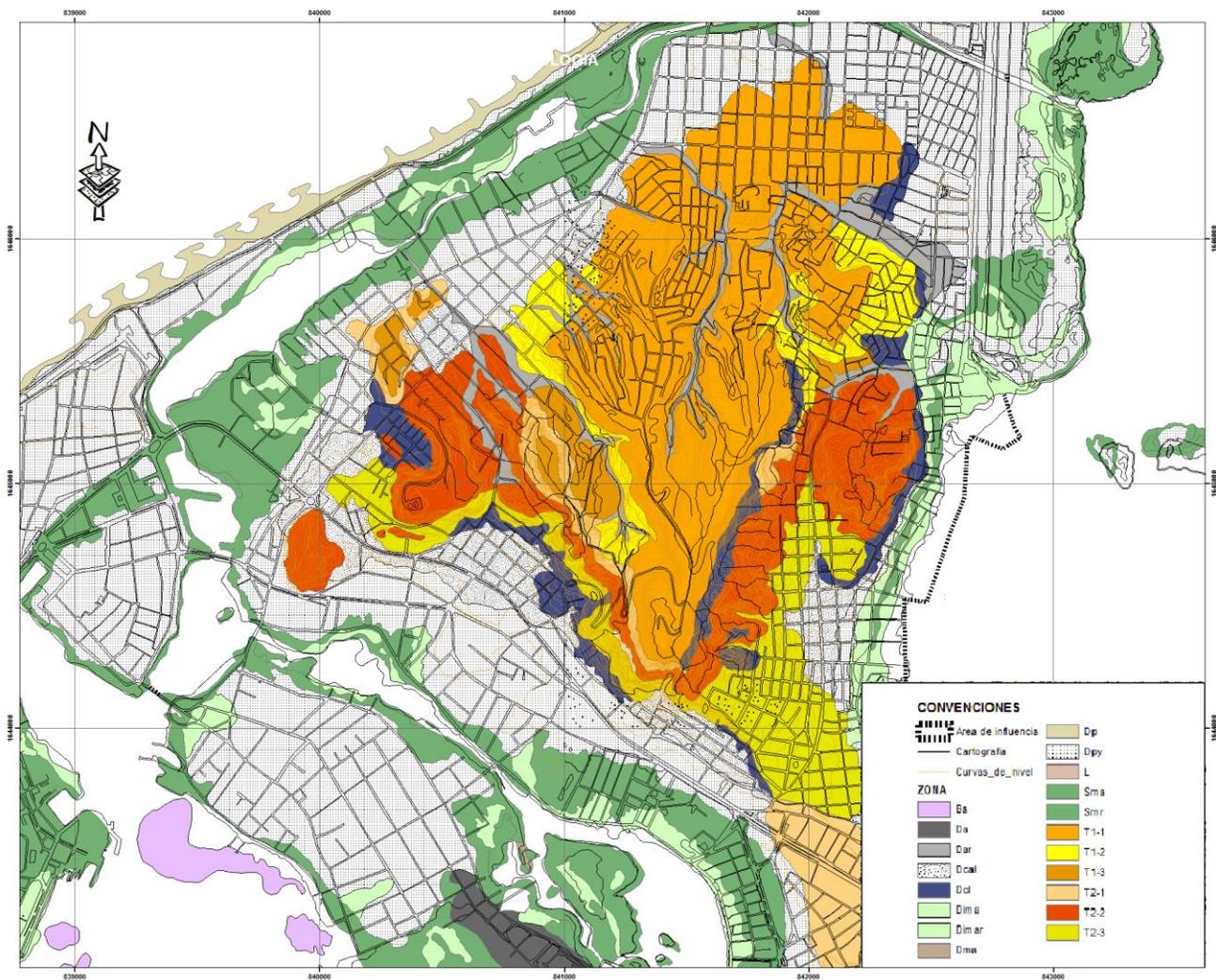


Figura 110 Unidades geológicas que aplican a la zona de estudio. Tomado y adaptado de Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS, 2001

- *Conjunto inferior de la unidad detrítica de la popa (T2-3)*

Son bancos de arcillolitas y limolitas grises oscuras en capas de uno a dos cm con intercalaciones de areniscas arcillosas de grano fino, grises parduscas, es común la presencia de yeso en venas diagonales y capas hasta de 20 cm de espesor, y lentes limolíticos color rojizo de uno a dos cm de espesor; del mismo modo se encuentran concreciones areníticas ovaladas de 10-70 cm de diámetro mayor y de color pardo amarillento.

Aflora especialmente al sur de la ciénaga de la Virgen. Igualmente, se presenta en la base del cerro de La Popa, particularmente hacia el flanco oriental del mismo.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

○ *Conjunto intermedio de la unidad detrítica de la popa (T2-2)*

Son areniscas friables de grano fino a medio localmente conglomerática de color pardo amarillento en capas de 0,5-2m, con intercalaciones de arcillolitas y limolitas grises en capas de 10 a 30cm. Localmente areniscas calcáreas de 5 a 10cm y concreciones calcáreas de 10 a 50cm.

Aflora especialmente en el cerro de La Popa sector La Esperanza.

○ *Conjunto superior de la unidad detrítica de la popa (T2-1)*

Secuencia de areniscas friables localmente conglomeráticas color amarillo parduzco, arcillolitas y limolitas grises en capas de 1-100cm. Localmente areniscas calcáreas grano fino en capas de 10 a 20cm, y caliches diseminados.

Aflora en el extremo sur del cerro de La Popa, y cubre en total una extensión de aproximadamente 8 km².

○ *Conjunto inferior de la unidad calcárea de la popa (T1-3)*

Se constituye de una secuencia de calizas arrecifales color amarillo crema en capas y bancos de 0,5 - 1 m, con intercalaciones de arcillolitas calcáreas color verde oliva en capas de 0,3 - 0,5 m de espesor, que en conjunto muestran una estratificación paralela suave. Las calizas arrecifales se presentan macizas y constituidas de fragmentos de coral *Porites-porites* de 1 - 3 cm, tanto con cemento calcáreo, como embebidas en una matriz arcillosa, igualmente calcárea; tal situación les confiere una resistencia diferencial.

En el sector suroeste del cerro de La Popa, las calizas están constituidas de fragmentos de coral porites, localmente sueltos, mientras en el sector sur del barrio Torices Lemaitre se presenta un banco de caliza maciza de 3 - 4 m de espesor, localmente con porosidad primaria y alta meteorización. El suelo vegetal desarrollado es en promedio de 12 - 20 cm y de constitución arenoso-arcilloso, pardo oscuro.

○ *Conjunto intermedio de la unidad calcárea la popa (T1-2)*

Son limolitas y arcillolitas calcáreas (Margas) en capas 0,5 – 1m, color gris claro, bancos de areniscas friables de grano medio color pardo amarillento de 10 – 20m y niveles locales de 1 a 2m de caliza arrecifal calichosa color amarillento.

La parte media de la Unidad Calcárea de La Popa aflora en el cerro de La Popa, en el barrio Guillermo Posada y San Francisco, este último en el extremo nororiental del cerro.

En el cerro de La Popa (barrio Guillermo Posada) se considera de este conjunto una secuencia de 23 m de arcillolitas grises y limolitas parduscas en capas de uno a dos cm,

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

con intercalaciones de areniscas calcáreas pardo grisáceas de 2 a 5 gris claro y de composición cuarzofeldespática, suprayacida por 5,2 m de calizas arrecifales,

- *Conjunto superior de la unidad calcárea de la popa (T1-1)*

Está constituido predominantemente de bancos de dos a cuatro m de caliza terroso y calichoso amarilla crema, y areniscas calcáreas con niveles delgados de 0,7 - 0,8 m de arcillas calcáreas amarillo-parduscas con oxidación. Se encuentra expuesta en la parte superior del cerro de La Popa y al sur de la ciénaga de la Virgen.

En el cerro de La Popa se presentan bancos macizos de caliza arrecifal constituido de fragmentos de coral Porites porites y conchas de bivalvos bien cementadas; localmente, hacia el sector sur de la iglesia se presentan oquedades de 1 - 50 cm, producto de disolución de las calizas. Hacia el norte del cerro, éstas se presentan macizas, de color amarillo crema, pero con muestras de meteorización intensa, especialmente en el sector de San Francisco.

- *Depósitos intermareales (Dima – Dimar)*

Son acumulaciones lodosas asociadas a zonas donde la acción marina es baja. Los sedimentos constitutivos corresponden predominantemente a arcillas y limos blandos, grises oscuras, con restos de fragmentos de conchas y localmente con interdigitaciones de arena arcillosa de grano fino, color y pardusco. Localmente se han diferenciado en el mapa litológico, los sedimentos intermareales con predominio de arcillas (DIMA), de aquellos que contienen arenas y limos (DIMAR), sin embargo, sus características geotécnicas son muy parecidas.

En sectores aledaños al caño Juan de Angola, lagunas de Marbella y Cabrero, Chambacú, San Lázaro y Bazurto, los depósitos intermareales se disponen en franjas de 20 - 60 m de ancho, de espesores variables entre 5 - 10 m, y de constitución predominantemente arenosa fina, y arcilla blanda color gris oscuro, debido a su relación con los depósitos de playa y dunas cercanos.

Es importante indicar, que la mayoría de estos depósitos a lo largo de la zona de estudio se encuentran cubiertos por rellenos de arena grava o recebo (zahorra), hechos en la mayoría de los casos de manera antitécnica.

- *Depósitos coluvio aluviales (Dcal)*

Los depósitos coluvio aluviales son acumulaciones de sedimentos tipo arena y grava y localmente limos, producto de la acción combinada de procesos coluviales y de escorrentía superficial, localmente torrencial. Se localizan en los alrededores del cerro de La Popa, en los barrios La María, Las Flores, Las Quintas y Pie de la Popa; en la parte sur de la ciénaga de la Virgen.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

La constitución en las zonas distales es predominantemente arenosa-arcillosa de colores pardos y grisáceos donde es común encontrar gravas gruesas de chert (chinas) y fragmentos de coral hasta de ocho cm. En las zonas cercanas a escarpes pronunciados, se encuentran bloques angulares de 5 - 20 cm de calizas y areniscas calcáreas especialmente en el sur de La Popa. Referente al espesor, puede variar entre 0,5 - 2 m, en las zonas más distales, mientras en los sectores localizados cerca a los taludes, el espesor varía entre 5 -15 m, aproximadamente.

- *Depósitos coluviales (Dcl)*

Los depósitos coluviales son acumulaciones de bloques de 0,5 - 1 m, embebidos en matriz arenosa gruesa, localizadas en la base de los escarpes o en las partes bajas de las laderas, y cuyo origen se debe primordialmente a la acción de la gravedad. Se incluyen deslizamientos, solifluxión y depósitos de talud.

Se encuentran preferencialmente en las bases escarpadas del cerro de la Popa, donde alcanzan espesores del orden de 1 - 12 m y se constituyen de bloques de arenisca calcárea y caliza de 0,5 - 1 m que se encuentran embebidos (flotantes) en una matriz arenosa calcárea de grano grueso, fácilmente removible.

- *Depósitos aluviales recientes (Dar)*

Los depósitos aluviales recientes son acumulaciones arenosas localmente arcillosas, relacionadas con los drenajes naturales y sus desembocaduras. Se constituyen de arenas gruesas o arcillosas de grano fino cuya composición varía de acuerdo con su localización.

En el cerro de La Popa se constituyen de arenas medias a gruesas de color amarillo crema de composición calcárea (fragmentos de caliza), mientras en sectores como el sur de la ciénaga de la Virgen predominan las arenas y limos pardos grisáceos de grano fino medio con grava fina de chert negro y pardo.

Hacia los sectores suroriental de la ciénaga de la Virgen y noroeste se encuentran arcillas limosas relacionadas con llanuras de inundación.

- *Sustrato de manglar (Smr – Sma)*

Corresponde a acumulaciones de lodos y arenas grises oscuras con abundancia de materia orgánica que se constituye en el sustrato apto para el desarrollo del manglar actual (Smr). Se presentan predominantemente en zonas protegidas como en los caños y lagos internos de la ciudad. Los sectores arcillosos y localmente arenosos, sobre los cuales en tiempo pasado reciente se desarrolló el ecosistema del manglar y otras plantas halofitas se denomina sustrato de manglar antiguo (Sma). La desaparición de estas plantas puede deberse, tanto a posibles cambios en las condiciones ambientales tales como contaminación por aguas servidas, dragados mal tratados (Viña, 1.989, en Carvajal & Pérez, 1.993), o como consecuencia de la tala indiscriminada del manglar.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

La característica principal de este sustrato es la alta concentración de materia orgánica en descomposición, asociada íntima y genéticamente con los depósitos intermareales antes descritos.

Este sustrato se encuentra bordeando los canales y lagunas internas de Cartagena. En el sector de Torices (NW del cerro de La Popa), se presenta un nivel de sustrato de manglar de 70 cm a una profundidad promedio de 1 m, en relación con sedimentos arcillo arenosos con abundancia de materia orgánica y fragmentos de concha de 1 - 2 cm. En Marbella y El Cabrero este nivel se encuentra de 1,30 - 4 m de profundidad, y suprayace localmente limos arcillosos y orgánicos blandos de color gris oscuro de 4 - 5 m de espesor.

En el sector de Manga, el sustrato de manglar alcanza espesores de 1 - 1,2 m, y se localiza a una profundidad entre 5 - 5,5 m, entre arenas limosas grises con materia orgánica. En los sectores urbanizados, el sustrato ha sido cubierto por rellenos de arena, grava y zahorra.

Las zonas de mayor cobertura de manglar reciente se encuentran en la parte suroriental de la ciénaga de la Virgen y en las islas localizadas en la parte oriental de la bahía de Cartagena.

Los depósitos de playón son acumulaciones arenosas con locales concentraciones de grava de origen lítico (chinas) y biodetrítico (fragmentos de concha y localmente coral). Representan antiguos niveles de playa, y conforman geoformas de origen marino, tales como espigas, barras y playones propiamente dicho.

Se presentan bordeando los caños y lagunas actuales en los barrios Canapote, El Centro, Getsemaní, Pie de La Popa y El Bosque; conforma barras arenosas antiguas en el suroriente de la ciénaga de la Virgen.

En el barrio El Cabrero los playones son del orden 8 - 12 m y en Marbella y Crespo sobrepasan los 16 m. En el sector del Pie de La Popa, por el contrario, los espesores varían entre 2 - 10 m, y disminuyen su espesor hacia el cerro.

2.2.5.2. Geomorfología actual

Las geoformas identificadas en los caños y lagos internos de Cartagena deben su origen a factores endogenéticos asociados tanto a los fenómenos de diapirismo de lodos como a los procesos compresivos relacionados con la interacción de las placas Caribe y Suramericana. En este contexto, a escala regional el terreno donde se ubica la ciudad de Cartagena hace parte de la Provincia Geomorfológica del Sinú, la cual a su vez se ha subdividido en regiones y subregiones geomorfológicas, determinadas, las primeras, por el ambiente morfogenético (ambientes, morfoestructural, denudacional, depositacional y antrópico) y por procesos morfodinámicos particulares, en las segundas INGEOMINAS, 2001.

Las unidades geomorfológicas que conforman el área de influencia del sistema de caños y lagos internos de la ciudad (Ver **Figura 111**), de acuerdo a los mapas que integran el estudio “Zonificación geotécnica y aptitud y uso del suelo en el casco urbano de Cartagena, 2001” realizado por INGEOMINAS, 2001 son:

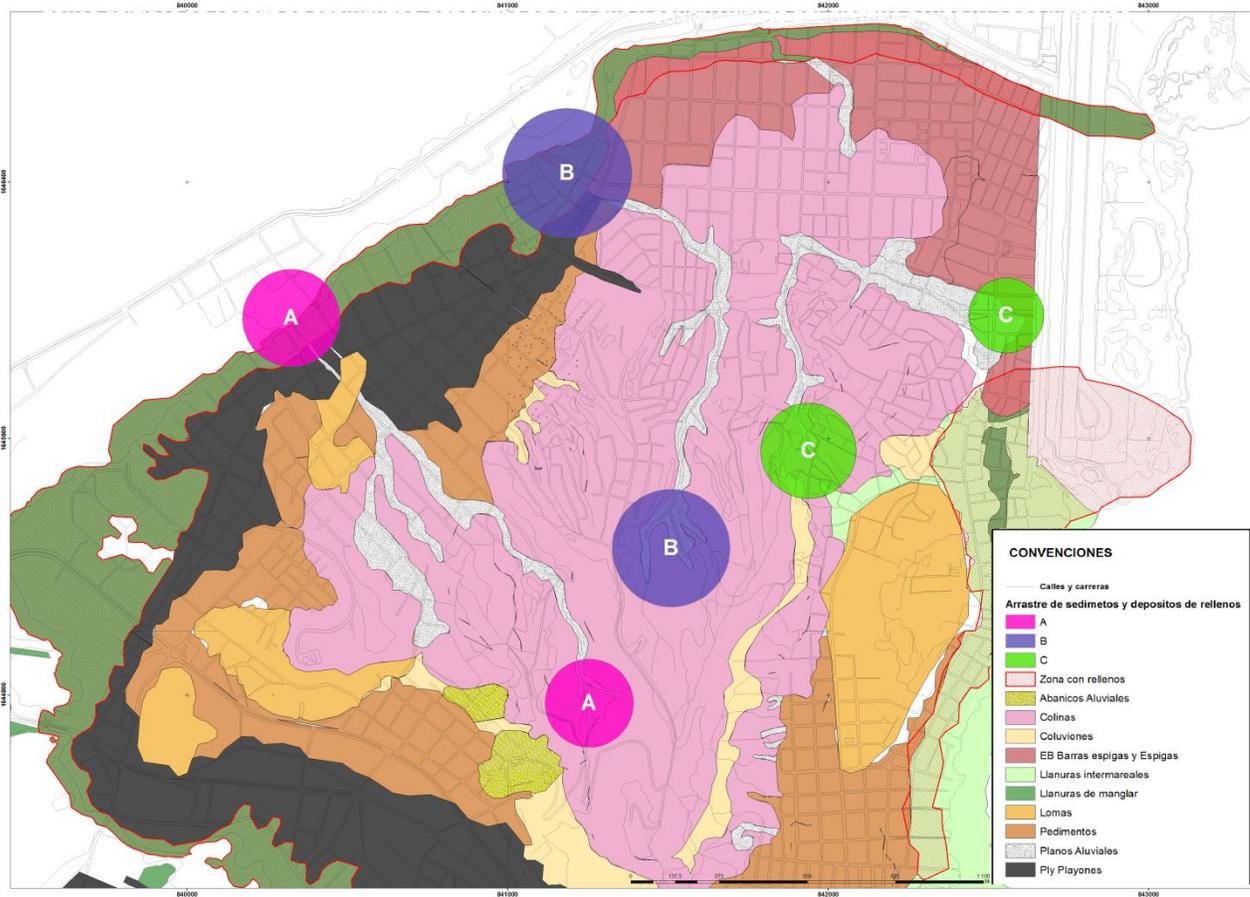


Figura 111 Unidades geomorfológicas que aplican a la zona de estudio. Tomado y adaptado de Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS, 2001

- **Llanuras costeras (LLC)**

Son planicies extensas, ligeramente onduladas, limitadas hacia la parte continental por colinas y lomas y hacia el mar por playas o llanuras intermareales. Su génesis involucra procesos fluviomarinos de sedimentación y erosión.

Llanuras con estas características se presentan ampliamente expuestas al oriente y sureste de la ciénaga de la Virgen.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Llanuras intermareales (LLIA - LLIAR)**

Son planicies o depresiones muy someras con suave inclinación hacia los cuerpos de agua marina o laguna costera. Se caracterizan porque periódicamente se inundan de manera total o parcial por efecto de la marea o la escorrentía superficial.

Las llanuras intermareales se encuentran ampliamente desarrolladas al sur y oriente de la ciénaga de la Virgen. En estos lugares alcanzan amplitudes de 500 – 1.000 m y permanecen inundadas especialmente en el sector suroriental.

En el costado occidental de la ciénaga (barra-espiga de la Boquilla), las llanuras intermareales son más reducidas (100 - 200 m) y presentan un aspecto interdigitado y festoneado con los sedimentos arenosos de la barra. Sus elevaciones sobre el nivel del mar oscilan entre 10 – 60 cm, de ahí su inundabilidad periódica.

- **Llanuras de Manglar (LLMA – LLMR)**

Son superficies planas cenagosas compuestas esencialmente de lodos y arenas donde se desarrollan plantas halófitas, tales como el manglar. Se encuentran asociadas a los bordes de los cuerpos de agua internas y cubren localmente pináculos o bajos arrecifales antiguos.

- *Llanuras de manglar reciente (LLMR)*

Corresponden a aquellas zonas planas donde crece actualmente el manglar. En orden de abundancia las especies de manglar más representativas son; *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinaris* y *Laguncularia racemosa*. Alcanzan alturas de tres a seis m y se presentan como franjas de 10 - 60 m de ancho que bordean los cuerpos de aguas internos e igualmente como parches de 0,2 - 0,5 km² asociados a bajos arrecifales antiguos y deltas de marea.

El máximo desarrollo se presenta en el borde interno de la barra-espiga de La Boquilla y en el costado suroriental de la ciénaga de La Virgen. Igualmente se encuentran en la boca de La Boquilla donde cubren deltas de marea de configuración en abanico o festoneada.

En la ciénaga de Las Quintas se presenta un parche de manglar que cubre aproximadamente 800 m² de extensión, y es característico en todos los sectores descritos, el desarrollo de un drenaje interno asociado a flujos y reflujos de marea.

- *Llanuras de manglar antiguo (LLMA)*

Antiguas llanuras de manglar fueron destruidas para acondicionar el terreno para la construcción de obras civiles industriales o residenciales. Actualmente han sido rellenadas, y presentan una morfología plana.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Su máxima expresión se encuentra en Chambacú (0,3 km²) y el sector de Torices (0,2 km²). Estos últimos sectores aledaños a la laguna de El Cabrero y Juan Angola.

Bordeando la ciénaga de la Virgen, se presentan franjas de antiguas llanuras de manglar de 100 - 300 m de ancho, las cuales han sido colonizadas paulatinamente por medio de rellenos muchas veces no adecuados.

- **Colinas (C)**

Las colinas son prominencias topográficas con alturas superiores a 55 m, de pendiente localmente rectas, cóncavas o convexas, donde es común el desarrollo de drenaje radial o angular, con escarpes subverticales de 15 - 50 m de altura. Se definen como colinas la serranía de La Popa, el cerro Marión y el cerro Albornoz.

La colina de La Popa corresponde a una cuesta cuya máxima altura alcanzan los 155 m en su parte sur. Se dispone elongada hacia el norte con pendiente recta de 5o - 10o hacia el noroeste que coincide con la pendiente estructural de las calizas de la Formación La Popa. Se desarrolla un drenaje angular con valles profundos de 15 - 20 m, en formas de "V", asimétricos y localmente con fondo plano o curvo.

El sector sur de La Popa, particularmente, es la zona más escarpada, con alturas de 70 - 80 m y pendientes de 33 – 45°; localmente, mayores en la base del convento de Los Agustinos Recoletos. Hacia la base se presentan abanicos aluviales y coluviales, productos de la erosión intensa de la ladera.

- **Lomas (L)**

Las lomas son prominencias topográficas con elevaciones menores de 55 m, de morfología suavemente ondulada donde se desarrolla, en general, un drenaje dendrítico subparalelo espaciado.

En el sector del cerro de La Popa se consideran como lomas los cerros de los barrios La María y La Esperanza (oriente del cerro) y el cerro del Colegio La Salle, al occidente del mismo. Mientras el primero alcanza los 55 m, de altura, el segundo no sobrepasa los 40 m.

Las dos prominencias se caracterizan por sus pendientes topográficas rectas relacionadas con las pendientes estructurales que definen una morfología de cuestas. Mientras en el cerro La María-La Esperanza son del orden de 7° - 8° hacia el noreste, en el Colegio La Salle son de 3° - 5° hacia el noroeste. Las zonas que bordean lateralmente los cerros mencionados son laderas de pendientes cortas e irregulares de 15° - 33° que sobrepasan los 45° en el sector oriental del cerro del Colegio La Salle.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Plataforma de abrasión elevadas (Pe)**

Las plataformas de abrasión elevadas son superficies planas ligeramente inclinadas hacia el mar que fueron labradas en el pasado (Cuaternario reciente) sobre sustrato rocoso, por la dinámica marina imperante en aquel entonces. Como consecuencia de movimientos eustáticos o levantamientos posteriores del borde costero, estas superficies se encuentran elevadas con respecto al nivel del mar actual y están limitadas por escarpes acantilados antiguos (paleoacantilados), hoy alejados de la línea de costa.

- **Pedimentos (Pda - Pde)**

Los pedimentos son superficies en declive de uno a siete grados de inclinación localizadas en el pie de una colina o loma, y cuyo origen se debe a procesos erosivos de acumulación diferenciales, asociados a flujos laminares de agua. Son típicas de áreas de climas áridos a semiaridos. En el casco urbano de Cartagena se definen, por el borde de la colina de La Popa y las lomas descritas al sur de la ciénaga de la Virgen y al norte del barrio Policarpa Salavarrieta. Se diferencian dos tipos: pedimentos por erosión y pedimentos por acumulación.

Los primeros, que tienen una mayor pendiente (5o - 7o), se caracterizan por la presencia de surcos en el terreno, de 10 - 20 cm de profundidad, y los segundos, por sus pendientes del orden de dos a tres grados y su morfología suavemente ondulada, relacionada a la acumulación de sedimentos, localmente de origen torrencial.

- **Abanicos aluviales (A)**

Los abanicos aluviales son acumulaciones en forma de cono en vista de planta, de suave pendiente y constituidos de fragmentos de rocas y sedimento. Su origen está asociado a la erosión y posterior acumulación hecha por una corriente de agua en la base de una zona escarpada.

Geoformas con estas características se ubican particularmente en el costado sur del cerro de La Popa, donde presentan forma de cono y pendientes del orden de tres a siete grados. En general, cubren áreas del orden de 10.000 m² y, como característica principal, son coalescentes como consecuencia del paralelismo de los canales que descienden del cerro de La Popa, en el sector de Las Quintas.

- **Coluviones (Co)**

Los coluviones son acumulaciones de fragmentos de roca localizados en la base de las zonas escarpadas. Localmente presentan forma de cono y su origen se debe fundamentalmente a la acumulación mecánica por efecto de la gravedad (deslizamientos, flujos y soliflujión del terreno). Se incluyen los talus localizados en la base de las zonas escarpadas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Se presentan a manera de franjas en la base de zonas escarpadas relacionadas con las calizas de La Popa, especialmente al oriente del cerro del mismo nombre. Las pendientes desarrolladas en este tipo de geoforma son del orden de 20 – 30°.

- **Barras-espigas**

Las barras y espigas son cuerpos elongados de arena y grava, configurados por la acción combinada del oleaje y las corrientes litorales en aguas de poca profundidad. Limitan los cuerpos de aguas internas, tales como las lagunas costeras.

La barra-espiga más desarrollada se presenta al norte del área y une el casco urbano de Cartagena con el Corregimiento de La Boquilla. Tiene una longitud de seis km y es elongado en dirección NNE.

La barra-espiga de La Boquilla tiene una amplitud variable entre 80 – 1.700 m. La parte más ancha se presenta hacia el sur en el área del aeropuerto Rafael Núñez, mientras la más angosta se encuentra en la parte central de la misma, en el sector de la punta Zapatero.

Desde el sector de Canapote hasta el centro de la ciudad amurallada, se extiende otra barra - espiga de 3,5 km de larga y amplitudes de 50 - 500 m, con su sector más ancho hacia el sur. Esta barra de constitución arenosa (Depósitos de playón) encierra el caño Juan Angola y la laguna de El Cabrero, cuyos bordes constituían llanuras de manglar, hoy rellenadas para la ampliación de la ciudad. Su morfología es de aspecto plano ligeramente ondulada y se encuentra de 0,6 - 2,2 m sobre el nivel del mar.

Hacia la parte sur y sureste de la ciénaga de la Virgen, con base en el análisis de fotografías aéreas antiguas, se determinó la existencia de antiguas barras de constitución areno-arcillosa. Estas barras de amplitudes que no superan los 80 m, se encuentran delimitando llanuras intermareales antiguas asociadas a lagunas costeras.

- **Playones (Ply)**

Los playones son lóbulos o prismas de material no consolidado (arenas), asociados a playas antiguas de gran extensión. Se presentan bordeando las zonas elevadas actuales, y cubren parcialmente algunas islas.

En los alrededores del cerro de La Popa, sectores de Torices, Pie de La Popa, Pie del Cerro y Martínez Mártelo, presentan amplitudes de 50 - 450 m. La configuración es irregular, con inclinaciones de tres a cinco grados hacia las lagunas, y conforman una morfología suavemente ondulada bisectada localmente por canales de agua que provienen del cerro de La Popa. Su elevación sobre el nivel del mar oscila entre 1,5 - 2,5 m.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Planos aluviales (Pa)**

Los planos aluviales son lóbulos de sedimentos arcillosos o arenosos formados por la depositación fluvial a lo largo de los cauces y la desembocadura de las corrientes de agua. Se incluyen igualmente terrazas y llanuras de inundación fluvial. Se destaca por su relativa mayor extensión al sureste de la ciénaga de La Virgen.

2.2.6. Cobertura de la Tierra de las cuencas que drenan hacia el sistema de caños y lagos internos.

Los ecosistemas terrestres se determinan a partir de las condiciones físicas, biológicas y paisajísticas del área a medida que pasa el tiempo. Estos van formando de manera natural una serie de interacciones que permiten identificar estados sucesiones y evolutivos a nivel vegetativo y faunístico. Identificando de esta manera las condiciones de hábitats y disposición de alimento que finalmente garanticen el establecimiento de diversas especies biológicas.

Como se puede notar en la mapa de la Figura 112, en el área de influencia de este proyecto es posible identificar de manera general fragmentos de coberturas vegetales con una drástica transformación, evidenciándose el grado de intervención antrópica, donde la mayor parte de especies presente tienen comportamientos generalista, es decir, presentan una amplia tolerancia a cambios fisiológicos y usos del recurso. Esta fragmentación no permite que las especies típicas de este tipo de ecosistemas tengan un lugar de refugio apropiado y una oferta alimenticia que favorezca la abundancia y permanencia de especies.



Figura 112. Mapa de cobertura de la tierra del área de influencia del proyecto. Fuente: Autores, 2015. Fuente: CARDIQUE 2001.

En la Figura 112 se tiene que la zona estudio presenta dos coberturas generales, una es el tejido urbano continuo y discontinuos y la otra los bosque abiertos localizados en la parte alta del cerro de la Popa.

Los tejidos urbanos continuos y discontinuos se caracterizan por tener zonas verdes o cobertura vegetal conformada por arborización típica de las zonas urbanas de Cartagena de Indias, sembrada en forma aislada e irregular en los frentes, patios de las viviendas y las calles. Según la línea base de arbolado urbano en la ciudad de Cartagena de Indias, entre las especies arbóreas más representativas de la zona se encuentran el Almendro (*Terminalia cattapa*), Mango (*Mangifera indica*), Palma manila (*Veitchia merilli*), Palma de Coco (*Cocos nucifera*), Palma Areca (*Dyopsis lutescens*), Roble (*Quercus robur*), Ciruela

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

(*Spondias purpurea*), jobo (*Spondias mombim*), Totumo (*Crescentia cujete*) entre otros tipos de vegetación.

Según El Macroproyecto de Recuperación Integral del Cerro de la Popa realizado en el año 2010, El Bosque abiertos localizados en la parte alta del cerro de la Popa, predomina una gran extensión de terreno con vegetación tipo herbácea, al igual que algunos árboles y arbustos, sin embargo esta extensión se ha ido disminuyendo progresivamente por la construcción de viviendas de manera ilegal sobre el área de protección.

2.2.7. Atmosfera

2.2.7.1. Clima

Por su situación geográfica en el área suroeste del Caribe, el régimen climático de la ciudad de Cartagena de Indias, considerado tropical semiárido, está bajo la influencia de cuatro fenómenos meteorológicos principales presentados en la Tabla 37.

Tabla 37. Fenómenos meteorológicos asociados con la variación climática de Cartagena de Indias

Fenómenos	Descripción
Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I.)	Presenta desplazamientos en dirección norte-sur y dependiendo de su ubicación relativa respecto de la costa modifica el régimen de vientos y lluvias asociado con ella
Vientos alisios	Vienen del norte y noreste, presentándose con mayor intensidad entre finales de noviembre y marzo. En la bahía, también se registran vientos del sur y sureste en los meses de agosto a noviembre, creando condiciones climáticas distintas para esta época del año.
Pasos de las ondas del este	Causan un incremento en el cubrimiento nuboso acompañado de lluvias posteriormente a su paso, siendo frecuentes entre junio y noviembre.
Frentes fríos tributarios del hemisferio norte	Alcanzan cierta distancia a la costa y generan un tren de olas que al combinarse con swell producen el fenómeno conocido como “mar de leva”, lo cual ocurre generalmente entre enero y febrero, extendiéndose en algunas ocasiones hasta abril.

Fuente: Adaptado de Instituto de Hidráulica y Saneamiento Ambiental - IHSA, 2014; p. 95 y 96.

Con el fin de caracterizar el componente clima del área de influencia del proyecto, se efectuó un análisis multianual del comportamiento de las principales variables climatológicas registradas por la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez y la estación del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) ubicada en la Escuela Naval Almirante Padilla, cuya información fue suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). La Figura 113 y la Tabla 38. Estaciones meteorológicas usadas muestran la localización y

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

descripción de las estaciones, respectivamente. Las variables seleccionadas para la caracterización general del clima fueron en su orden: precipitación total mensual, número de días mensuales de lluvia, temperatura mensual máxima, media y mínima, humedad relativa promedio mensual, brillo solar total mensual, velocidad promedio del viento mensual, evaporación total mensual y nubosidad promedio mensual. Por la falta de registros completos en la estación del CIOH, solo algunos de los parámetros meteorológicos fueron tenidos en cuenta para esa estación. En el Anexo 9 se encuentran todos los datos utilizados para el análisis meteorológico.

- **Precipitación**

El régimen de Cartagena se divide en cuatro periodos:

- *Época seca mayor*

Comprendida entre los meses de diciembre a abril. Caracterizada por la presencia de vientos Alisios del noreste de mayor intensidad con lluvias muy escasas o nulas.

- *Época lluviosa menor*

Va desde el mes de mayo hasta junio. En esta época los vientos Alisios se han debilitado.

- *Época seca menor (veranillo de San Juan)*

Se sucede entre los meses de julio y agosto. Se caracteriza por la irregularidad de las lluvias y los vientos, los cuales no sólo varían su intensidad sino su dirección predominando los vientos Norte – Noreste cuya intensidad aumenta hacia el mes de julio (IHSA, 2014; p.97).

- *Época de lluvia mayor*

Va desde el mes de septiembre a noviembre. Periodo de mayor proporción de lluvias y menos intensidad de los vientos (IHSA, 2014; p.97).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

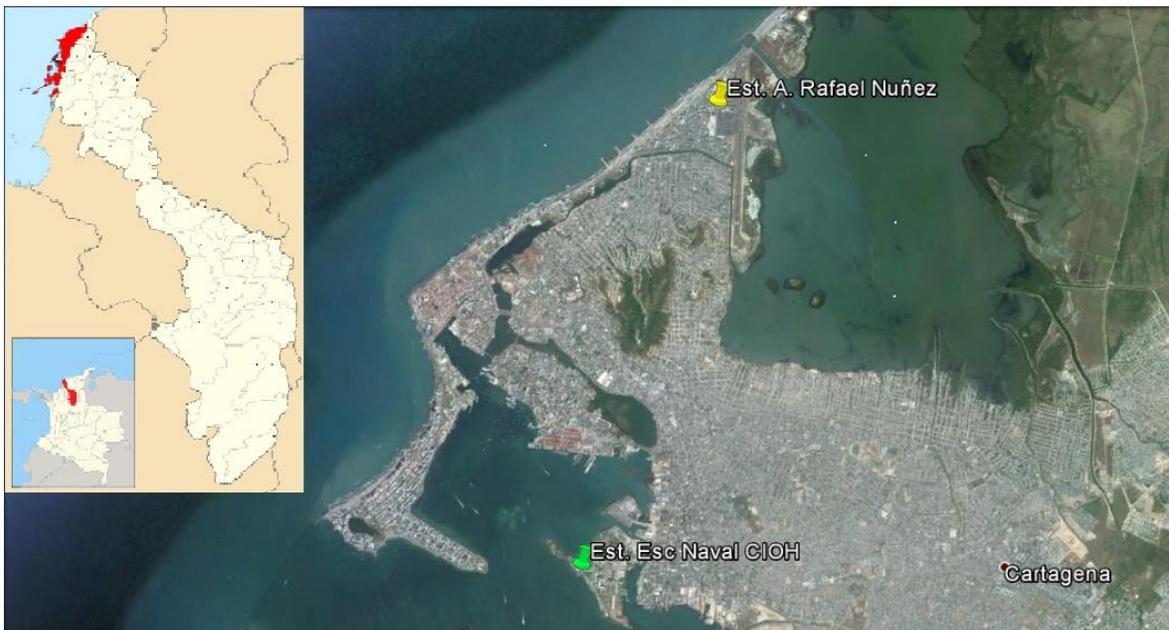


Figura 113. Localización de estaciones meteorológicas en el área de estudio.

Tabla 38. Estaciones meteorológicas usadas

Estaciones	Departamento	Municipio	Coordenadas		Altura (m.s.n.m.)	Tipo
			X	Y		
Aeropuerto Rafael Núñez	Bolívar	Cartagena	842.787.8	1.647.446,1	2	Sinóptica Principal
Escuela Naval	Bolívar	Cartagena	840.928.7	1.640.078,1	1	Climatológica Principal

m.s.n.m.m.= metros sobre el nivel medio del mar. Coordenadas planas Magna-Sirgas.

○ *Estación Aeropuerto Rafael Núñez*

De la estación del Aeropuerto Rafael Núñez se seleccionaron los registros desde el año 1944 hasta el año 2014, que generan una serie multianual continua. La Figura 114 muestra la variación de la precipitación total anual, calculada sumando el total de precipitación mensual de cada año. Se observa un aumento progresivo para los años más lluviosos, llegando a los 2.469 mm en 2010. En la Figura 115 puede verse claramente una época donde hay presencia de lluvias (entre abril y diciembre) con una leve disminución en los meses de junio y julio debido al Veranillo de San Juan, esto se evidencia en las temperaturas promedios mensuales. Entonces, el clima de Cartagena presenta dos épocas principales y una de transición; la época húmeda o época de lluvias (desde mayo hasta noviembre); la época seca, donde típicamente no hay registros de precipitación (inicia en diciembre y finaliza en abril); y por último, una época de transición donde se presentan lluvias esporádicas y altas temperaturas (junio y julio) conocida como el

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Veranillo de San Juan. Desde el mes de mayo hasta septiembre, y noviembre, se observaron registros similares de los valores medios de precipitación total mensual, cercanos a 100 mm. El valor máximo de precipitación total mensual se observó en octubre del 2007 (613 mm). Adicionalmente, en este mismo mes se observó el mayor valor promedio cercano a 220 mm. Seguido de octubre, el mes que registró el valor máximo (580,9 mm en el año 2010) y el mayor valor promedio (138,9 mm) de precipitación total fue noviembre. En los meses de transición, el promedio de las precipitaciones mensuales esta alrededor de los 100 mm y un máximo de precipitación total en julio del 2010 con 382,5 mm.

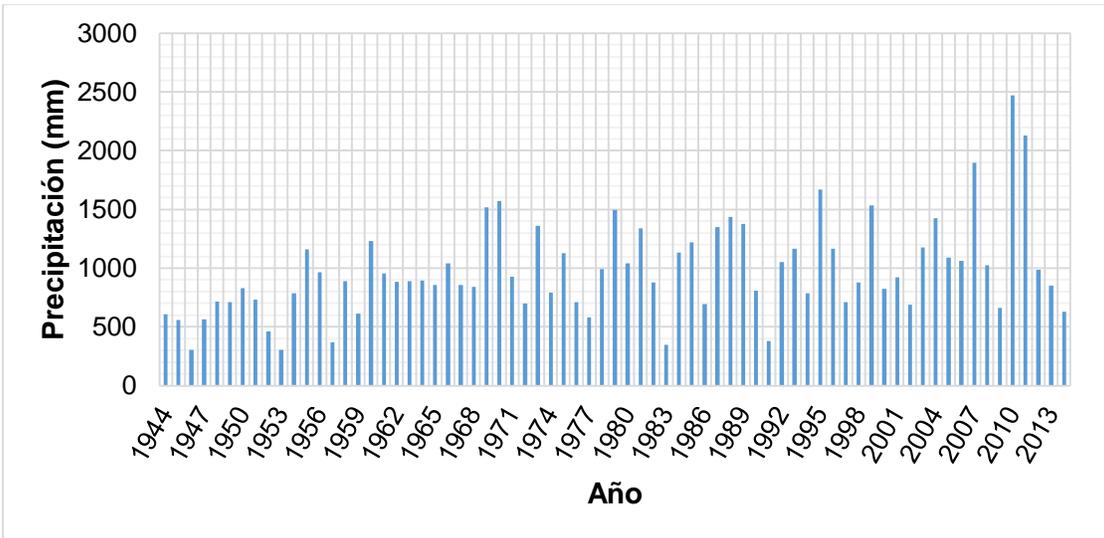


Figura 114. Valores totales anuales de precipitación desde el año 1944 hasta el año 2014, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

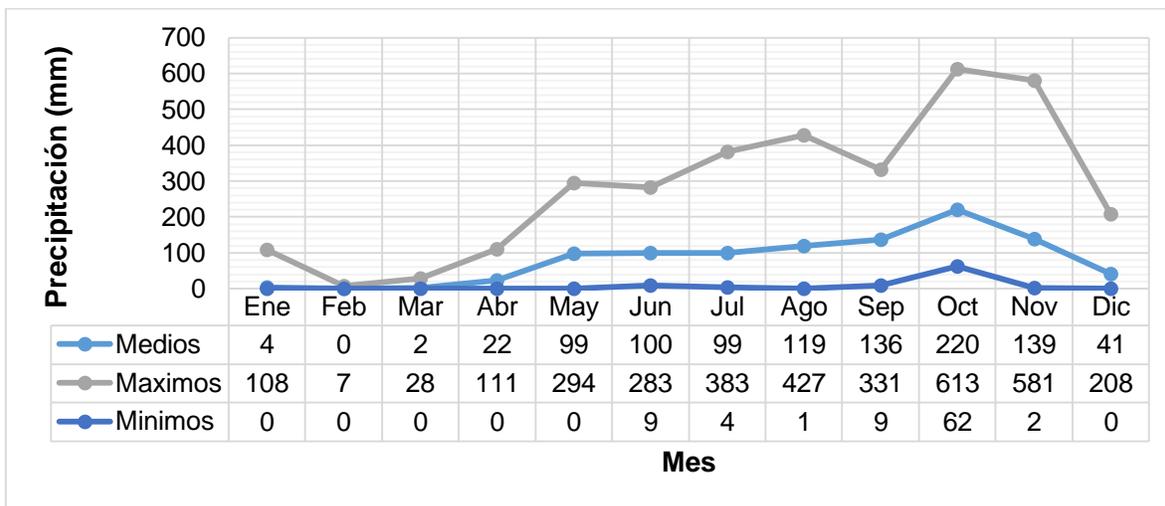


Figura 115. Variación temporal de los valores totales mensuales de precipitación, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

En la Figura 116, Figura 117, Figura 118 y Figura 119 se ven los totales mensuales de precipitación año a año. Se puede apreciar que los máximos totales mensuales de toda la serie ocurren después del año 2000 en los meses de octubre y noviembre.

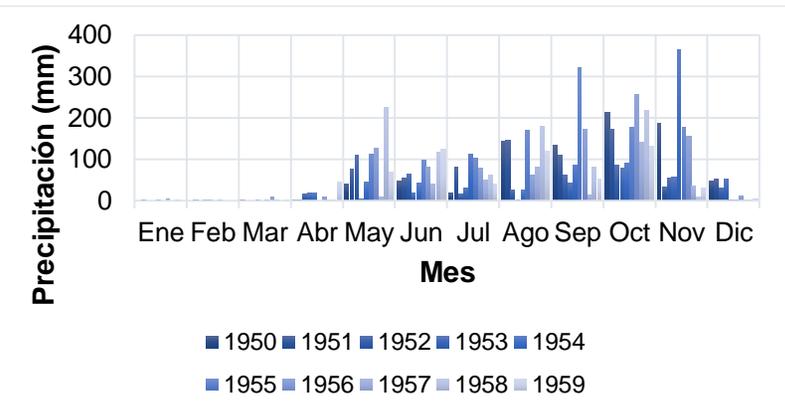
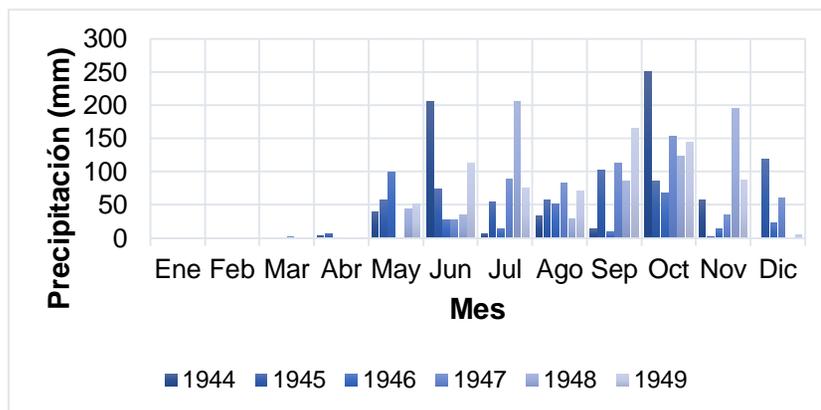


Figura 116. Valores totales mensuales por año de precipitación (1944 – 1959), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

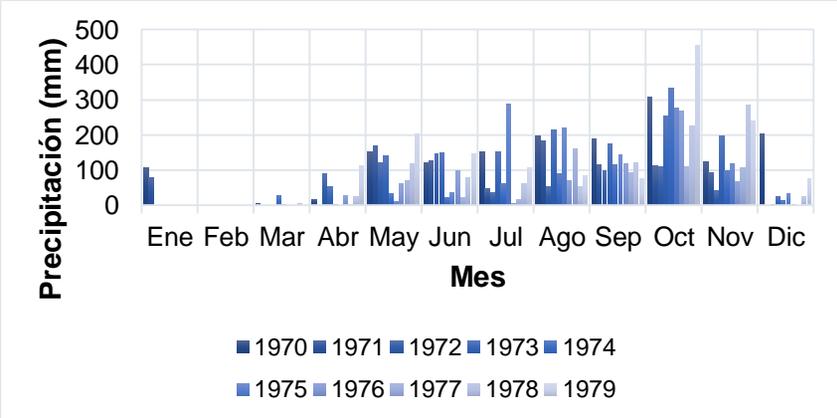
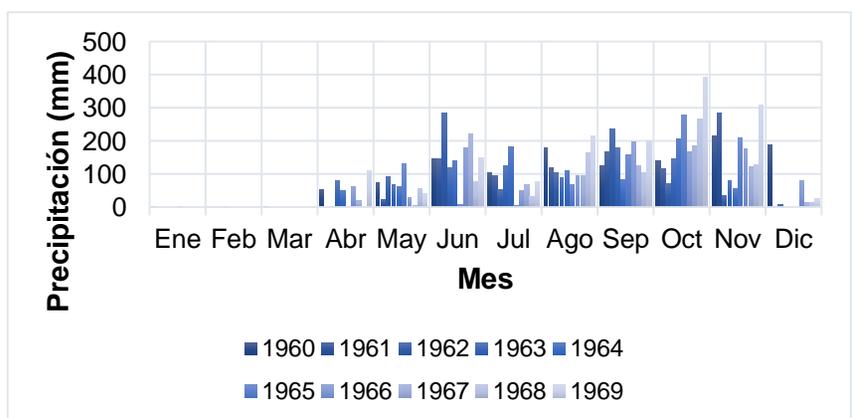


Figura 117. Valores totales mensuales por año de precipitación (1960 – 1979), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

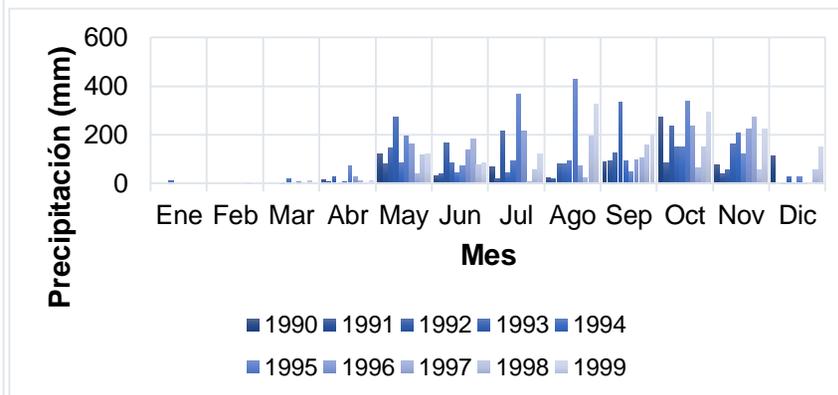
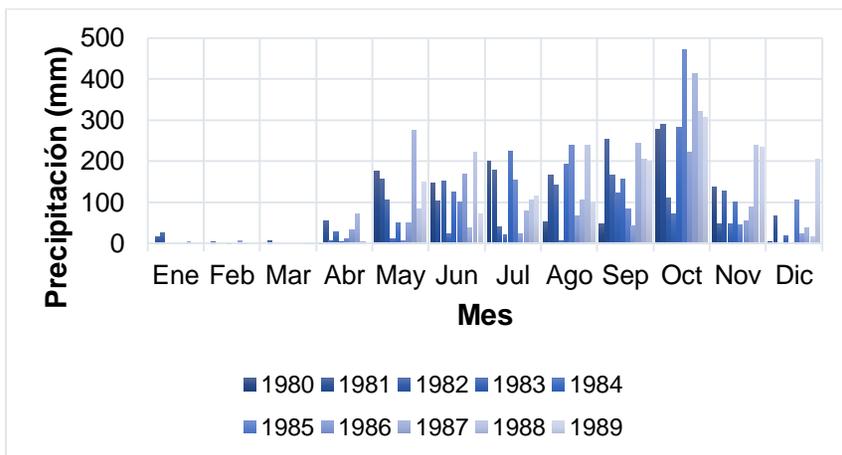


Figura 118. Valores totales mensuales por año de precipitación (1980 – 1999), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

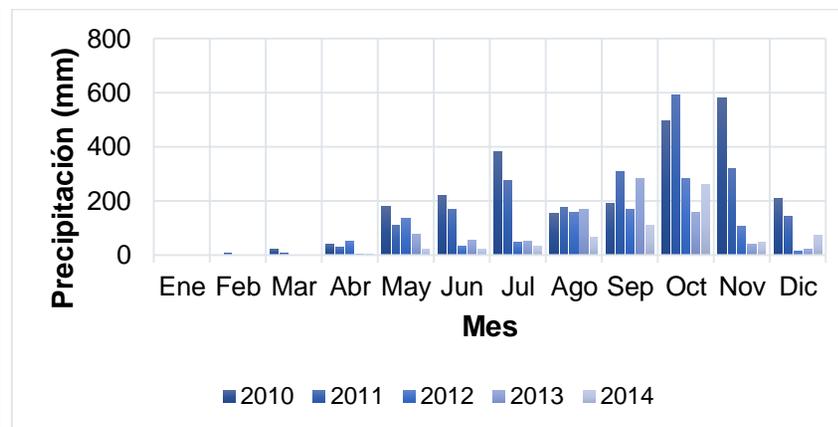
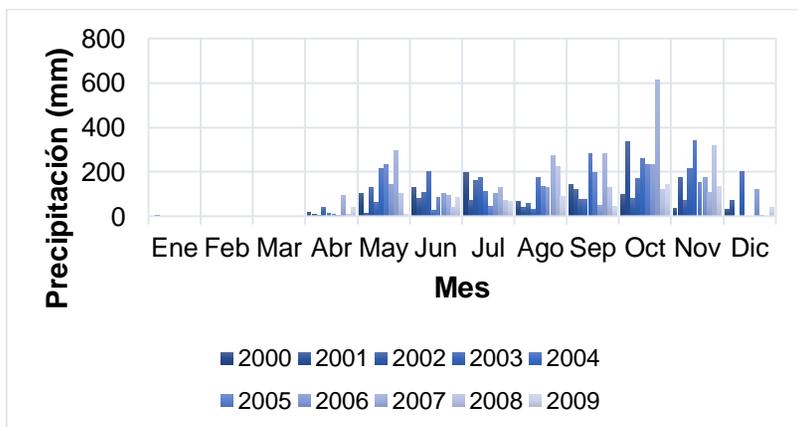


Figura 119. Valores totales mensuales por año de precipitación (2000 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

La Figura 120 muestra el análisis de precipitación mensual usando gráficos de cajas y bigotes (box-and-whiskers) de la distribución de los datos de cada variable climatológica. En ella son señalados los percentiles 25, 50 y 75, los máximos y mínimos probables, y los valores extremos. El valor máximo de precipitación total mensual se observó en octubre (alrededor de 500 mm). Adicionalmente, en este mismo mes se observó el mayor valor promedio cercano a 200 mm. Seguido de octubre, el mes que registró el valor máximo (272,5 mm) y el mayor valor promedio (94,08 mm) de precipitación total fue mayo. Esto sugiere que el comportamiento de la precipitación fue bimodal. El mes de abril, con valores promedios alrededor de 21,6 mm, es donde inicia la transición entre la época seca y húmeda, y diciembre, con valores promedios de 40,4 mm, es un tiempo de transición entre la época húmeda y seca.

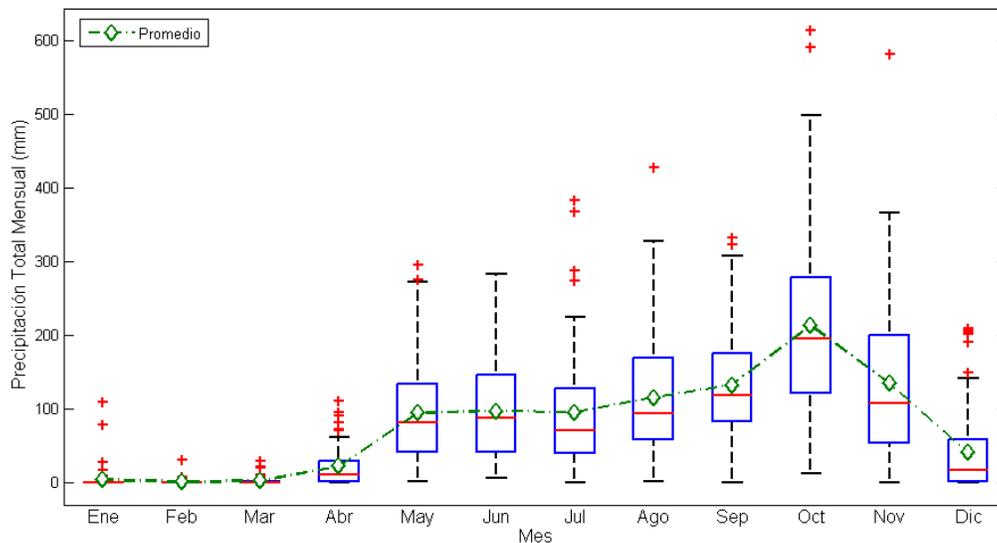


Figura 120. Variación temporal de los valores mensuales de precipitación en box and whiskers.

El año con más días de lluvia fue 2010 con 158 días lluviosos, mientras que 1983 fue el año de menor días lluviosos con 43 en total (Figura 121). Del año 1946 no se tiene un dato certero por la ausencia de información varios meses en ese año. El mes con el mayor promedio de días de lluvia es octubre con 17 días, seguido de septiembre y noviembre (Figura 122). El promedio de días lluviosos de febrero es 0.

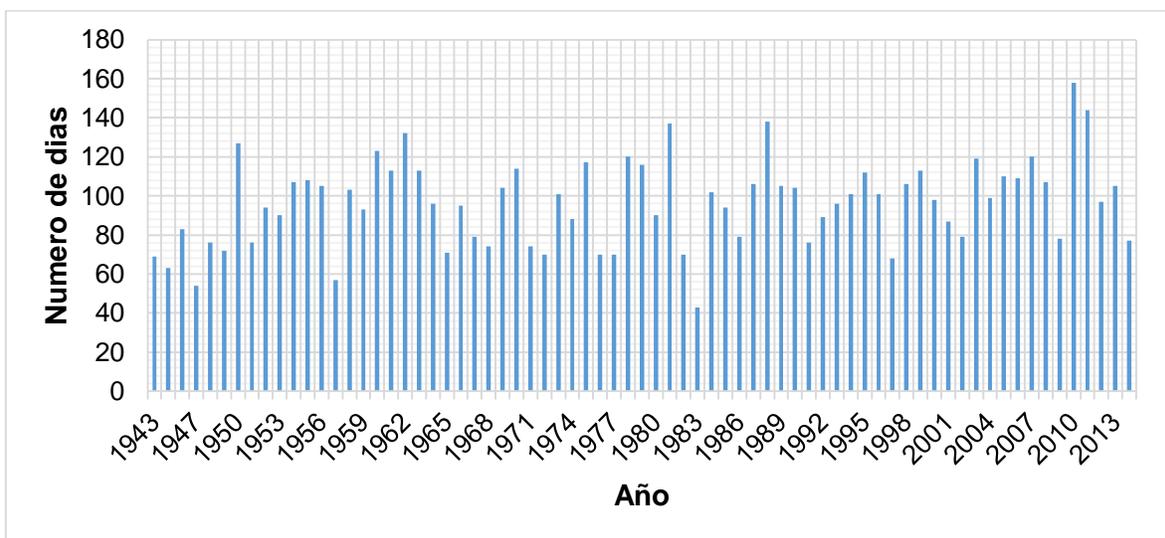


Figura 121. Número de días anuales de precipitación (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

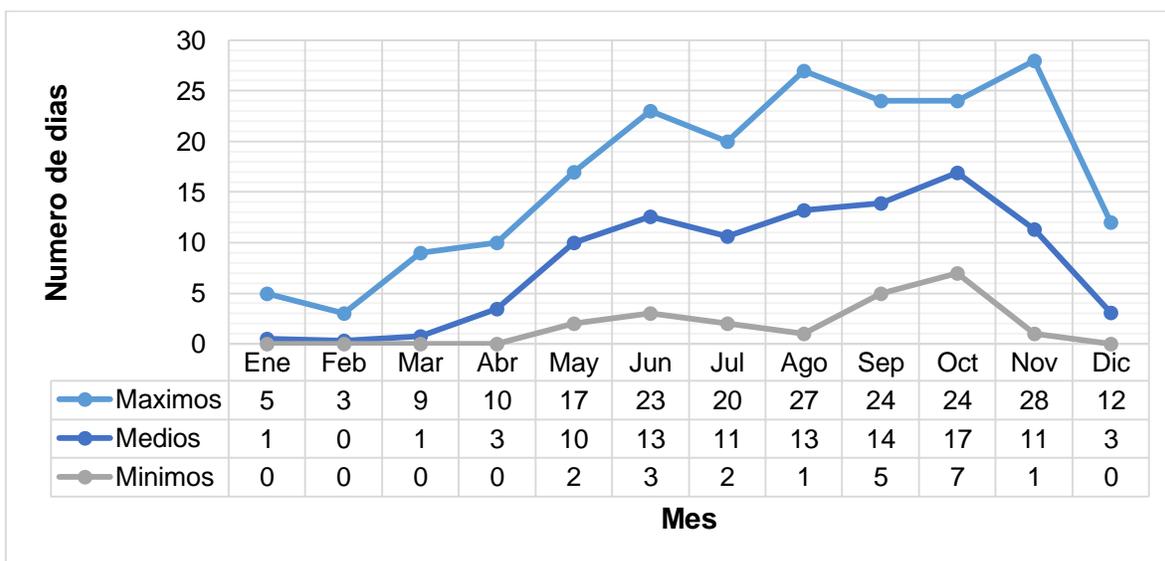


Figura 122. Variación de los números de días mensuales de lluvias, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

o 1.1.2 Estación Escuela Naval Almirante Padilla

Los datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la Escuela Naval Almirante Padilla, muestran un comportamiento similar (Figura 123 y Figura 124) **Figura 124**. De esta estación se analizaron los registros desde el año 1954 hasta el 2013, pero no forman una serie multianual continua. Varios años fueron descartados por la ausencia de datos.

En el año 2010 se presentó la mayor precipitación con 2.444 mm, el máximo de lluvia estuvo en los 549 mm ocurrido en noviembre del 2010. El mes con el mayor promedio fue octubre, registrando 189 mm de precipitación total.

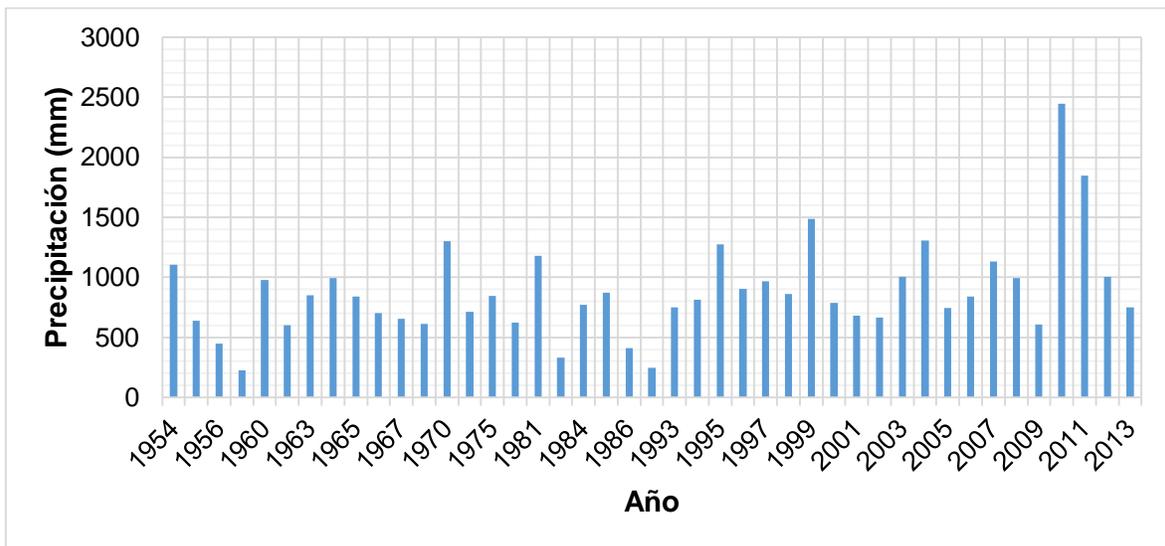


Figura 123. Valores totales anuales de precipitación desde el año 1954 hasta el año 2013, Estación Escuela Naval.

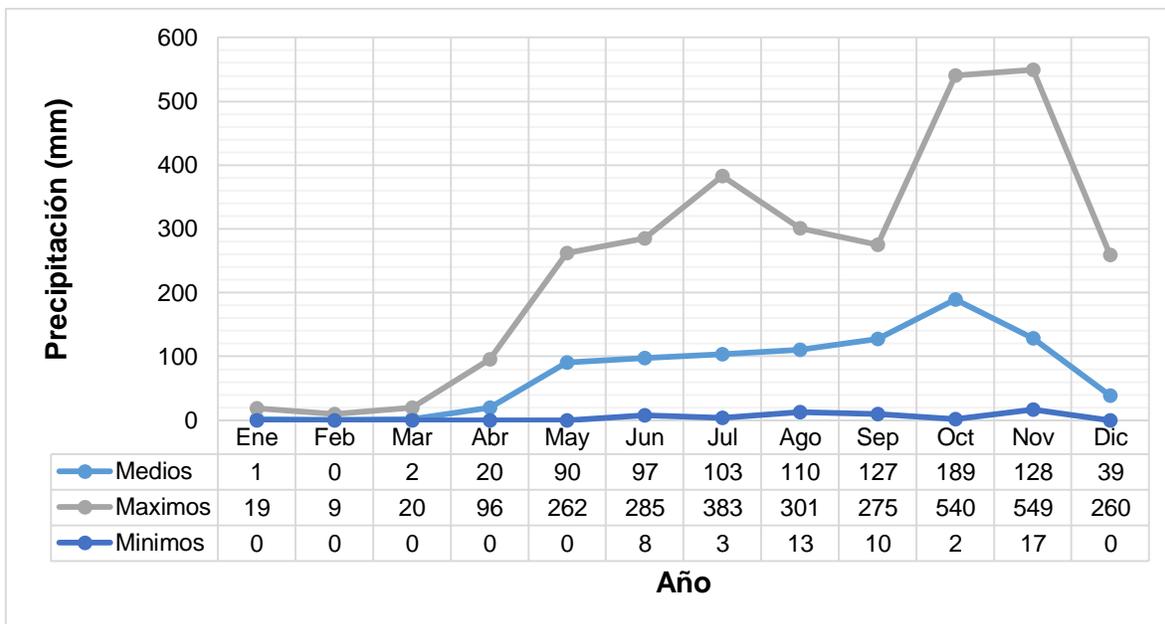


Figura 124. Variación temporal de los valores totales mensuales de precipitación, Estación Escuela Naval.

- **Temperaturas máximas, medias y mínimas.**

En las Figura 125 a la 15 se muestra la variación de los máximos, medios y mínimos anuales de la temperatura según la información de la estación del Aeropuerto Rafael Núñez. Registros que van desde el año 1943 hasta el año 2014 (serie multianual discontinua).

Las temperaturas máximas registradas ocurrieron en los años 1965 y 2007, con valores de 40°C y 39,8°C, respectivamente (Figura 125). Los mayores promedios anuales iguales a 28,5°C, sucedieron en los años 1943 y 1952 (

Figura 126). De acuerdo a la Figura 127, los mínimos anuales de temperatura han aumentado su valor a partir de la década de los 80s.

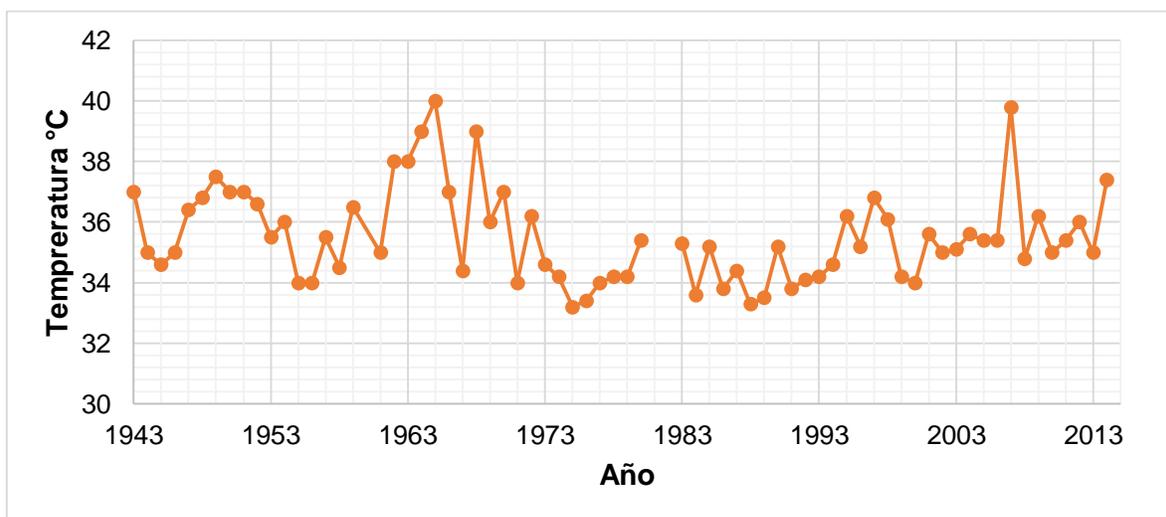


Figura 125. Valores máximos anuales de temperatura (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

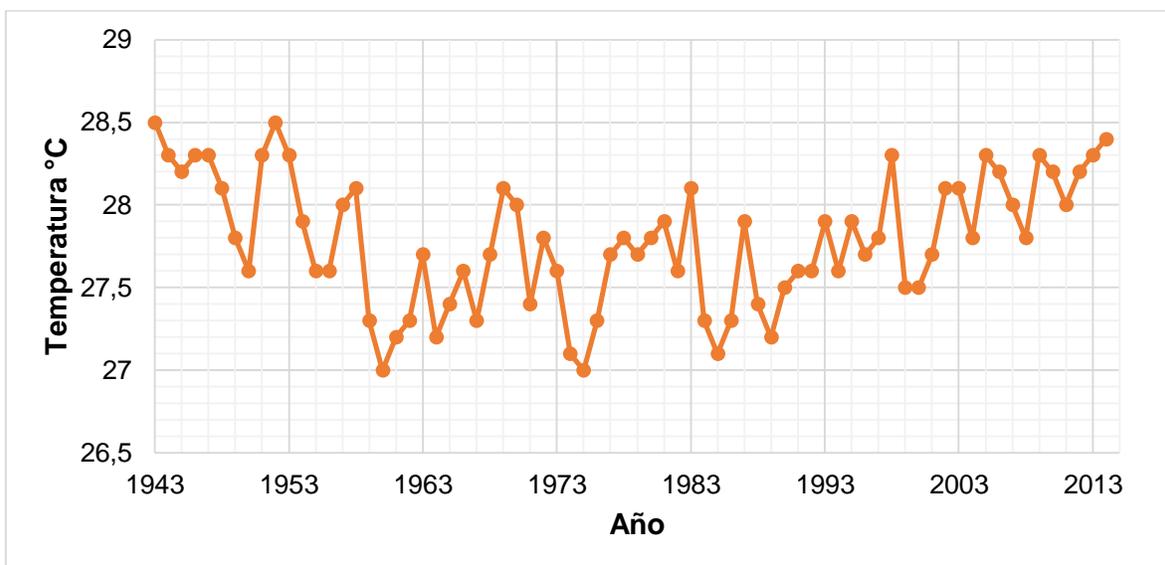


Figura 126. Valores medios anuales de temperatura (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

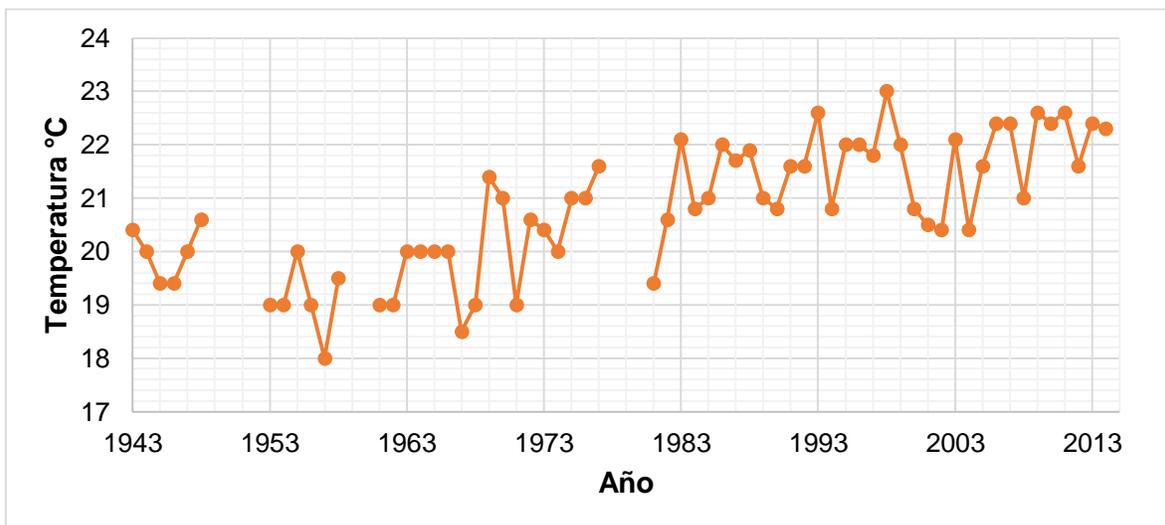


Figura 127. Valores mínimos anuales de temperatura (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

La Figura 128 muestra que el valor promedio de la temperatura máxima mensual estuvo entre 33°C y 35°C para todos los meses, de los cuales los mayores valores se presentan en los meses de junio y julio (34,4 °C para ambos meses). Sin embargo, se observó al menos un valor de temperatura entre 37°C y 40°C durante todos los meses. La Figura 129 muestra valores medios entre 26,5°C y 28,5°C de la temperatura promedio mensual para todos los meses; la temperatura promedio mensual no superó los 30 °C ni estuvo por

debajo de los 25°C. Desde mayo hasta septiembre se reportó el máximo valor de la temperatura promedio mensual, con valores aproximados de 28,4°C. Finalmente, en la Figura 130 se observa que los valores medios de la temperatura mínima mensual están entre 21,5°C a 23,0°C; la temperatura mínima mensual no fue inferior a 19°C ni superior a 26°C. En abril, se reporta el valor medio máximo de la temperatura mínima mensual (23,1°C), y en enero el valor medio mínimo (21,6°C).

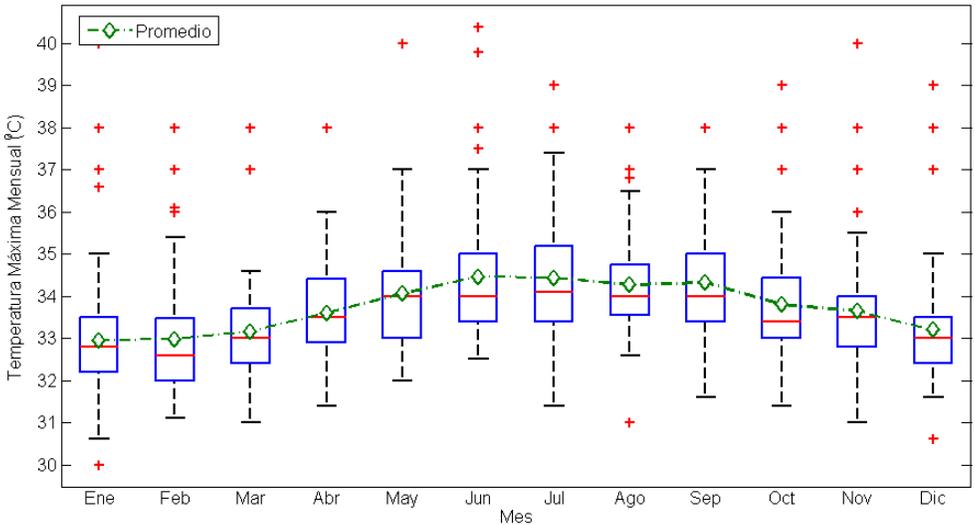


Figura 128. Variación de la temperatura máxima mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

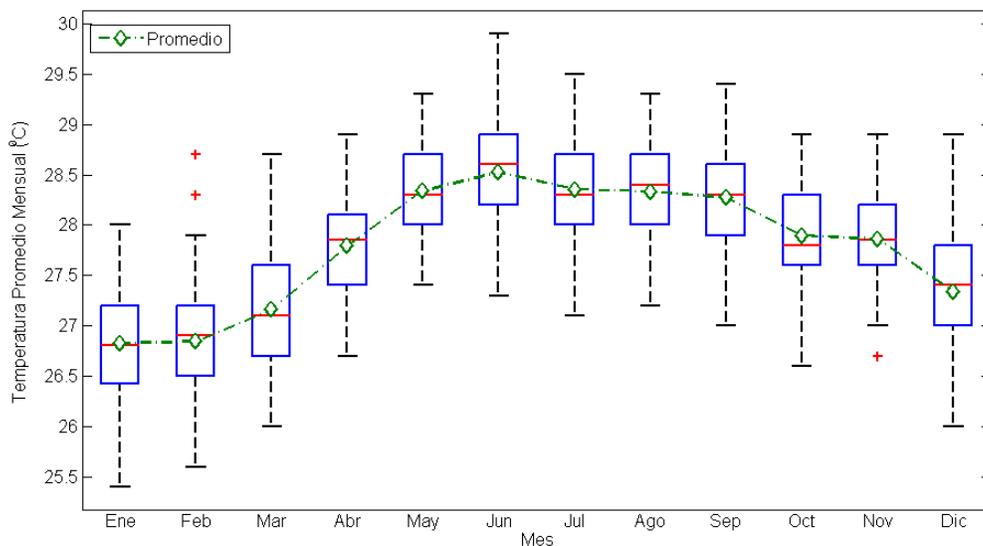


Figura 129. Variación de la temperatura promedio mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

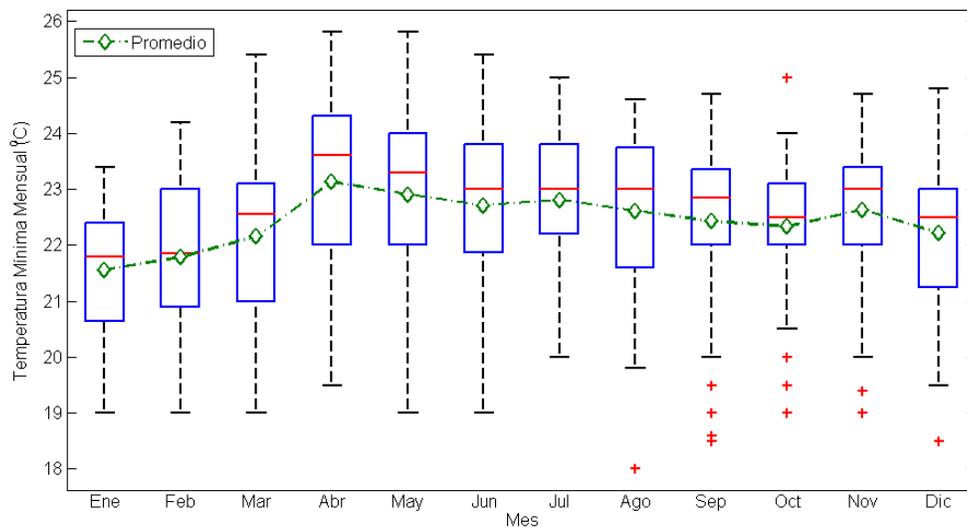


Figura 130. Variación de la temperatura mínima mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---	---

En las Figura 131 a 22 se observan los promedios mensuales de temperatura de toda la serie. Los mayores promedios de temperatura ocurrieron en la década de los 40s y a partir del año 2000, con valores alrededor de los 29°C. Hay una tendencia a mayores temperaturas en los meses intermedios del año, desde mayo hasta junio.

De la estación de la Escuela Naval solo pudo obtenerse un análisis confiable de los valores medios de temperatura, debido a que los registros de máximos y mínimos tienen muchos datos faltantes. La serie es continua desde el año 1954 hasta el año 2013. En la Figura 135 se aprecia un comportamiento más parejo; aunque, al igual que los datos de la otra estación, a partir del año 2000, la tendencia al aumento de la temperatura media es evidente. En el año 1972 ocurrió el pico más alto con 28,4°C de temperatura promedio y la menor cifra registrada sucedió en el año 1975 igual a 27,1°C.

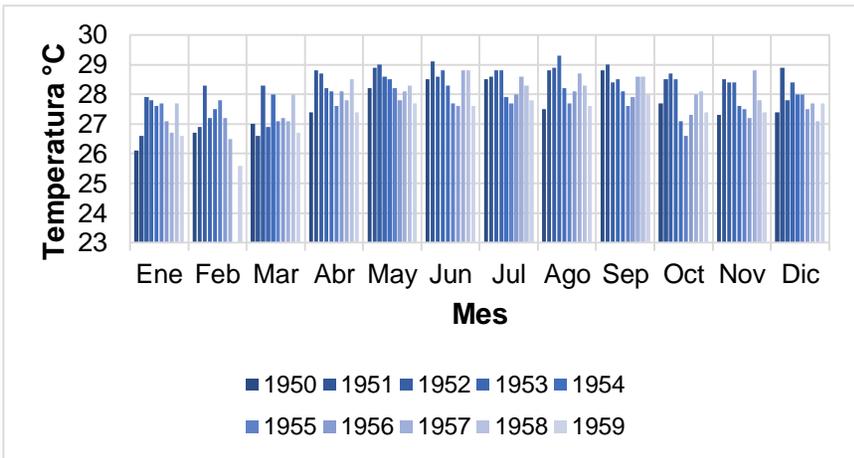
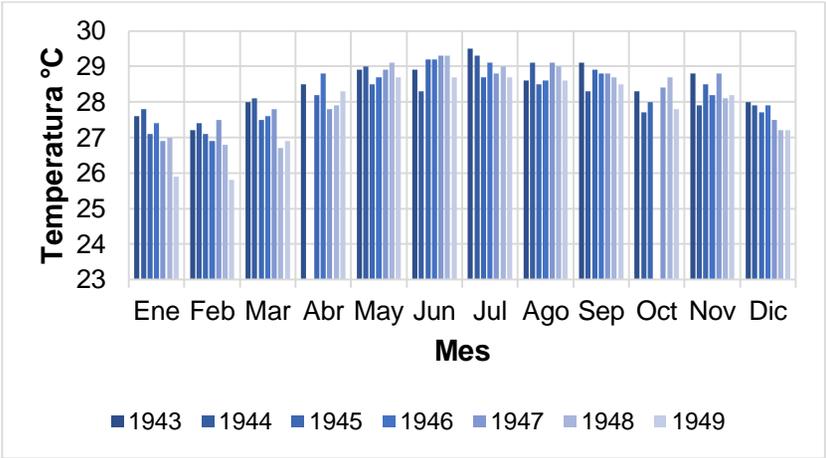


Figura 131. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (1943 – 1959), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

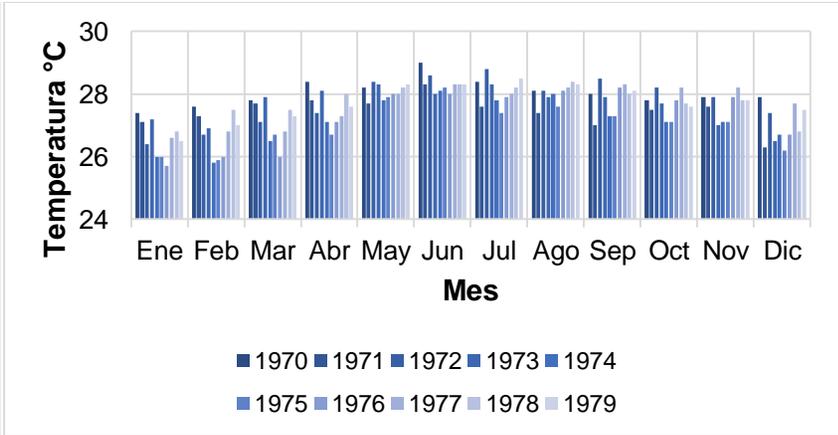
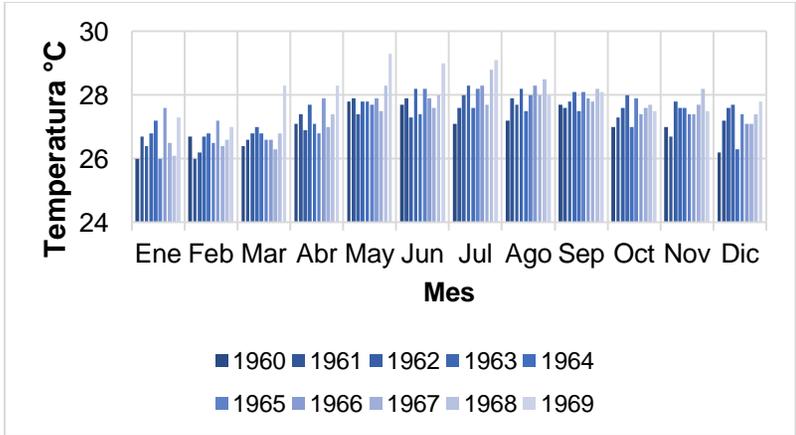


Figura 132. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (1960 – 1979), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

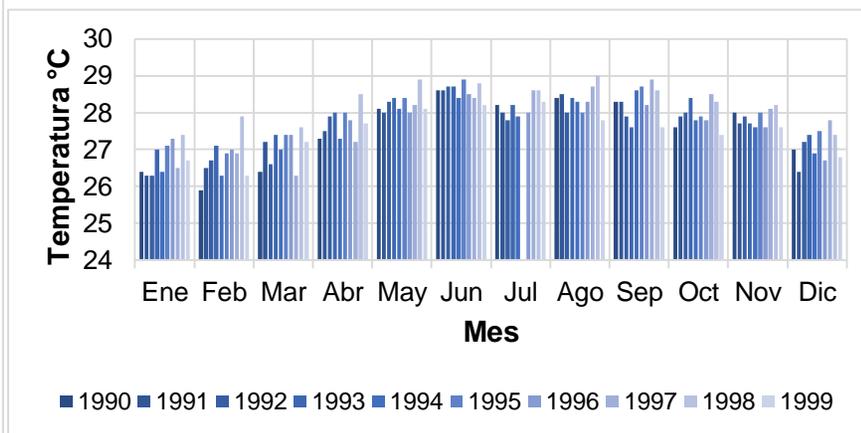
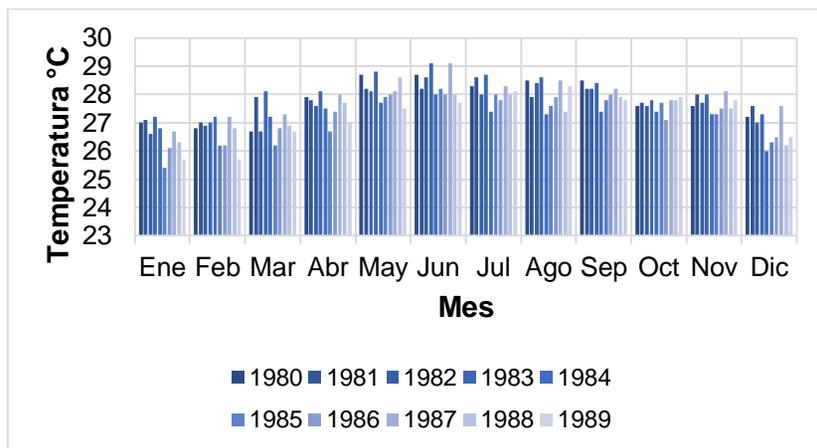


Figura 133. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (1980 – 1999), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

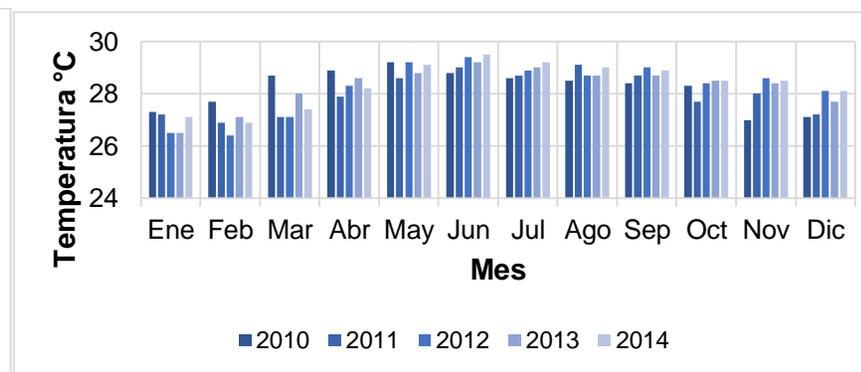
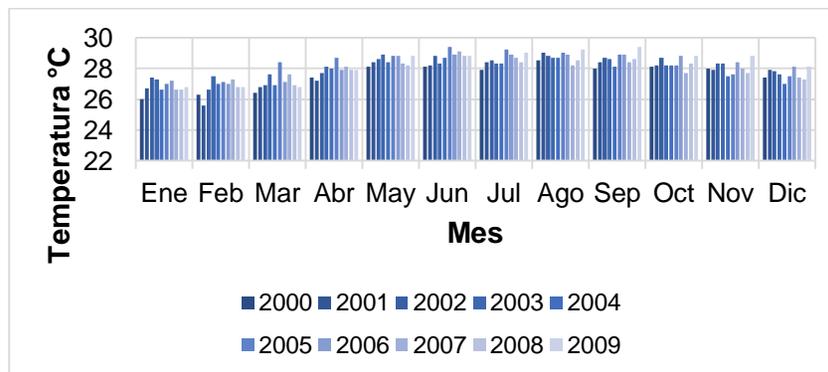


Figura 134. Variación de promedios mensuales de temperatura año a año (2000 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

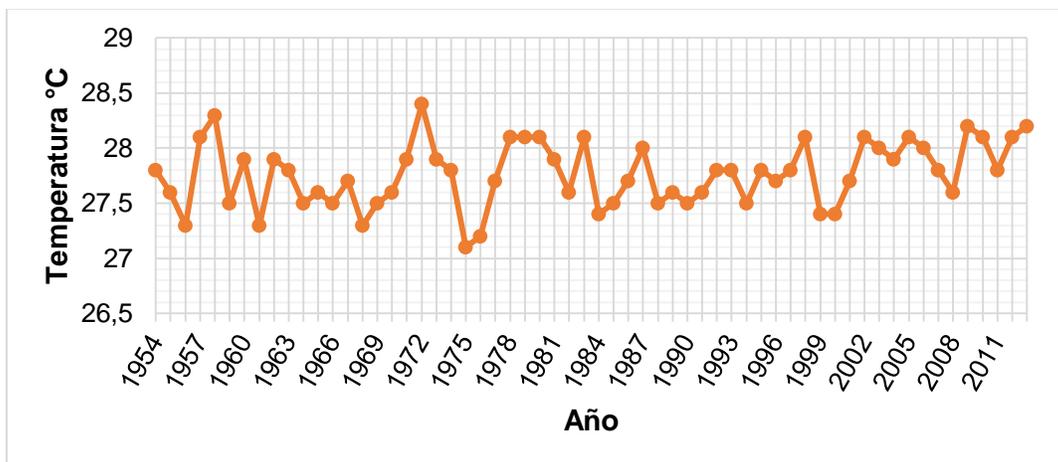


Figura 135. Valores medios anuales de temperatura (1954 – 2013), Estación Escuela Naval.

Los promedios más altos de temperatura mensual acontecen desde mayo hasta septiembre, con pico en el mes de junio (28,4°C), coincidiendo con el Veranillo de San Juan (Figura 128). Los valores de los máximos promedios que se ven en la Figura 136 para el mes de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, corresponden al fenómeno del niño del periodo 1972-1973, lo cual es un suceso atípico. La Figura 137 muestra estos valores excluidos de los máximos promedios, pues se consideran como eventos extremos.

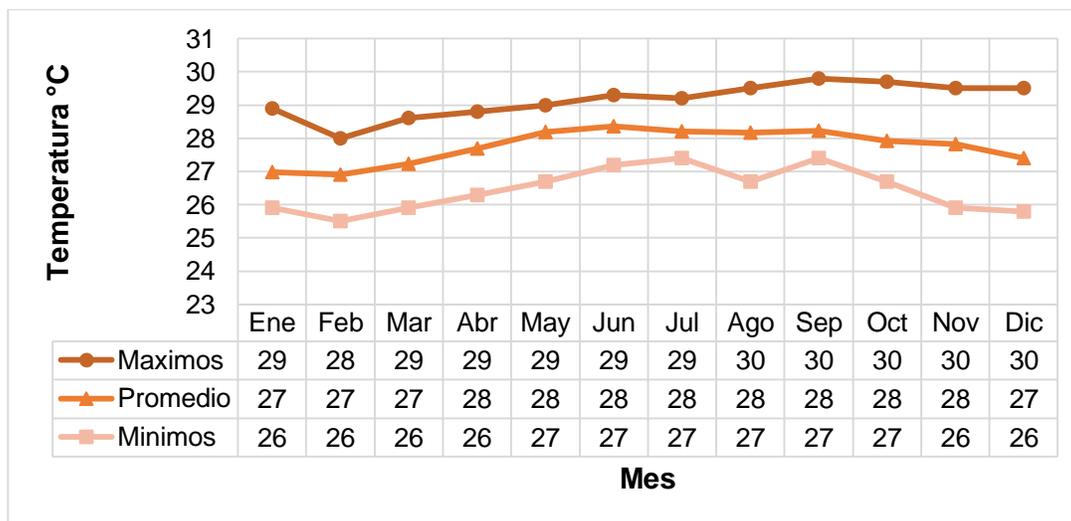


Figura 136. Variación temporal de los medios mensuales de temperatura, Estación Escuela Naval.

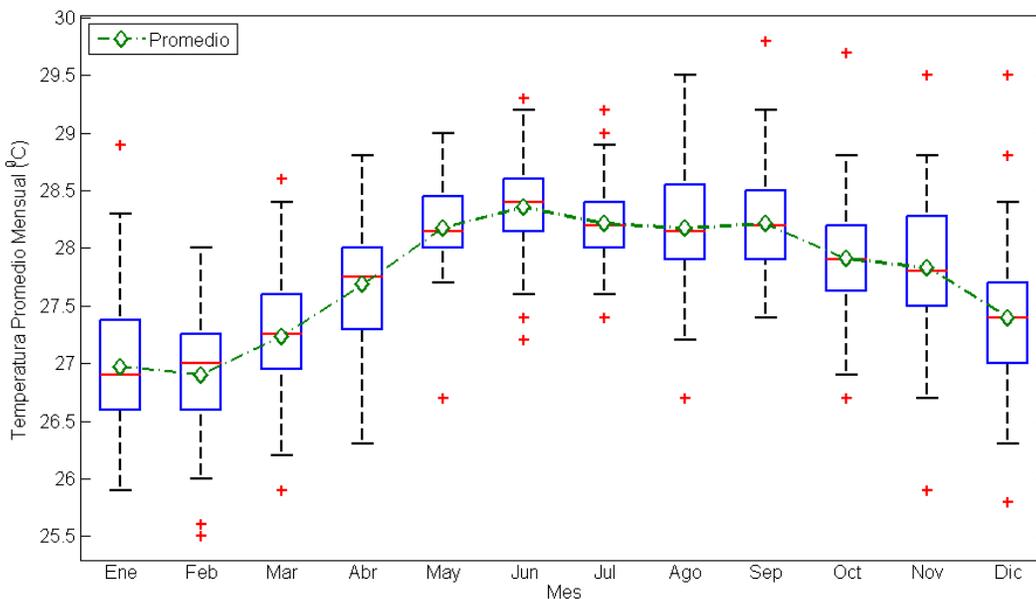


Figura 137. Variación de la temperatura media mensual, Estación Escuela Naval.

- **Humedad relativa promedio**

El registro de la estación del Aeropuerto Rafael Núñez generó una serie discontinua desde el año 1943 hasta el año 2014. Los mayores promedios anuales de humedad relativa se presentaron en los años 1958, 1989, 1998, 2004 y 2007, con valor de 83%. (Figura 138). Los mínimos promedios ocurrieron en los años 1952 y 1953 con valor de 77%.

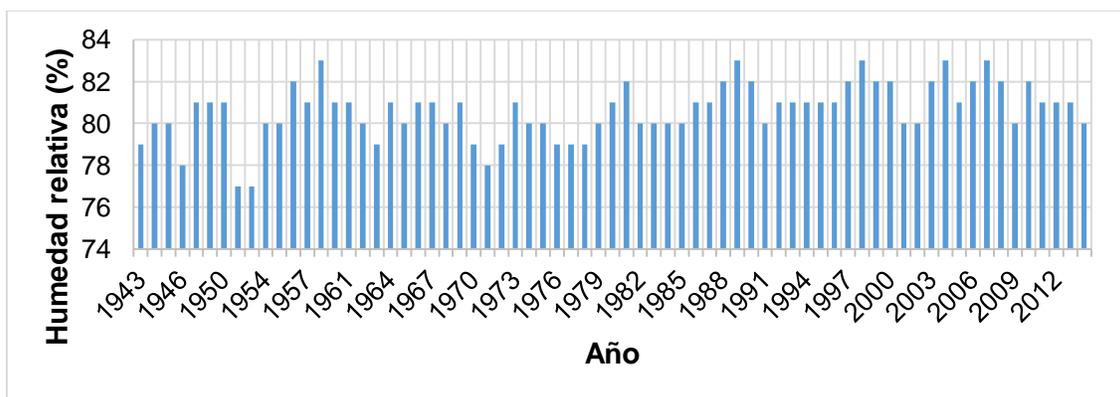


Figura 138. Valores promedio anuales de humedad relativa (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

En las Figura 139 y Figura 140 se observa que el valor medio de la humedad relativa promedio mensual se encuentra en el rango de 78% a 82%. Los meses en que se reportó los valores medios más bajos de humedad relativa promedio mensual son febrero y marzo (74% y 73%, respectivamente). Sin embargo, la variabilidad fue similar en todos los meses, se aprecia en octubre y noviembre valores medios máximos de la humedad relativa promedio mensual (82,3% para ambos meses), siguiendo a éste el mes de septiembre (81,5%) y los meses de mayo, junio, agosto, diciembre (81,1%).

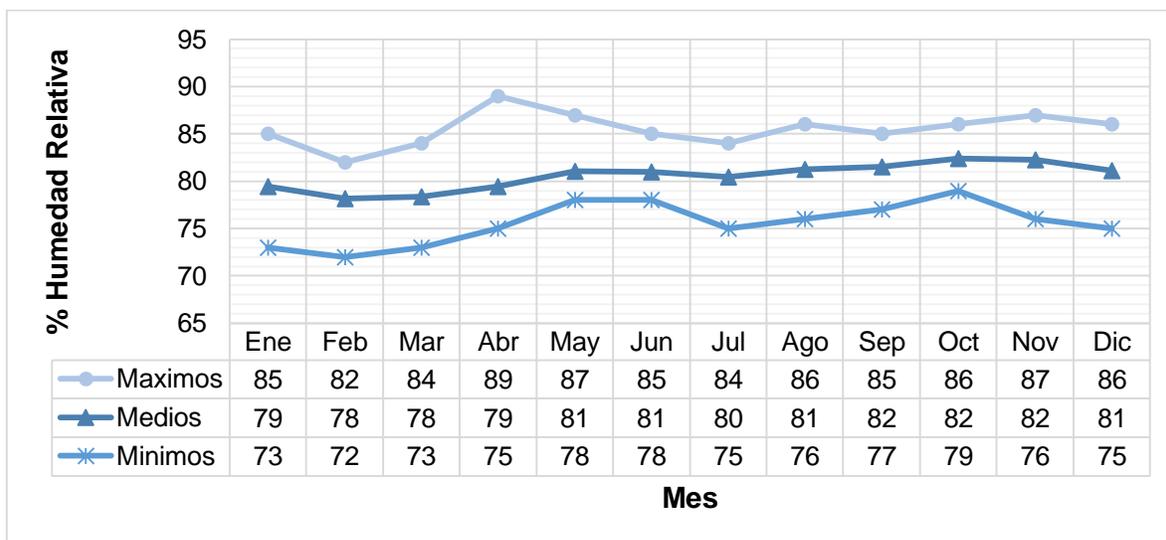


Figura 139. Variación de los medios mensuales de humedad relativa, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

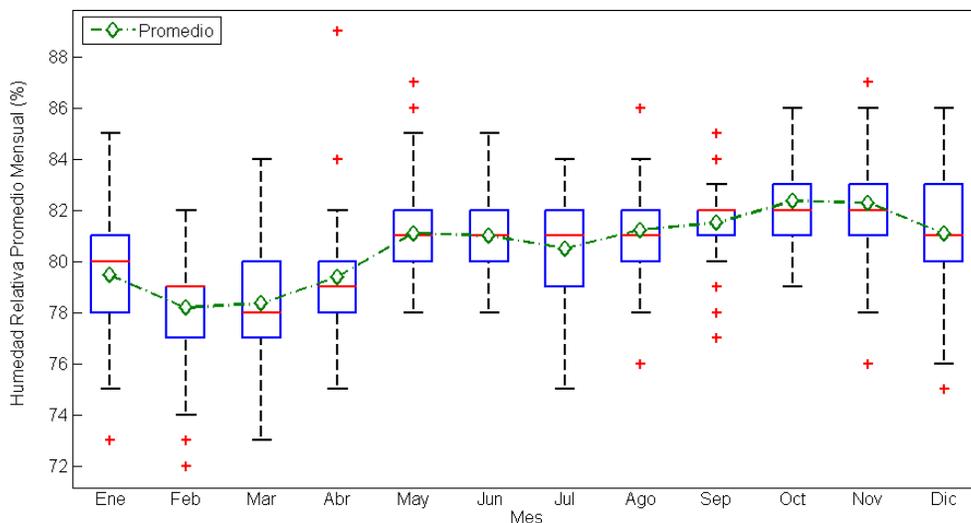


Figura 140. Variación de la humedad relativa promedio mensual.

La serie de la estación en la Escuela Naval va desde el año 1954 hasta el año 2013 con varios años descartados por insuficientes datos (serie discontinua, Figura 141). La mayor humedad relativa se presentó en 1984 con 88% y el menor porcentaje fue de 79 sucedidos en los años 1954, 1976 y 1977. Los mayores promedios de humedad relativa se presentan en los meses de octubre y noviembre con valor de 85%. Febrero con 81% es el mes con menos humedad relativa promedio (Figura 142).

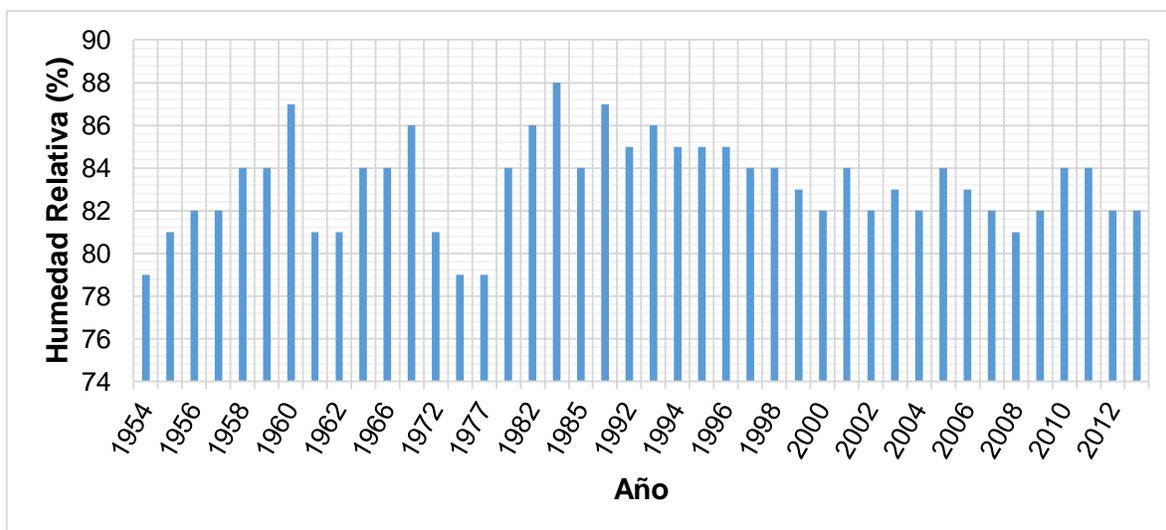


Figura 141. Valores de medios anuales de humedad relativa (1954 – 2013), Estación Escuela Naval.

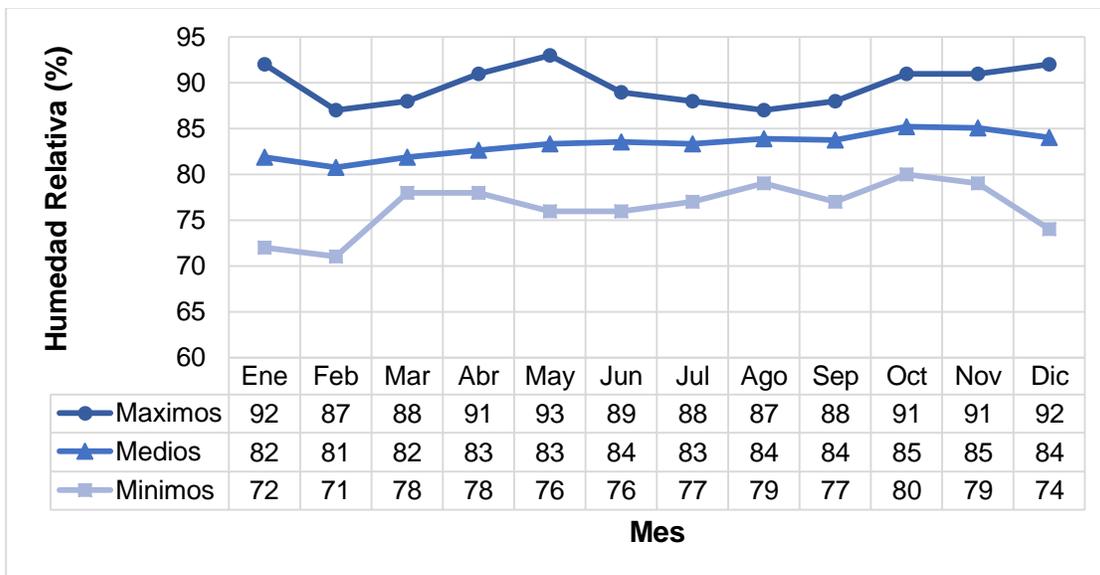


Figura 142. Variación de los medios mensuales de humedad relativa, Estación Escuela Naval.

- **Brillo solar total**

De la estación del Aeropuerto Rafael Núñez pudo extraerse una serie discontinua desde el año 1976 hasta el año 2014. El año con mayor brillo solar fue 2002 con 2.770,9 horas, y el de menor registro fue 2010 con 1.816,1 horas (Figura 143).

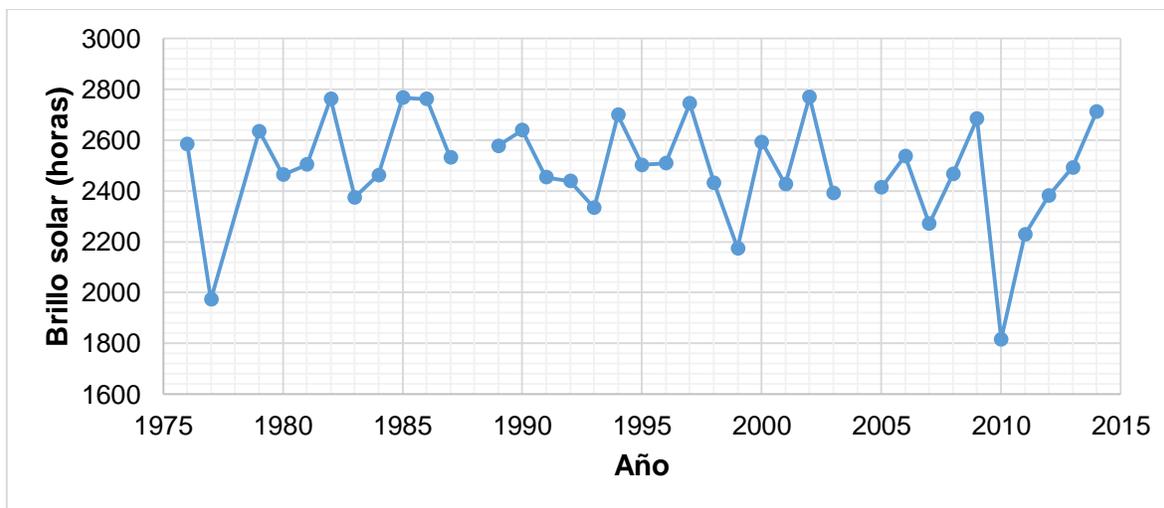


Figura 143. Valores totales anuales de brillo solar (1976 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

En la Figura 144 se muestra la variación del brillo solar total de los datos reportados entre los años 1976 a 2015. Los máximos valores promedios de brillo solar total se presentaron en los meses de enero y diciembre con 276,1 horas/mes y 239,3 horas/mes, respectivamente. Los meses con menor valor medio de brillo solar total son septiembre (173,5 horas) y octubre (170,6 horas). El resto de los meses osciló entre 175 horas/mes y 244 horas/mes.

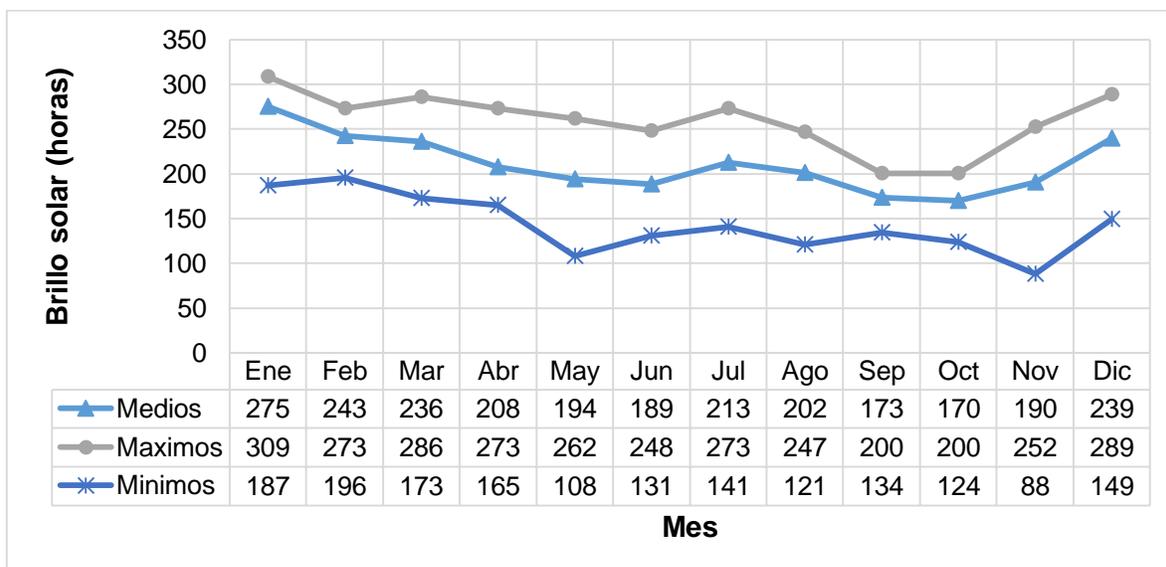


Figura 144. Variaciones del total mensual de brillo solar, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

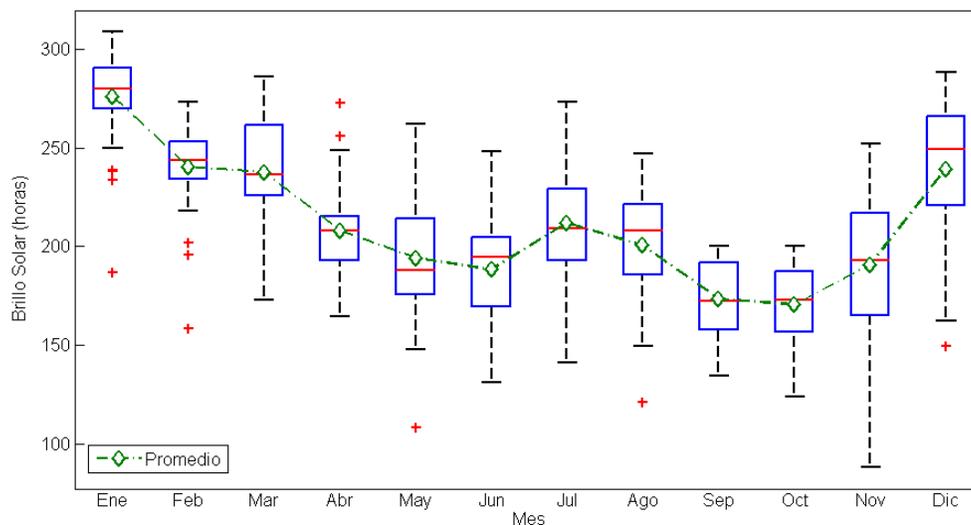


Figura 145. Variación del brillo solar total mensual, Aeropuerto Rafael Núñez.

- **Velocidad promedio del viento**

La Figura 146 muestra la serie multianual discontinua (1978–2014) de los promedios anuales de velocidad del viento de la estación del Aeropuerto Rafael Núñez. Básicamente, las velocidades se mantienen entre 2 y 3 m/s. Sin embargo, antes del año 1985 las velocidades son mayores a ese rango, alcanzando un pico de 4,5 m/s. Los medios mínimos se presentaron en los años 1993 y 1995 iguales a 1,8 m/s.

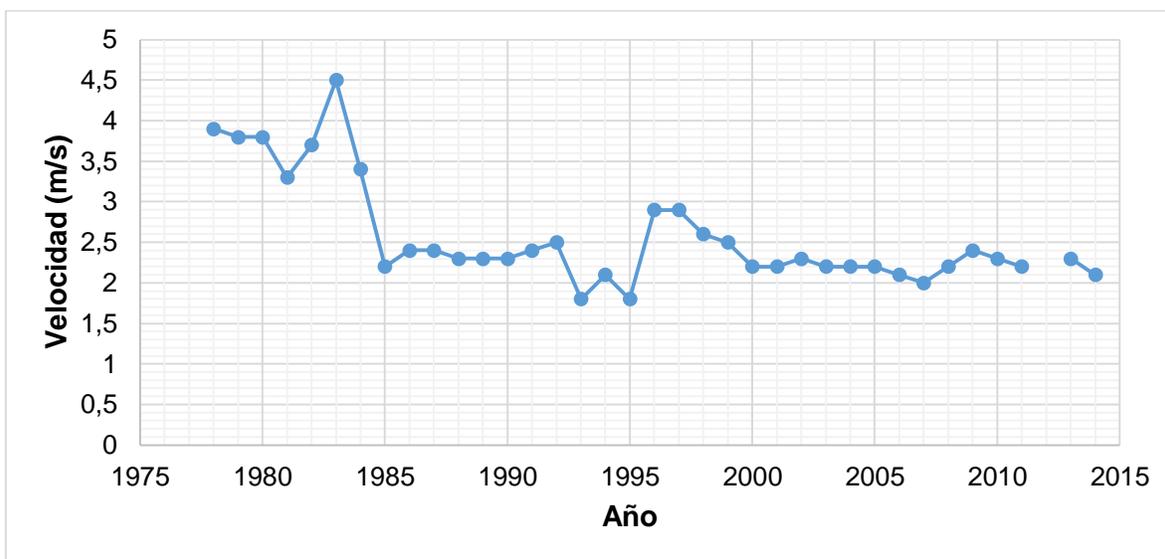


Figura 146. Valores promedio anuales de velocidad del viento (1978–2014), Estación Rafael Núñez.

Los mayores valores medios de velocidad promedio de viento mensual se concentraron entre los meses de enero a abril oscilando entre 3 m/s a 4 m/s (Figura 147). Igualmente, en estos mismos meses se tuvo una mayor variabilidad de los datos. Los valores medios mínimos de la velocidad promedio del viento mensual se observaron entre los meses de mayo a diciembre, en un rango de 1,9 m/s a 2,5 m/s. A lo largo del registro multianual, típicamente, no se alcanzaron velocidades promedio del viento mensual superiores a 5,5 m/s (abril) ni por debajo de 1,1 m/s (octubre).

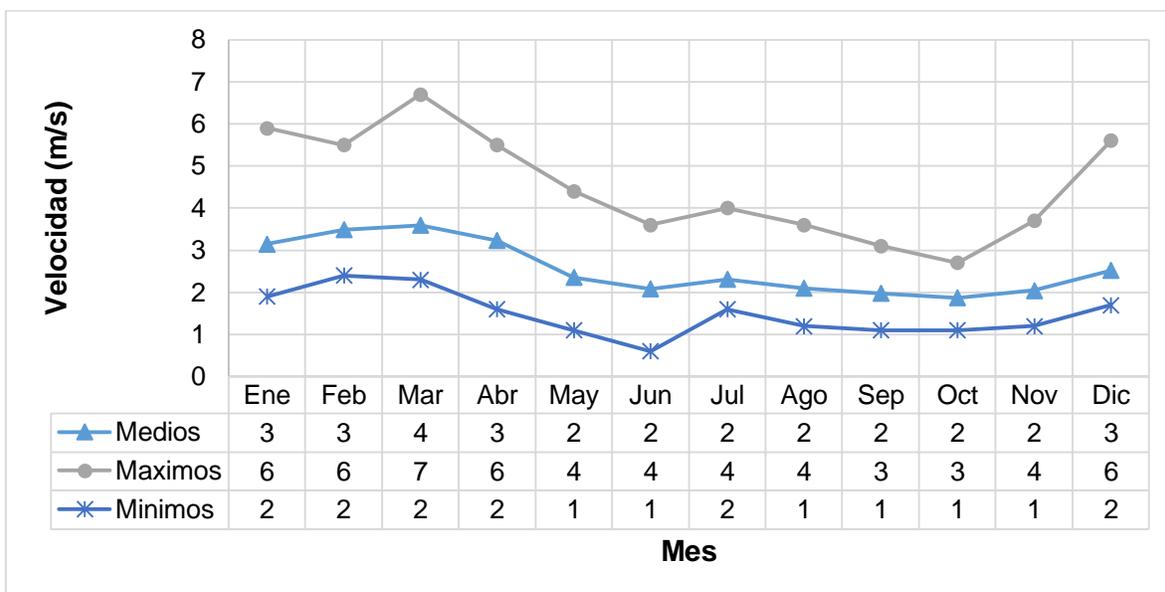


Figura 147. Variación de los medios mensuales de velocidad del viento, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

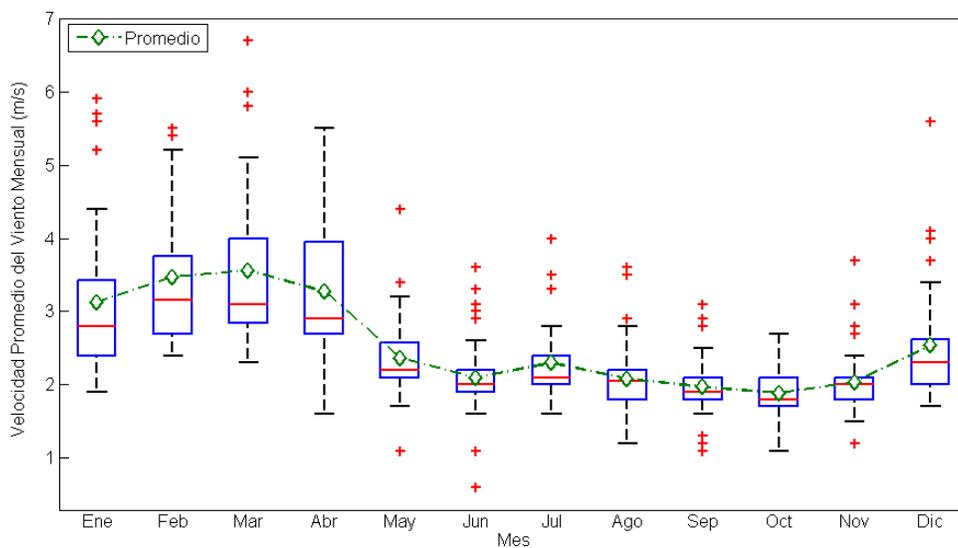


Figura 148. Variación de la velocidad promedio del viento mensual

• **Evaporación total**

De la estación en el Aeropuerto Rafael Núñez, pudo obtenerse una serie discontinua desde 1972 hasta 2014 de la evaporación total. En la Figura 149 se aprecia un máximo alcanzado en 1987 con 3.328,1 mm totales. Salvo dos años (2010 y 2014), la evaporación total anual se mantuvo entre 1.500 y 2.000 mm. La mayor evaporación promedio se ve en la Figura 150 con 191,7 mm para el mes de marzo, seguido de abril con 177 mm.

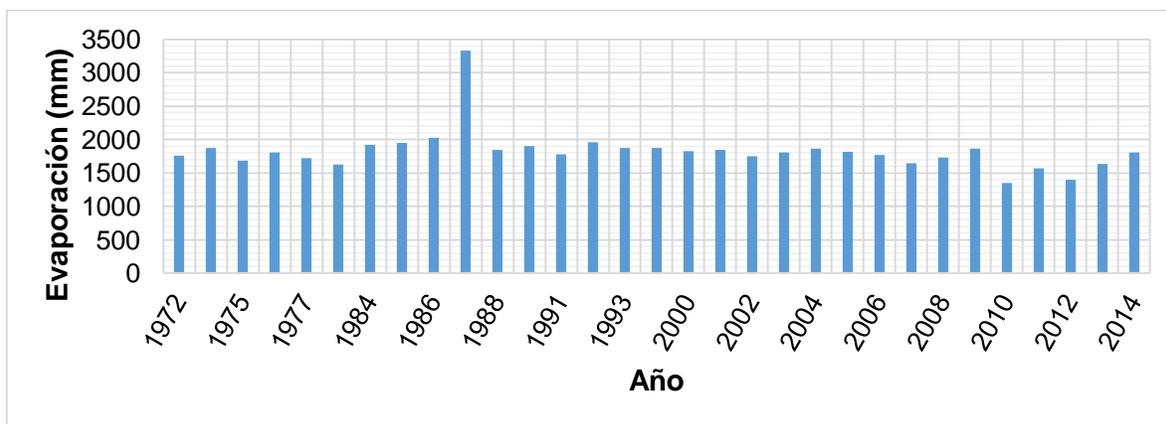


Figura 149. Valores totales anuales de evaporación (1972 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

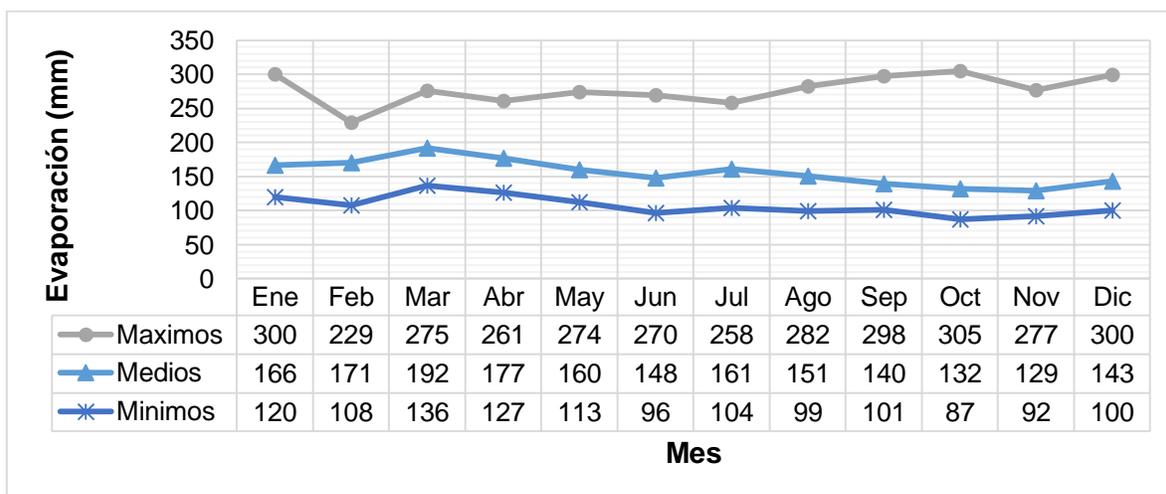


Figura 150. Variación de los totales mensuales de evaporación, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

El valor medio máximo de la evaporación total mensual se registró en marzo con un valor de 190,9 mm, mientras que el valor medio mínimo se observó en noviembre (127,9 mm), siguiendo octubre (131,4 mm) y septiembre (139,1 mm) (Figura 151).

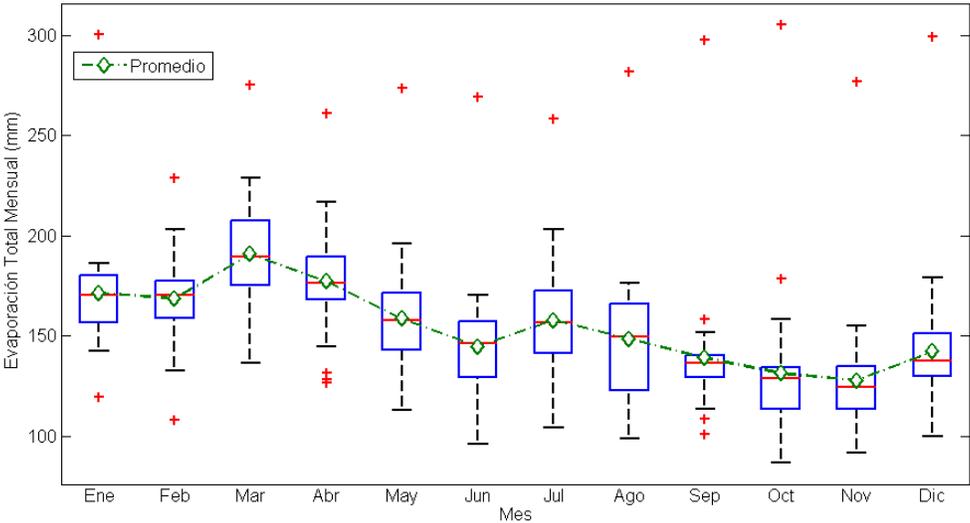


Figura 151. Variación de la evaporación total mensual, Aeropuerto Rafael Núñez.

- **Nubosidad promedio**

La serie mostrada en la Figura 152 presenta un valor promedio máximo de nubosidad igual a 7 octas presentado en los años 1954, 1958 y 1982. El promedio mínimo ocurrió en 1976 y 1977 con valor de 3 octas. Esta información es en base a los registros de la estación del Aeropuerto Rafael Núñez, en la que se encontraron varios años con datos insuficientes por lo que se descartaron.

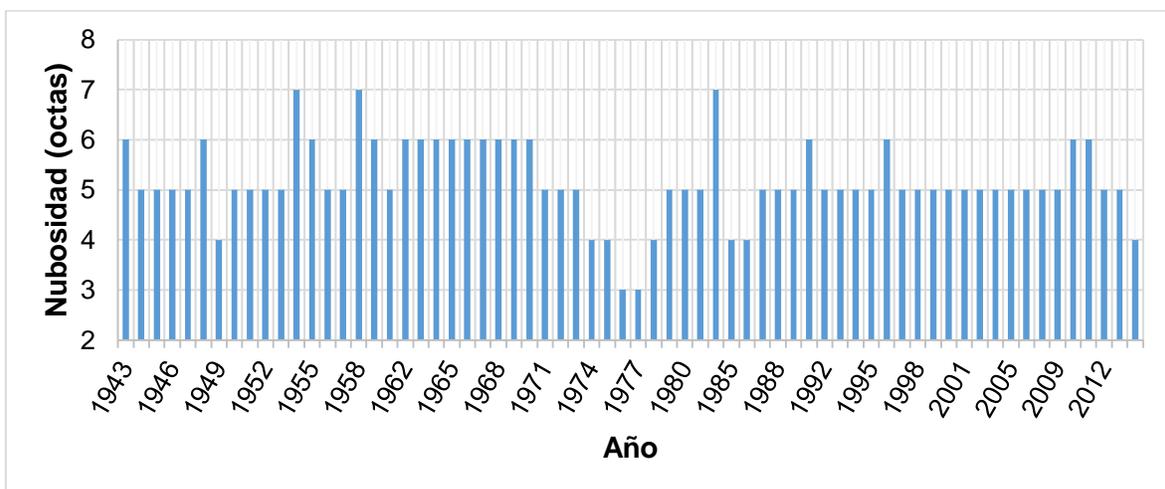


Figura 152. Valores de promedio mensual anual de nubosidad (1943 – 2014), Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

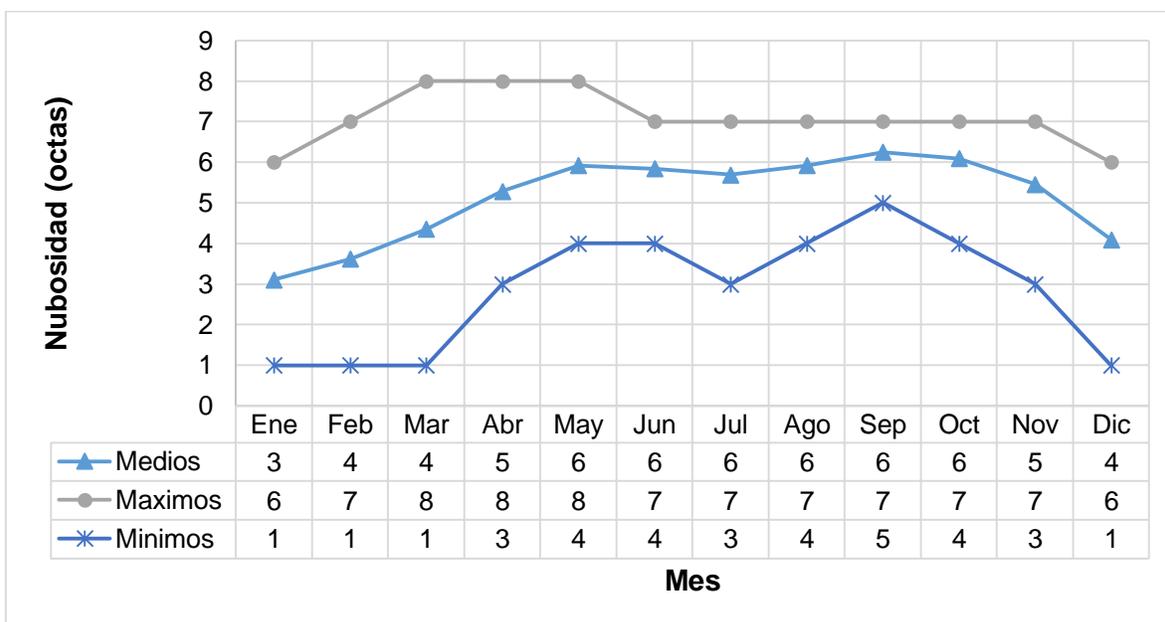


Figura 153. Variación de los medios mensuales de nubosidad, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

En general, los valores medios máximos de nubosidad promedio mensual se concentraron desde el mes de mayo hasta octubre oscilando entre 5,5 octas a 6,5 octas (Figura 154). Los valores medios mínimos de nubosidad promedio mensual se registraron sucesivamente en los meses de enero (3,04 octas), febrero (3,60 octas), diciembre (4,05 octas) y marzo (4,30 octas). Adicionalmente, en éste último mes se observó los valores

máximos y mínimos de nubosidad promedio mensual (cercaos a 8 octas y 1 octa, respectivamente).

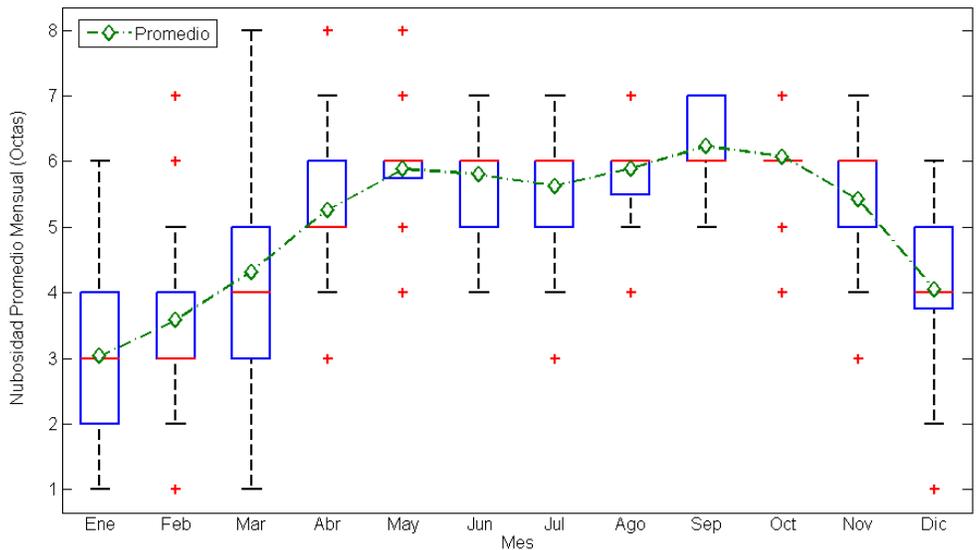


Figura 154. Variación de la nubosidad promedio mensual, Estación Aeropuerto Rafael Núñez.

2.2.7.2. Calidad del aire.

Las campañas de monitoreo son fundamentales para conocer el estado de la calidad del aire en las ciudades. Tabla 39 presenta un resumen de la campañas de monitoreo que se encuentran documentadas en Cartagena, indicando sus principales hallazgos y métodos de medición. Se observa que se han realizado diversas campañas de monitoreo donde se han evaluado principalmente contaminantes criterio en diferentes puntos de la ciudad. Muchas de las campañas se han realizado en tiempos cortos, menores a un mes, lo cual estima parcialmente la información de la calidad del aire en la ciudad. Sin embargo, vale la pena resaltar que en la actualidad la ciudad cuenta con una red de monitoreo continua, de la cual se presentarán resultados más adelante.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Tabla 39. Campañas de monitoreo realizadas en la ciudad de Cartagena

Referencia	Periodo de muestreo	Puntos de muestreo	Contaminante monitoreado	Equipos de medición	Puntos que presentan mayor concentración de contaminantes	Observaciones
(Misco, 1999)	Marzo – Julio, muestras no continuas	a. Pasacaballos b. Santa Ana c. Estación Cardique d. Turbaco e. Mamonal Indupollo f. Sena	CO SO2 NOx PM10 O3 HC	No se especifica	Pasacaballos	Las estaciones localizadas en Santa Ana presentaron las mejores características de calidad del aire
(K2 Ingeniería, 2010)	28 de Agosto a 28 de Octubre 2010	a. La Bocana b. El Bosque c. Bocagrande (Asobocala) d. Barrio los Cerezos e. El socorro f. Zona Industrial de Mamonal	PST	Alto volumen	El Bosque y Zona Industrial Mamonal	Se concluye que el principal problema radica en el material particulado
			PM10	Alto volumen	El Bosque y Zona Industrial Mamonal	
			CO	Infrarrojo no dispersivo	El Socorro	Las concentraciones de SO2 se encuentran muy por debajo de la norma, por lo que se indica que es un contaminante prescindible.
			NO2	Muestreadores pasivos	Zona Industrial Mamonal y El Bosque	
			SO2	Muestreadores pasivos	Zona Industrial Mamonal	
			O3	Muestreadores pasivos	El Laguito	
(UdeC & Alcaldía, 2011)		a. EDS Marbella b. Estadero Costa Azul c. Claustro la Merced d. CAI el Limbo e. Asobocala	PM10	Alto volumen	Asobocala y CAI el Limbo	PM10 es el único contaminante que excede la norma de calidad del aire, comparado con los otros contaminantes
			PST	Alto volumen	Ningún punto excede la norma de calidad del aire	

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Referencia	Periodo de muestreo	Puntos de muestreo	Contaminante monitoreado	Equipos de medición	Puntos que presentan mayor concentración de contaminantes	Observaciones
			NOx	Muestreadores activos	Ningún punto excede la norma de calidad del aire	
(UdeC & Alcaldía, 2010)	24 horas	22 puntos de muestreo	PM10	Alto volumen	Estación de servicio el Gallo Iglesia del Campastre	Los puntos donde se presentan la mayores concentraciones coinciden con la ubicación de fuentes móviles
SO2	Muestreadores activos	Peaje Ceballos Bomba Texaco Tenera				
NO2	Muestreadores activos	Peaje Manga Peaje Ceballos				
(Cardique, 2011d)	26 de Septiembre al 5 de Octubre	a. Conjunto residencial las palmas b. Urbanización providencia	SO2	Muestreadores de tres gases	Conjunto residencial las palmas	Este trabajo tuvo como objetivo proveer información de línea base para el proyecto Transcribe. Las concentraciones registradas no exceden las normas de calidad del aire
NO2	Muestreadores de tres gases	Conjunto residencial las palmas				
PM10	Alto volumen	Conjunto residencial las palmas				

	<p style="text-align: center;">DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p style="text-align: center;">CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Referencia	Periodo de muestreo	Puntos de muestreo	Contaminante monitoreado	Equipos de medición	Puntos que presentan mayor concentración de contaminantes	Observaciones
(Cardique, 2010a, 2011a, 2011b)	14 – 16 de Diciembre 2010 4-8 de Abril 2011	a. Centro comercial colonial b. Institución Educativa Corponorte	SO2	Muestreadores de tres gases	Las concentraciones registradas no exceden las normas de calidad del aire	Solo fue tomada una muestra por día en cada punto monitoreado. El reporte indica como objetivo: establecer una línea base de las condiciones ambientales de la zona donde se desarrollará la construcción del tramo 5A para el proyecto Transcaribe
			NO2	Muestreadores de tres gases		
			PM10	Alto volumen		
(Cardique, 2010b, 2011c)	17 – 20 Diciembre de 2010 7 -9 de Abril 2011	a. Eds Texaco Pie De La Popa b. Coac Tramo 5b c. Centro Parque Espíritu Del Manglar	SO2	Muestreadores de tres gases	Las concentraciones registradas no exceden las normas de calidad del aire	Se atribuyen niveles bajos de concentración de partículas, debido a la presencia de lluvia durante el periodo de muestreo El objetivo de este informe fue tener información sobre las condiciones ambientales para la zona durante el tiempo de ejecución de las obras del Tramo B del proyecto Transcaribe
			NO2	Muestreadores de tres gases		
			PM10	Alto volumen		

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Referencia	Periodo de muestreo	Puntos de muestreo	Contaminante monitoreado	Equipos de medición	Puntos que presentan mayor concentración de contaminantes	Observaciones
(Sánchez et al., 2013)	5 a 12 días	a. CAI de la esperanza b. CAI de la arrocera c. CAI de Bocagrande d. CAI de la Boquilla e. CAI de Pasacaballos f. Institución educativa liceo de Bolívar g. Institución educativa playas de Acapulco h. Universidad de Cartagena (sede zaragocilla)	CO	Muestreadores automáticos Thermoelectro n	CAI de Bocagrande	Las concentraciones de CO son superiores a las reportadas en otras ciudades como Medellín y Bogotá.
O3	No se excede la norma	Se concluye que las fuentes vehiculares son una importante debido a la asociación encontrada entre SO2 y PM2.5 en puntos de alto tráfico vehicular				
SO2	No se excede la norma					
PM2.5	CAI Pasacaballos					
Este trabajo (Alvarez, Quiñones, & Huertas, 2015)		a. María Auxiliadora b. Bomba del Amparo c. Peaje Ceballos	PM 2.5	Muestrador automático	Bomba del Amparo y Peaje Ceballos	Los puntos de monitoreo fueron ubicados en sectores donde el transporte es la principal fuente de emisión.
CO	Infrarrojo no dispersivo	No se excede la norma	En todos los puntos de muestreo se excede la norma horaria de PM2.5			

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

De acuerdo con los resultados presentes en la Tabla 39, existe una diversidad de puntos en donde se han realizados muestreos de contaminantes en la ciudad y no en todos los casos se han realizado repeticiones en los mismos puntos, por tanto no es posible identificar con claridad lugares en donde se observen concentraciones de contaminantes que puedan exceder la norma en diversos periodos del año. Sin embargo, se observa que las mayores concentraciones de contaminantes se encuentran localizadas en sectores de alto tráfico vehicular, como por ejemplo el Peaje Ceballos y la Bomba del Amparo, siendo el material particulado el contaminante que presenta mayores excedencias de la norma, seguido por SO₂ y CO.

Las fuentes fijas de la ciudad de Cartagena se encuentran localizadas principalmente en la zona de Mamonal y han sido pocas las campañas de monitoreo documentadas que se han llevado a cabo cerca de la zona de mamonal, que permitan identificar la calidad del aire en este sector industrial de la ciudad.

Es bien conocido que la contaminación atmosférica se encuentra asociada a problemas respiratorios y cardiovasculares. En el caso de Cartagena los casos de mortalidad infantil por Infecciones Respiratorias Agudas (IRA) ha venido en aumento desde el 2012 en donde fallecieron 16.58 de cada 100 nacidos vivos y para el 2014 esta cifra aumento a 24.11 (Como vamos, 2014). En la actualidad la ciudad no cuenta con estudios documentados que relacionen los niveles de concentración de contaminantes en la atmósfera con las enfermedades respiratorias.

- **Índice de la calidad del aire**

El Índice de Calidad del Aire – ICA corresponde a un valor adimensional, cuyo rango se encuentra 0 y 500 puntos. El mismo es un indicativo que permite de manera cualitativa identificar la calidad del aire de la ciudad y su efecto en la salud humana. El (Observatorio Ambiental, 2015) presenta el protocolo mediante el cual se realiza el cálculo del ICA, sus implicaciones para la salud y las acciones preventivas que pueden ejecutarse de acuerdo a los valores del ICA.

Para la campaña de monitoreo realizada en este trabajo (Alvarez et al., 2015), en donde se monitoreo PM_{2.5} y CO en tres puntos de la ciudad: Bomba del Amparo, María Auxiliadora y Peaje Ceballos (en el capítulo 4 se presenta con detalle la realización de esta campaña), fue calculado el ICA. La Figura 155 presenta el valor del ICA horario en los tres puntos de monitoreo, las franjas de la figura representan el nivel de afección a la salud humana.

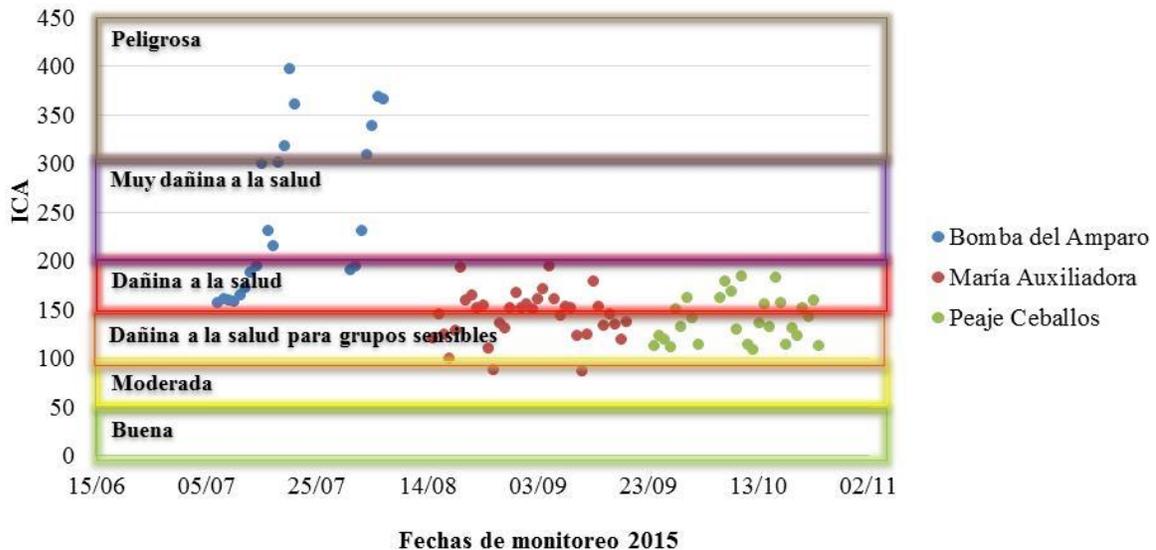


Figura 155. Índice de calidad del aire de la campaña de monitoreo en los sectores: Bomba del Amparo, María Auxiliadora y Peaje Ceballos

En la Figura 155 se observa que durante los días de monitoreo en ninguno de los casos se contó con una buena calidad del aire. El sector de la Bomba del Amparo fue el único que presentó un valor de ICA superior a los 301 puntos, lo que corresponde a una clasificación más peligrosa para la salud. De todos los días monitoreados en este punto el 41% se encuentran dentro de esta clasificación. Para el caso del sector de María Auxiliadora se presentan ICA desde 100 hasta 200 puntos, lo que indica que las concentraciones de contaminantes pueden tener efectos dañinos en la salud. El 51% de los días el ICA se encontró entre 151 y 200 puntos. Por último, para el sector del Peaje Ceballos, es donde se encuentra la mejor calidad del aire (comparado con los otros sectores), el 61% de los días se obtuvieron ICA entre los 101 y 150 puntos. No obstante, esta sigue siendo una calidad del aire dañina para la salud de grupos sensibles como adultos mayores, niños y personas con enfermedades cardiopulmonares.

Por otro lado y como se comentó anteriormente, EPA cuenta con un servicio de vigilancia de la calidad del aire que está compuesto por cuatro estaciones fijas y dos estaciones indicativas, las cuales tienen la cobertura sobre las áreas de contaminación atmosférica significativa de la ciudad de Cartagena.

El SVCA cuenta con tres (3) medidores manuales de bajo volumen para coleccionar muestras de PM_{10} y uno (1) para $PM_{2.5}$, tres (3) analizadores automáticos de ozono, dos (2) equipos automáticos PM_{10} y dos (2) equipos automáticos para $PM_{2.5}$ y cinco (5) estaciones meteorológicas. La Figura 156 presenta la localización de cada una de las estaciones de monitoreo y la Tabla 40 muestra los contaminantes que son medidos en cada una de las estaciones.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

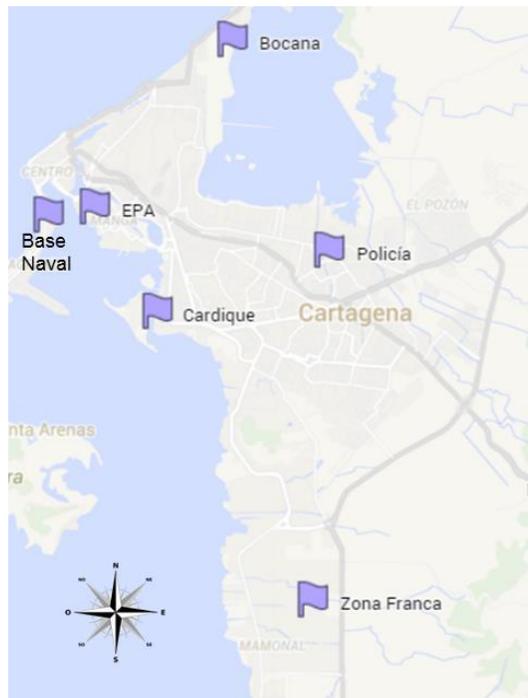


Figura 156. Localización de las estaciones de monitoreo del SVCA en Cartagena de Indias.

Tabla 40. Descripción de las estaciones del SVCA, según los parámetros evaluados y tecnologías implementadas.

Estación	Ubicación	Ubicación		Contaminante monitoreado		
		Latitud	Longitud	PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃
GT1	Bocana *	10.453079°	-75.507676°	X		
GT2	Base naval**	10.413972°	-75.549739°	X	X	X
GT3	CARDIQUE*	10.391569°	-75.525155°	X	X	
GT4	Zona franca**	10.326460°	-75.489407°	X	X	X
EM1	Policía*	10.405512°	-75.485459°	X		
EM2	EPA**	10.413876°	-75.540082°			X

*Equipos semiautomáticos

**Equipos automáticos

En la Tabla 41 se presentan las concentraciones promedio aritmética de PM₁₀ reportados durante el periodo de enero 2014 a septiembre de 2015 en las 4 estaciones fijas y la estación móvil EM1. Se observa que, en general, altas concentraciones durante el mes de enero, febrero, mayo y junio, del 2014 y en los meses de enero, febrero, marzo, julio y agosto del año 2015, esto puede deberse, a las bajas precipitaciones reportadas durante para esos meses durante el año, este efecto meteorológico puede contribuir a la dispersión de material particulado. Las concentraciones más bajas del año 2014

 	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p>
		<p>Fecha: Dic-2015</p>

ocurrieron en los meses pertenecientes al segundo semestre julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre.

Tabla 41. Concentración de PM₁₀ para el año 2014 y 2015

ESTACIÓN	PM ₁₀ (µg/m ³)							
	GT1		GT2		GT4		EM1	
PERIODO	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
ENERO	50.10	37.87	45.11	40.11	41.50	56.14	45.00	41.6
FEBRERO	47.20	17.63	47.18	42.62	57.00	52.90	44.00	46.1
MARZO	47.40	40.25	47.34	37.31	47.00	47.42	45.20	46.2
ABRIL	43.20	26.20	33.25	30.20	41.22	35.25	46.00	30
MAYO	51.20	20.10	46.49	40.21	46.49	24.24	60.00	27.5
JUNIO	43.20	15.10	49.86	35.25	62.00	28.18	50.00	35
JULIO	50.81	30.40	53.06	-	37.83	45.00	49.28	42.5
AGOSTO	55.96	27.20	45.09	-	35.53	55.50	36.95	50.1
SEPTIEMBRE	42.12	21.40	37.94	-	40.12	42.90	49.20	39.2
OCTUBRE	42.30	-	47.66	-	40.12	-	50.90	-
NOVIEMBRE	55.10	-	42.43	-	35.10	-	35.10	-
DICIEMBRE	45.03	-	40.48	-	38.35	-	47.67	-

En cuanto a los valores promedios diarios máximos alcanzados en cada mes, ninguno supera los Niveles Máximos Permisibles Diarios (NMPD) para PM₁₀ de 100 µg/m³ establecidos por la resolución 610 del 2010.

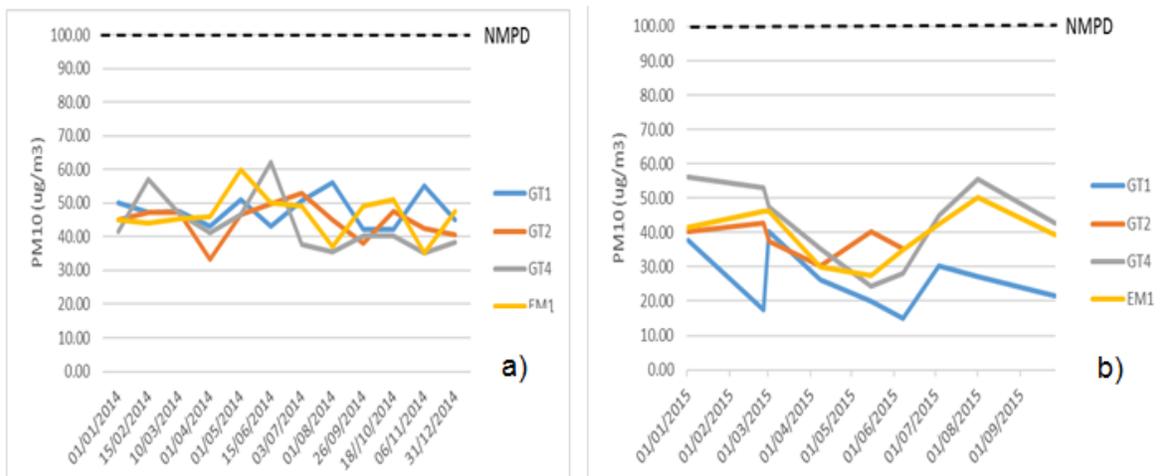


Figura 157. Concentración promedio aritmética diaria, comparación contra la resolución 610 del 2010. a) año 2014 b) año 2015.

De igual modo, se comparan los valores promedios anuales para los periodos evaluados con los niveles máximos permitidos anuales (NMPA) de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos por la resolución 610 del 2010, no obstante, es de resaltar que las concentraciones promedias anuales están muy cercanas a los niveles permitidos por la norma de calidad de aire. Así las cosas, de deben tomar estrategias para realizar un análisis mineralógico y químico de las muestras de material particulado con el objeto de identificar las especies químicas que se están reportando en cada una de las concentraciones y definir las fuentes de contaminación naturales y antropogénicas aportantes de la muestra.

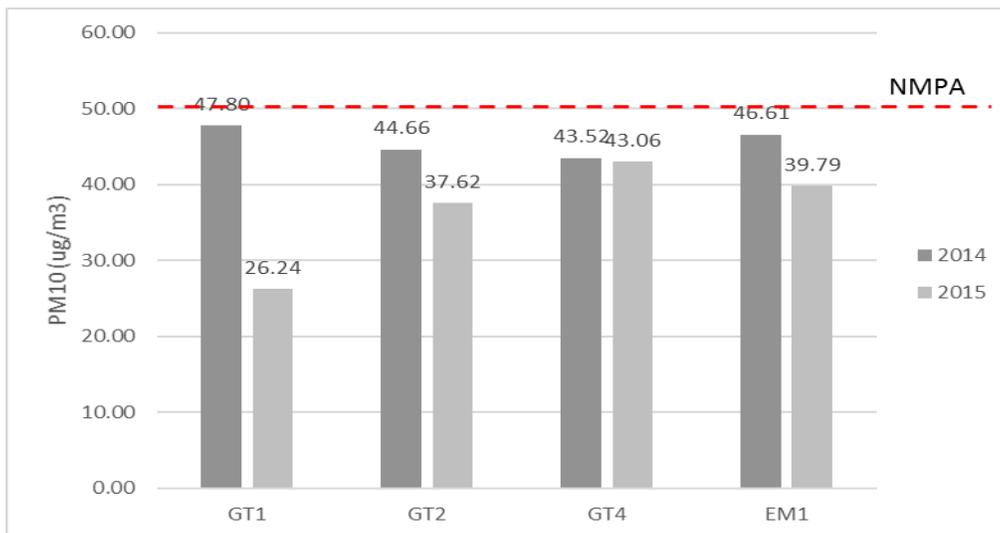


Figura 158. Concentración promedio anual todas las estaciones, comparación contra la norma

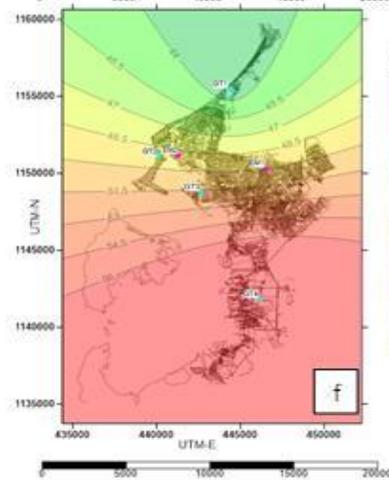
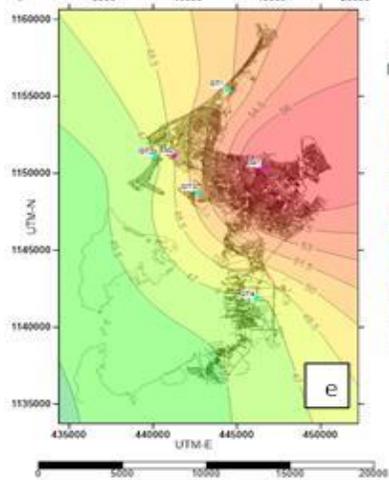
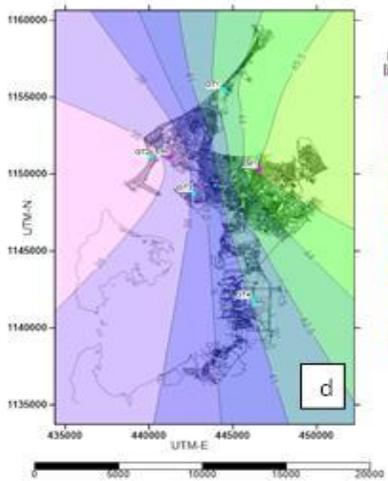
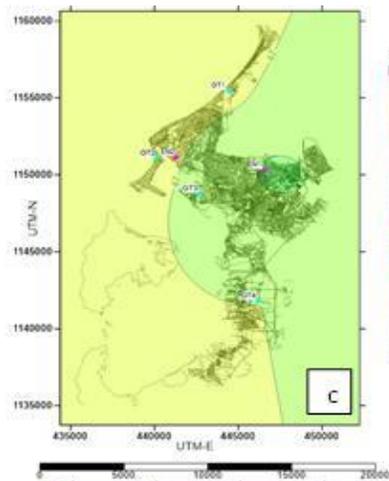
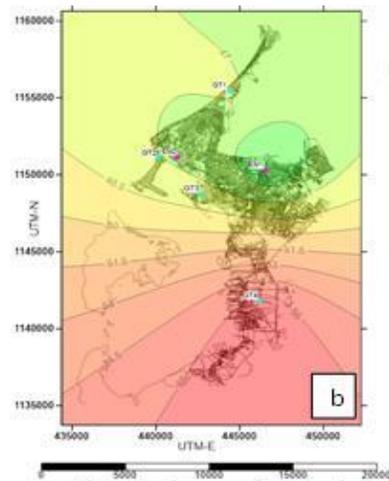
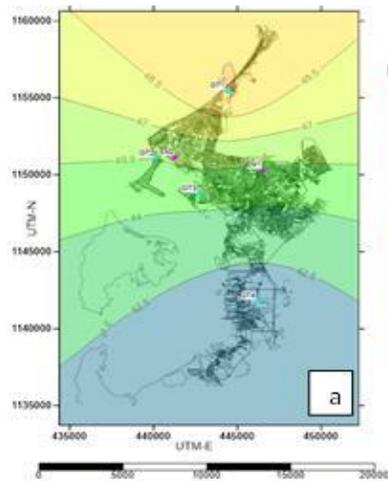
Por medio de la aplicación del software surfer 10.0 se definieron los diagramas de contorno para los parámetros evaluados y analizar la distribución espacial de la concentración de PM10, mediante el método de interpolación de Kriging como se observa en la Figura 159 y Figura 160.

Las concentraciones más bajas del año 2014 ocurrieron en los meses pertenecientes al segundo semestre julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre, ninguna de las estaciones superó los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecidos por la normatividad, sin embargo, en los meses de julio y agosto las concentraciones son superiores al valor medio tomado como referencia de 48.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobre las estaciones GT1 y GT2. Para el resto de los meses las concentraciones estuvieron por debajo del valor medio tomado como referencia.

Las concentraciones disminuyen en dirección Norte a Sur para el segundo semestre del año 2014, y mostraron un patrón de dispersión conforme a la dirección del viento en cada uno de los casos. Teniendo en cuenta los resultados registrados en las isopletas, los sectores mayormente influenciadas por altas concentraciones de PM10 corresponden a la

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	---	---

Bocana y Bocagrande. Mientras que para el primer semestre del año los sectores que se ven influenciados por las altas concentraciones son los Alpes, Olaya y Mamonal.



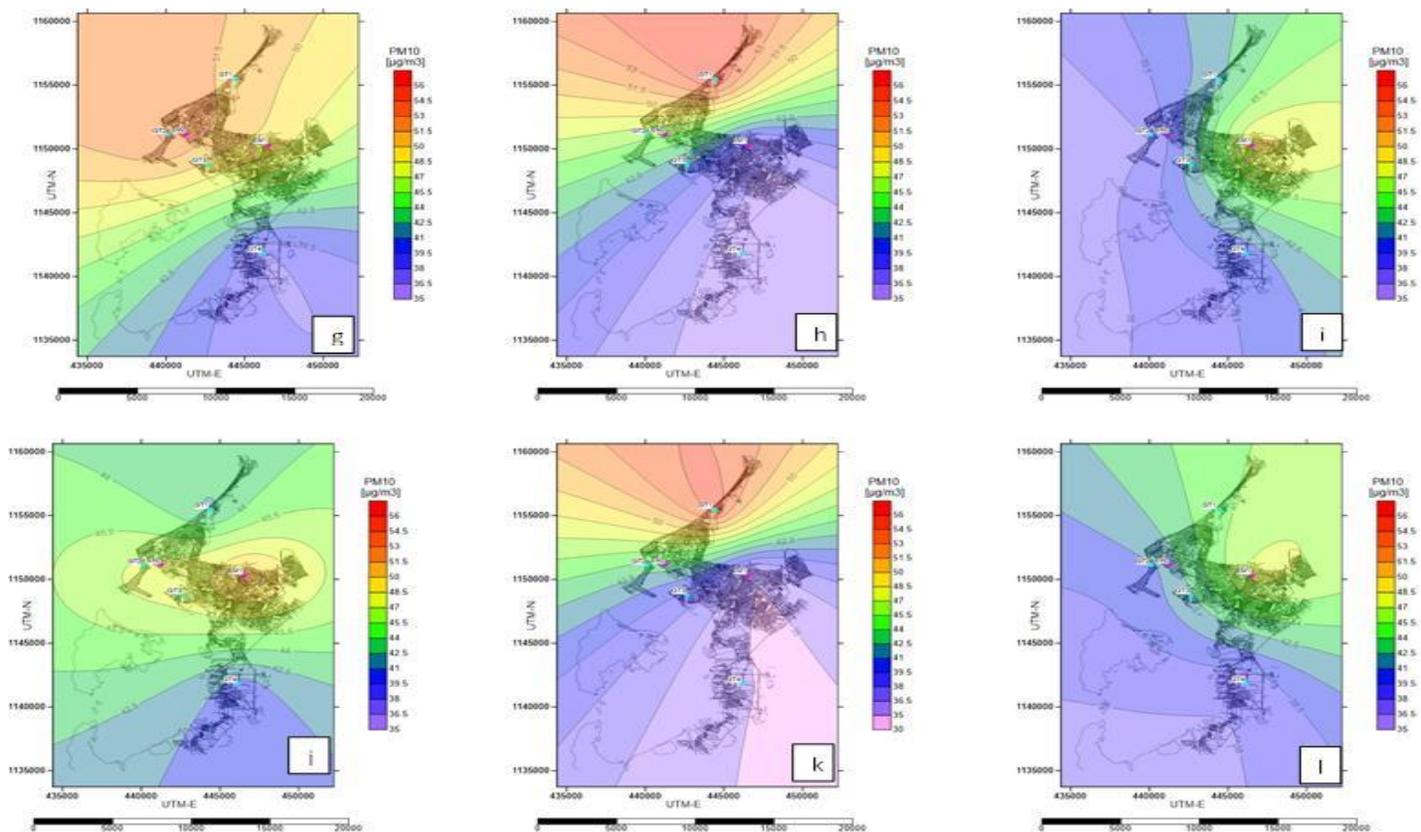
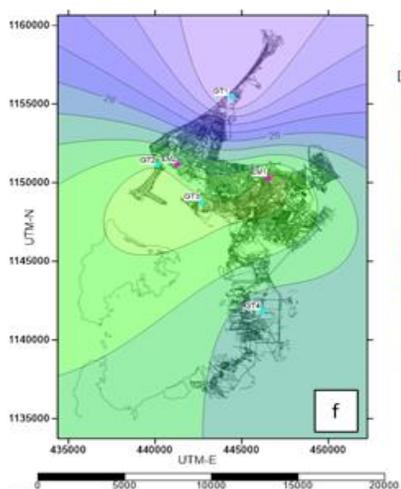
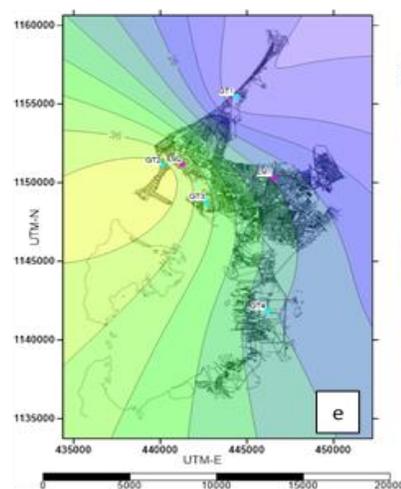
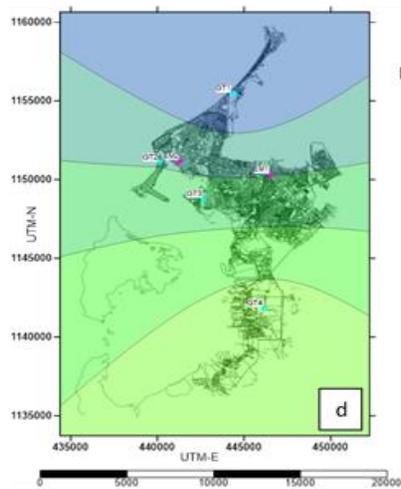
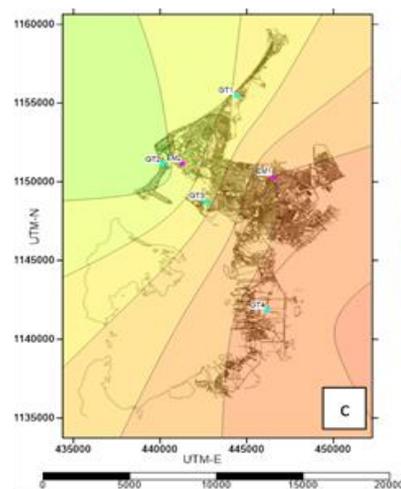
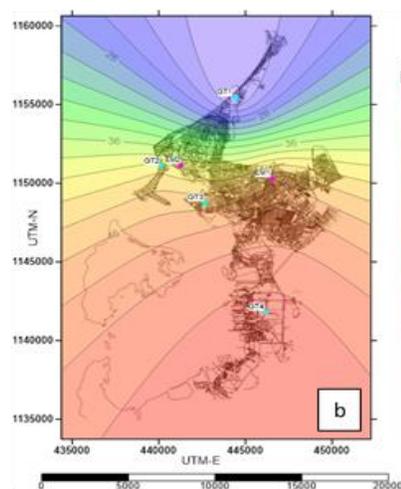
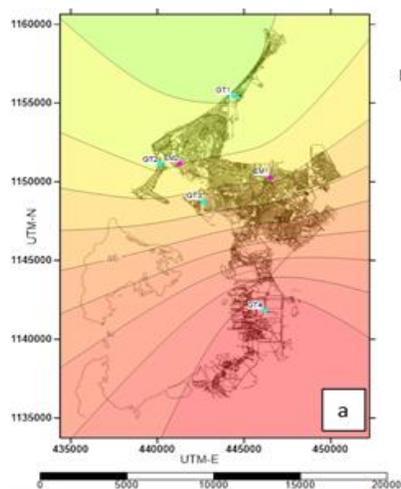


Figura 159. Distribución espacial de la concentración de PM10 en la ciudad de Cartagena para el año 2014. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio g) Julio h) Agosto i) Septiembre j) Octubre k) Noviembre l) Diciembre



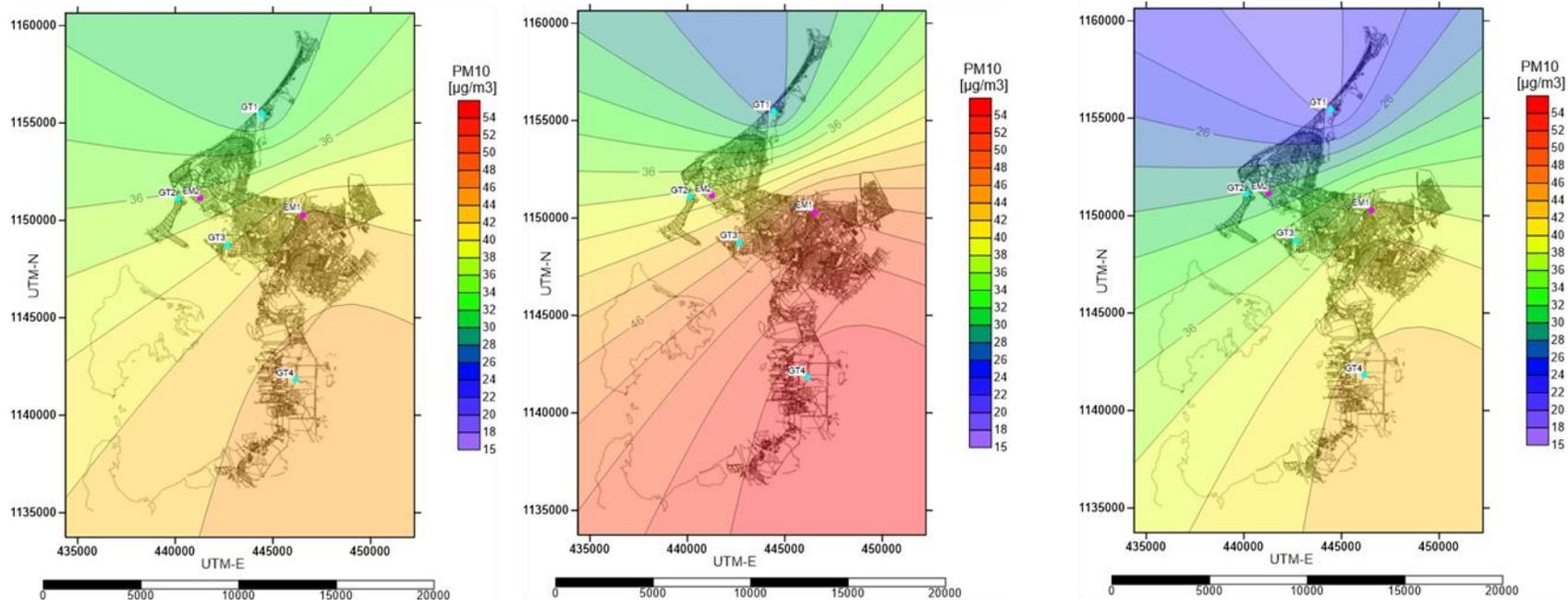


Figura 160. Distribución espacial de la concentración de PM10 en la ciudad de Cartagena para el año 2015. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio g) Julio h) Agosto i) Septiembre

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

○ *Concentraciones de PM_{2.5}*

En la Tabla 42 se presentan las concentraciones promedio aritmética de PM_{2.5} reportados durante el periodo de enero 2014 a septiembre de 2015 en las 3 estaciones fijas. Se observa que, las concentraciones altas más altas se están presentando en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, julio agosto y septiembre influenciados principalmente por el sector mamonal. Mientras que las concentraciones más bajas se están presentando durante el año 2014 sobre el sector Nuevo bosque. Mientras tanto para el año 2015, las mayores concentraciones se están presentadas en el mes de abril sobre el sector Bocagrande, aunque para este mes las precipitaciones son máximas, se debe tener en cuenta que este sector está influenciado por el margen costero y en donde se presentan efectos de resuspensión de material y aerosoles biológicos.

Tabla 42. Concentración de PM_{2.5} para el año 2014 y 2015

PM _{2.5} (ug/m3)						
ESTACION	GT2		GT3		GT4	
PERIODO	2014	2015	2014	2015	2014	2015
ENERO	21.02	24.32	20.76	16.71	29.24	23.62
FEBRERO	31.51	27.3	28.34	17.63	35.17	25.13
MARZO	24.79	20.27	24.52	18.55	38.49	27.64
ABRIL	27.43	35.25	15.57	24.20	37.02	28.00
MAYO	32.94	24.24	18.35	27.12	33.25	22.32
JUNIO	29.97	27.18	27.91	12.42	41.83	24.34
JULIO	28.35	0	22.45	23.00	37.98	35.00
AGOSTO	20.76	0	19.21	27.30	35.53	31.00
SEPTIEMBRE	31.23	0	30.00	21.00	32.24	33.20
OCTUBRE	27.91	0	17.48	0	29.21	0
NOVIEMBRE	34.90	0	14.99	0	30.63	0
DICIEMBRE	28.23	0	13.06	0	29.50	0

En cuanto a los valores promedios anuales, las estaciones GT4 y GT2 superan los Niveles Máximos Permisibles Anuales (NMPA) para PM_{2.5} de 25 µg/m³ establecidos por la resolución 610 del 2010. Esto se presenta principalmente por las constantes emisiones generadas por el sector industrial y los efectos de resuspensión de material partículas por el margen costero. Lo anterior, podría estar vinculado a la distribución de tamaños de partículas que están presentes en el área de estudio, siendo las partículas finas las de mayor importancia.

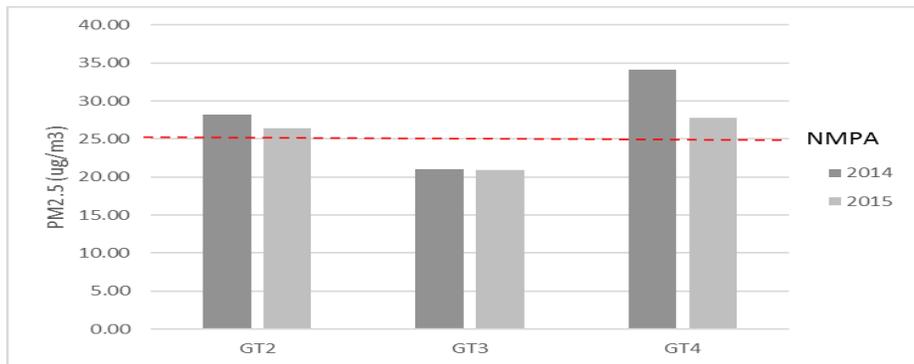
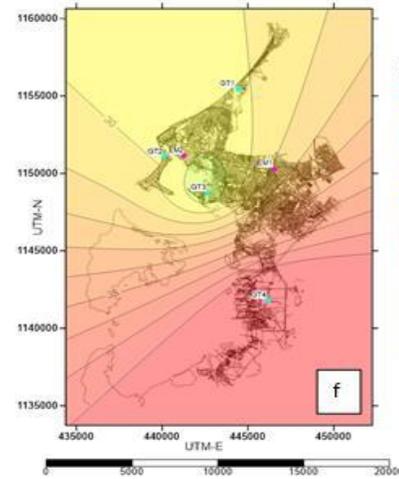
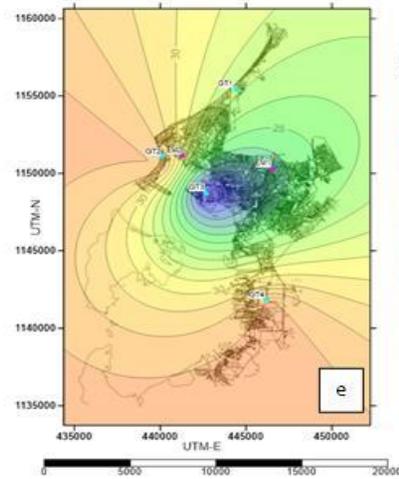
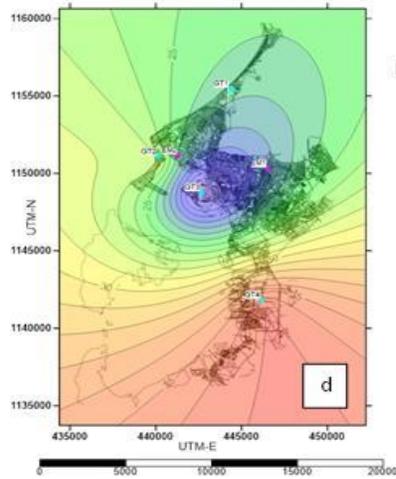
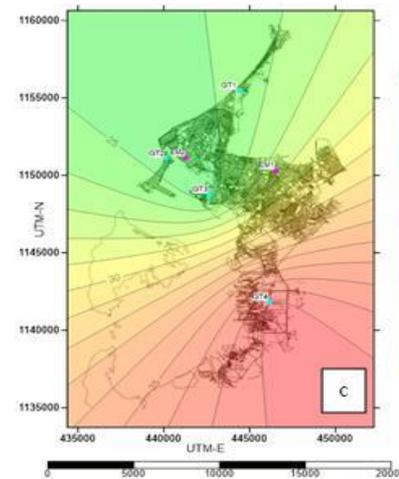
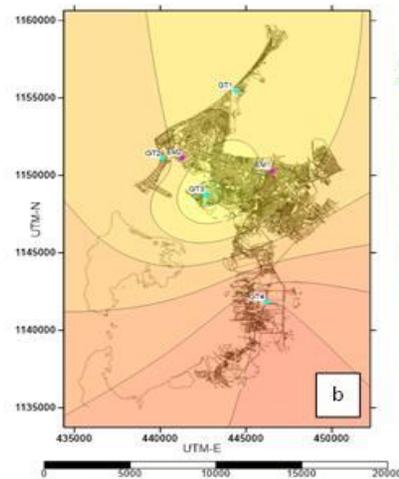
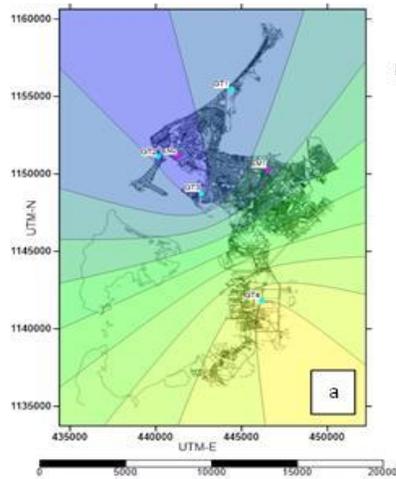


Figura 161. . Concentración promedio anual todas las estaciones, comparación contra la resolución 610 del 2010

Para el primer semestre del año 2014 las concentraciones diarias más altas se presentaron en la estación Zona franca de la candelaria – GT4 en el mes de junio con valores promedio de 41.83 µg/m³, ninguna de las estaciones excedió los límites para PM_{2.5} diarios establecidos en la resolución 610 del 2010. Por otro lado, las concentraciones mínimas se registraron en la estación CARDIQUE – GT3 en el mes mayo con valores promedio de 18,35 µg/m³.

Para el segundo semestre las concentraciones diarias más altas se registraron en las estaciones de Zona franca de la candelaria – GT4 en el mes de julio con valores de 37,98 µg/m³, ninguna de las estaciones excedió el límite normativo establecido en la Resolución 610 del 2010 diario para PM_{2.5}. Las mínimas concentraciones se presentaron en las estaciones CARDIQUE – GT3 en el mes de diciembre con valores de 13,06 µg/m³.



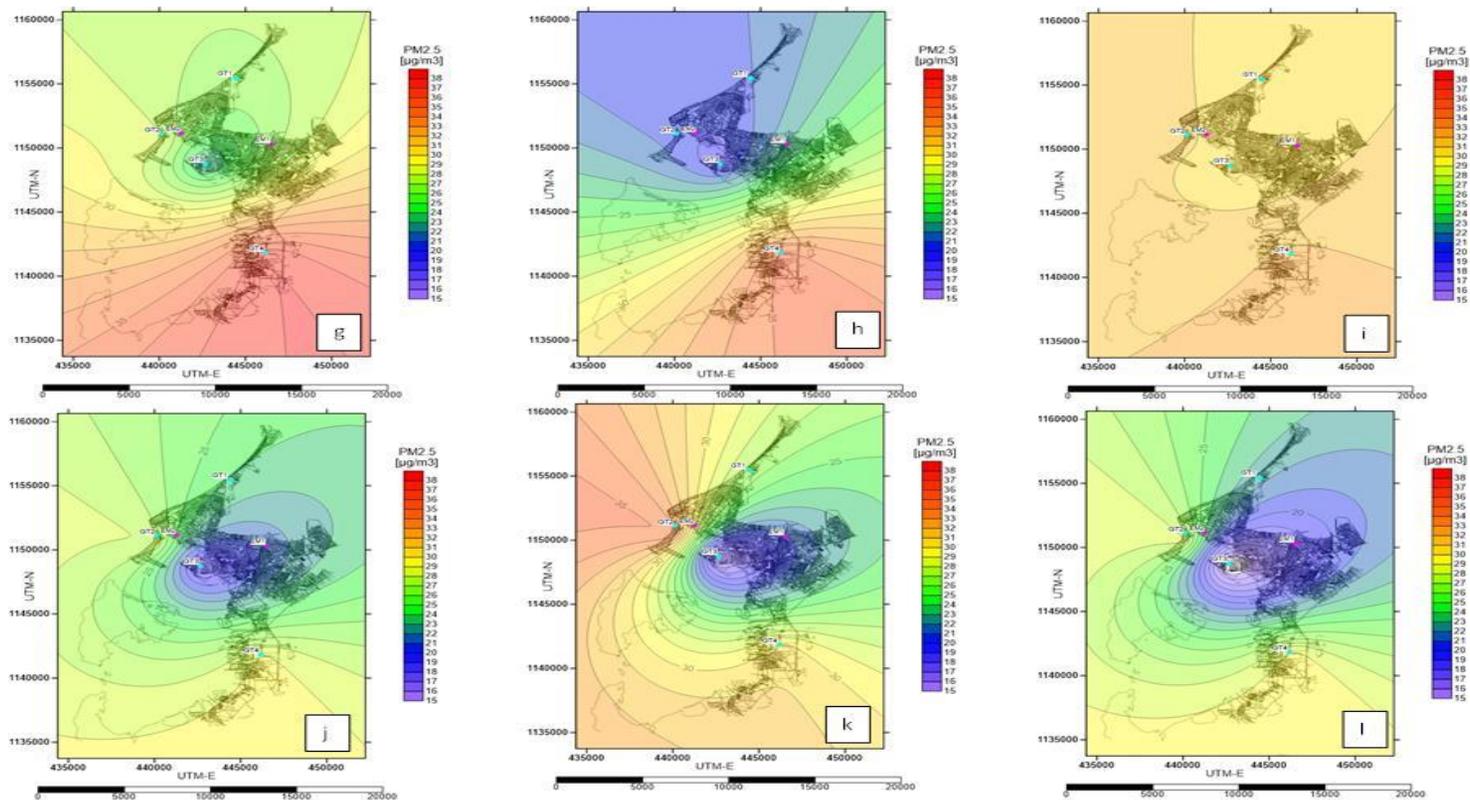


Figura 162. Distribución espacial de la concentración de PM2.5 en la ciudad de Cartagena para el año 2014. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio g) Julio h) Agosto i) Septiembre j) Octubre k) Noviembre l) Diciembre

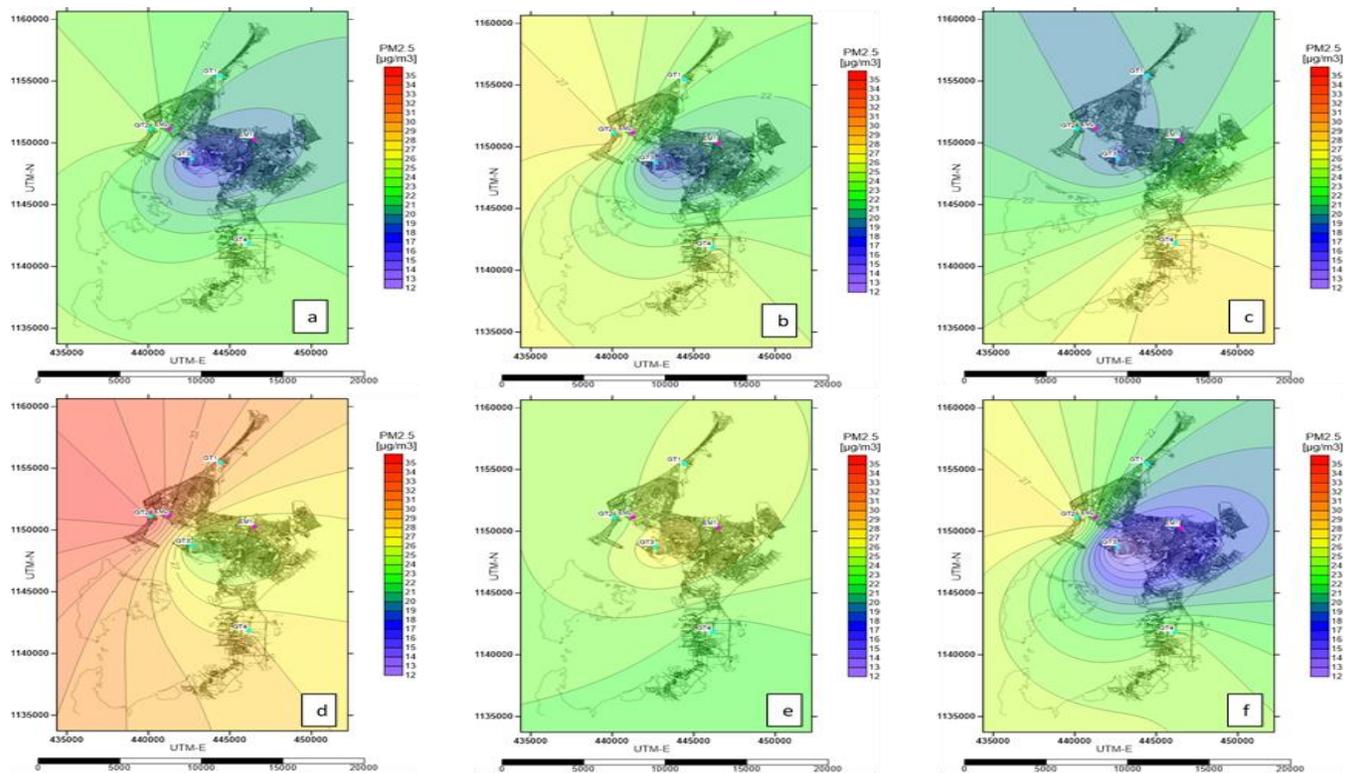


Figura 163. Distribución espacial de la concentración de PM2.5 en la ciudad de Cartagena en el año 2015. a) Enero b) Febrero. c) Marzo d) Abril e) Mayo f) Junio

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

- **Índice de calidad del aire con datos del sistema de monitoreo**

Con base en la información del sistema actual de monitoreo también se determinó el índice de calidad de aire. A continuación, se muestra el índice de calidad del aire ICA para el distrito para los periodos evaluados. El propósito del índice es facilitar la comprensión del vínculo entre los niveles de contaminación del aire y los efectos en la salud. Con este fin, el índice se divide en cinco categorías, cada una corresponde a un intervalo en el índice y señala el nivel de riesgo para la salud. Para simplificar su interpretación cada intervalo se representa mediante un color.

Tabla 43. Criterio del Índice de Calidad del Aire ICA

ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O ₃ 8h ppm	O ₃ 1h Ppm (1)	PM ₁₀ 24h µg/m ³	PM _{2.5} 24h µg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0 - 50	Verde	Buena	0,000 0,059	-	0 54	0,0 15,4	0,0 4,4	0,000 0,034	(2)
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	-	55 154	15,5 40,4	4,5 9,4	0,035 0,144	(2)
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	40,5 65,4	9,5 12,4	0,145 0,224	(2)
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	65,5 150,4	12,5 15,4	0,225 0,304	(2)
201 - 300	Púrpura	Muy Dañina a la salud	0,116 0,374 (0,155 0,404) (4)	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,65 1,24
301-400	Marrón	Peligrosa	(3)	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,25 1,64
401-500	Marrón	Peligrosa	(3)	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,65 2,04

El cálculo del ICA, se realiza según el modelo desarrollado por la EPA, el cual consta de un algoritmo de cálculo para la obtención de los subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire, este algoritmo involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en dos puntos (rango). La ecuación será calculada para cada contaminante criterio, reportando el mayor valor del índice que se obtenga.

$$ICA = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} * (C_i - BP_{LO}) + I_{LO}$$

ICA = Índice de calidad del aire

I_{LO} = Valor del índice en el límite inferior de la categoría del ICA

I_{HI} = Valor del índice en el límite superior de la categoría del ICA

BP_{LO} = Punto de quiebre de la concentración en el límite inferior de la categoría del ICA

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	--	---

BP_{HI} = Punto de quiebre de la concentración en el límite superior de la categoría del ICA

C_i = Concentración del contaminante

En la Tabla 44 se muestran los ICA para PM_{10} en cada mes dentro de los periodos evaluados, en donde se tiene que principalmente en Cartagena las condiciones en términos de calidad de aire para este contaminante en cuestión son buenas y existe poco o ningún riesgo para la salud., exceptuando algunos meses sobre los cuales las condiciones son aceptables especialmente sobre el sector Mamonal.

Tabla 44. Índice de Calidad del Aire mensual para PM_{10} para el periodo 2014-2015

ESTACIÓN	ICA PM_{10}							
	GT1		GT2		GT4		EM1	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
ENERO	46.4	35.1	41.8	37.1	38.4	55.6	41.7	38.5
FEBRERO	43.7	16.3	43.7	39.5	56	49	40.7	42.6
MARZO	43.9	37.3	43.8	34.5	43.5	43.9	41.9	42.8
ABRIL	40	24.3	30.8	28	38.2	32.6	42.6	27.8
MAYO	47.4	18.6	43.1	37.2	43	22.4	57.5	25.5
JUNIO	40	14	46.2	32.6	58.5	26.1	46.3	32.4
JULIO	47	28.1	49.1	0	35	41.7	45.6	39.4
AGOSTO	55.5	25.2	41.7	0	32.9	55.2	34.2	46.4
SEPTIEMBRE	39	19.8	35.1	0	37.2	39.7	45.6	36.3
OCTUBRE	39.2	0	44.1	0	37.1	0	47.1	0
NOVIEMBRE	55	0	39.3	0	32.5	0	32.5	0
DICIEMBRE	41.7	0	37.5	0	35.5	0	44.1	0

Seguidamente, en la tabla 16 se muestran los ICA para $PM_{2.5}$, en donde La calidad del aire es aceptable, sin embargo, en el caso del contaminante $PM_{2.5}$, se encuentran condiciones en su mayoría moderadas y las personas que son inusualmente sensibles, pueden presentar síntomas moderados. Y se resalta que para un mes sobre el sector Mamonal para el año 2014 de acuerdo con el ICA presentó malas condiciones y es dañina para grupos sensibles quienes pertenecen a estos grupos sensibles pudieron experimentar efectos en la salud.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Tabla 45. Índice de Calidad del Aire mensual para PM_{2.5} para el periodo 2014-2015

ESTACIÓN	ICA PM _{2.5}					
	GT2		GT3		GT4	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
ENERO	61.9	68.4	61.4	53.4	78	67
FEBRERO	82.5	74.2	76.3	55.2	89.7	70
MARZO	69.3	60.4	68.8	57	96.2	74.9
ABRIL	74.5	89.9	51.1	68.1	93.3	75.6
MAYO	85.3	68.2	56.6	73.9	85.9	64.4
JUNIO	79.5	74	75.4	40.3	104	68.4
JULIO	76.3	0	64.7	65.8	95.2	89.4
AGOSTO	61.3	0	58.3	74.2	90.4	81.5
SEPTIEMBRE	82	0	79.5	61.8	83.9	85.8
OCTUBRE	75.4	0	54.9	0	78	0
NOVIEMBRE	89.2	0	48.7	0	80.8	0
DICIEMBRE	76.1	0	42.4	0	78.5	0

2.3. COMPONENTE SOCIOECONÓMICO

En este aparte se describen las características de las actividades socioeconómicas que se presentan en el área de influencia del sistema de Caños y Lagos Internos de la Ciudad de Cartagena. Dicha descripción se realiza por cada uno de los cuerpos de agua.

2.3.1. Ciénaga de las Quintas.

2.3.1.1. Demografía y aspectos de población

Los barrios aledaños a este cuerpo de agua son Barrio Chino, Martínez Martelo y Manga, pertenecientes a la Localidad Histórica y del Caribe Norte, correspondientes a los estratos 2, 3 y 5, a las Unidades Comuneras de Gobierno 1 y 9, consecutivamente; y con una población aproximada de 19.509 personas, 4387 viviendas y una distribución por género de 11.018 mujeres y 8.491 hombres¹. El tipo de estructura familiar de acuerdo a las

¹ Plan de Desarrollo Ahora Sí Cartagena 2013-2015. Caracterización del Distrito de Cartagena.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

encuestas aplicadas por el equipo técnico y profesional del EPA en las zonas perimetrales al cuerpo de agua, es de tipo mono parental, es decir un hogar por vivienda, en el 87% de los casos.

Es importante resaltar que la zona del barrio Manga más vulnerable y adyacente a la ciénaga se conoce como sector Santafé en inmediaciones de la Zona Franca corresponde aproximadamente a 20 viviendas en esa condición, las que se encuentran más cercanas al agua han ido rellenando la margen, como mecanismo para aumentar las áreas correspondientes a sus predios, aunque algunos argumentan que rellenan para prevenir la erosión de las orillas y el derrumbamiento de las casas (Ver Figura 164).



Figura 164. Se muestra aspectos de los rellenos que se han dado en las orillas de la Ciénaga de las Quintas, Barrio Manga Sector Santafé

A pesar de que los servicios públicos para estos barrios registran unas coberturas del 100% en energía eléctrica, acueducto y alcantarillado, se pudo constatar presencia de pozas sépticas en el sector Santafé, como mecanismo de eliminación de excretas en algunas de las viviendas visitadas.



Figura 165. Eliminación de excretas que vierten directamente a la ciénaga de las Quintas pos sistema de pozas sépticas y servicios sanitarios, sector Santafé de Manga

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Con relación a la disposición de residuos sólidos, no obstante que existe la prestación del servicio de aseo de los operadores de aseo PROMOAMBIENTAL S.A. E.S.P. y Aseo Urbano de la Costa S.A. E.S.P., estos se disponen indiscriminadamente en las orillas del cuerpo de agua, afectando a su vez al ecosistema de manglar.



Figura 166. Afectación del Manglar por inadecuada disposición de residuos en la Ciénaga de Las Quintas

Otro aspecto que se evidenció fue el de las inundaciones ocasionadas por el nivel freático de algunos sectores del barrio Chino en los callejones 1 y 2do Bahía, Romana y Carrillo, los cuales afectan sus calles las cuales permanecen intransitables cuando llueve o sube la marea, así mismo el sector Santa Fe de Manga.

2.3.1.2. Practicas socioculturales que se presentan en el área de influencia del sistema de caños y lagos.

Percepción comunitaria de la problemática ambiental Ciénaga de las Quintas

A principios del 2000, el barrio Martínez Martelo instauró Acción Popular No. 13001-23-31-000-2003-0258800 y 2005-005200² en contra del Distrito de Cartagena, Cardique y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, por la problemática del mercado y el acelerado proceso de invasión en la Ciénaga de las Quintas y el 25 de noviembre de 2010 se dicta sentencia proferida por el Juzgado 12 Administrativo, cuya orden judicial donde ordena trasladar el Mercado de Bazurto, toda vez que han generado graves

² Archivo Jurídico EPA Cartagena.

deterioros ambientales, entre otros a la Ciénaga de las Quintas, en la que se ordena a las entidades vinculadas restablecer el orden ecológico de la ciénaga y así mismo, mediante Auto No. 1248 del siete (7) de octubre de 2014 ordena al MADS adelantar estudios que establezcan el grado de contaminación que presenta la Ciénaga, identificando cuales son las fuentes contaminantes, las especies de fauna y flora existentes en el lugar, así mismo, poder determinar si dichas condiciones permiten su supervivencia y reproducción en forma sostenible. Lo anterior es un ejemplo notable de cómo los barrios y residentes del área de influencia de este espejo de agua, perciben la problemática ambiental y esperan que sea mitigado el daño ecológico y se propenda a la protección y conservación del mismo.

Consultados los pobladores residentes y moradores de la Ciénaga a través de encuestas, sobre su percepción de la principal problemática ambiental respondieron el 46% que lo que más afecta es la calidad del agua por la contaminación y los olores ofensivos que se generan de este cuerpo de agua y una de las principales causas de rechazo a las actividades productivas circundantes.

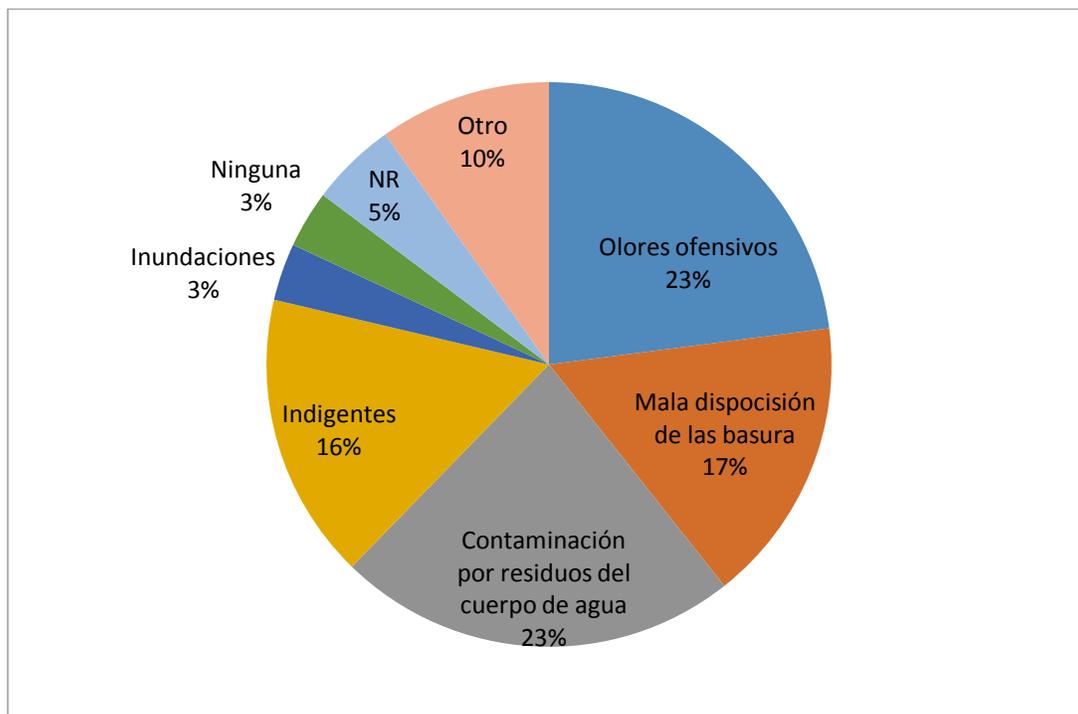


Figura 167. Percepción de la problemática de contaminación en la Ciénaga de las Quintas

A estas problemáticas, se le suma la presencia de habitantes de calle, segmento vulnerable de población que sobrevive de actividades económicas de pancoger derivadas

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

del reciclaje y otras de tipo ilícito como la venta y expendio de drogas. Escogieron los ecosistemas manglárnicos como sitio para pernoctar y hacer sus cambuches, estratégicamente no visibles para residentes y transeúntes. Se identificó un punto en frente y diagonal al Centro Comercial Caribe Plaza y la Estación de aguas residuales de la Empresa Aguas de Cartagena, teniendo como limite el Puente Jiménez, que separa los barrios Manga Pie de la Popa.



Figura 168. Habitantes de calle ubicados en la Ciénaga de las Quintas, frente a Centro Comercial Caribe Plaza

Consultados los moradores y residentes sobre la disposición y propensión a participar en la búsqueda de soluciones a las diferentes problemáticas, se encontró una buena acogida en cuanto a mejorar su ambiente inmediato, lo cual se observa en las alternativas que propone la ciudadanía desde su percepción y cotidianidad cultural.

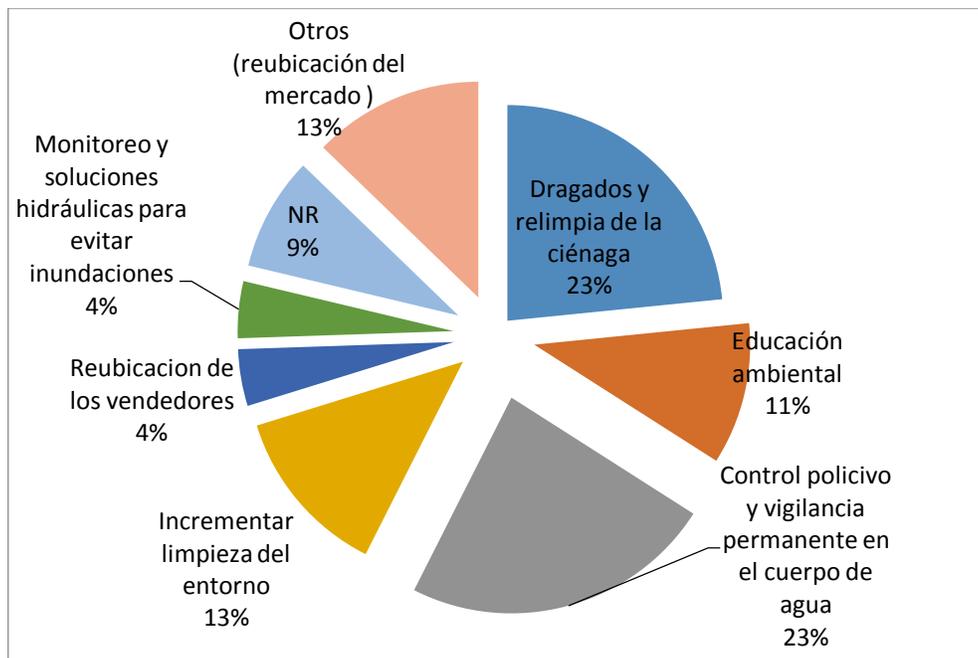


Figura 169. Soluciones propuestas por los moradores y residentes ubicados en la Ciénaga de las Quintas

2.3.1.3. Practicas económicas que se presentan en el área de influencia del sistema de caños y lagos.

En la actualidad la franja de protección de estos ecosistemas está siendo paulatinamente disminuido por la presión de la urbanización y del desarrollo de las actividades propias de la ciudad. Por lo que hay una gran amenaza de pérdida de los ecosistemas y en consecuencia de la calidad de vida de la población aledaña a los mismos.

En este sentido se adelantaron una serie de encuestas y visitas a los cuerpos mencionados, por parte de un equipo de profesionales y técnicos de EPA, para obtener la información primaria requerida y las acciones pertinentes.

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 46. Resultados del Inventario General de Actividades Productivas y Visitas de Campo Sistema de Ciénagas, Caños y Lagunas

CUERPO DE AGUA	Comercial	Residencial	Institucional	Lotes baldíos	Obras en construcción	Espacio Público invadido	Total
Ciénaga de las Quintas	78	26	16	4	0	4	128
Laguna de San Lázaro	4	11	6	0	0	2	23

	DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA	Revisión: 1
	CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015	Fecha: Dic-2015

Caño Bazurto	16	30	8	2	3	1	60
Laguna del Cabrero	6	37	3	15	2	1	64
Caño Juan Angola	34	221	10	17	1	2	285
Laguna de Chambacú	34	1	4	0	0	7	46
TOTAL	172	326	47	38	6	17	606

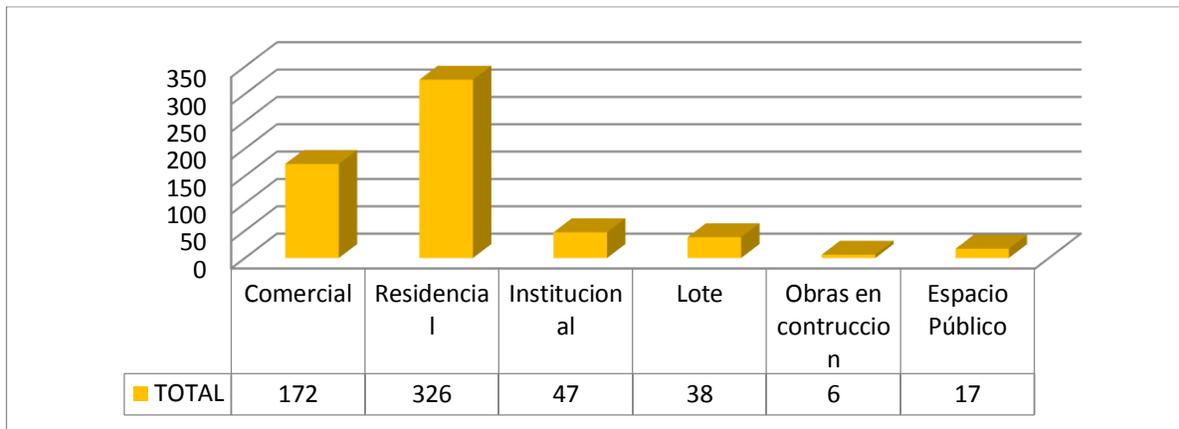


Figura 170. Estimativo de actividades productivas que influyen sobre la franja de protección del sistema de Caños y Lagos

- **Mercado de Bazurto**

En cuanto a la parte perimetral de esta Ciénaga por la Avenida del Lago se encuentra uno de los importantes generadores de gran impacto como lo es el Mercado de Bazurto (ubicado entre los barrios Martínez Martelo y Barrio Chino), tiene esta connotación, dado que es el punto donde convergen muchos de los consumidores y comerciantes de la ciudad. Se ha convertido en el mercado central y al mismo tiempo funciona como el principal centro de abastos de la ciudad. Se identificaron dos categorías de problemas importantes en el mercado³: en primer lugar, las malas condiciones de vida, laborales y ambientales; en segundo lugar, la falta de coordinación y gerencia. Esta última categoría hace referencia al hecho que la administración no responde a las necesidades del mercado y hay una notable falta de comunicación y coordinación entre las instituciones

³ MERCADO DE BAZURTO. CÓMO GESTIONAR EL CAMBIO? Convenio Massachusetts Institute of Technology (MIT) y la Universidad Tecnológica de Bolívar (UTB): Autores: Andrea Betancourt, Mayra Durante y otros. (2009)

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

públicas y la comunidad del mercado. Desafortunadamente, estos problemas no son nuevos. Existe una historia de problemas muy similares que se generaron en el antiguo mercado público de Getsemaní. La historia demuestra que los problemas de espacio, movilidad, inseguridad y salubridad no se reformaron con el traslado del mercado de un sector a otro.



Figura 171. Mercado de Bazaruto de la ciudad de Cartagena

El Establecimiento Público Ambiental EPA, realizó una serie de encuestas para caracterizar las principales actividades productivas que se realizan alrededor de este cuerpo de agua, las cuales se evidencian en la siguiente figura.

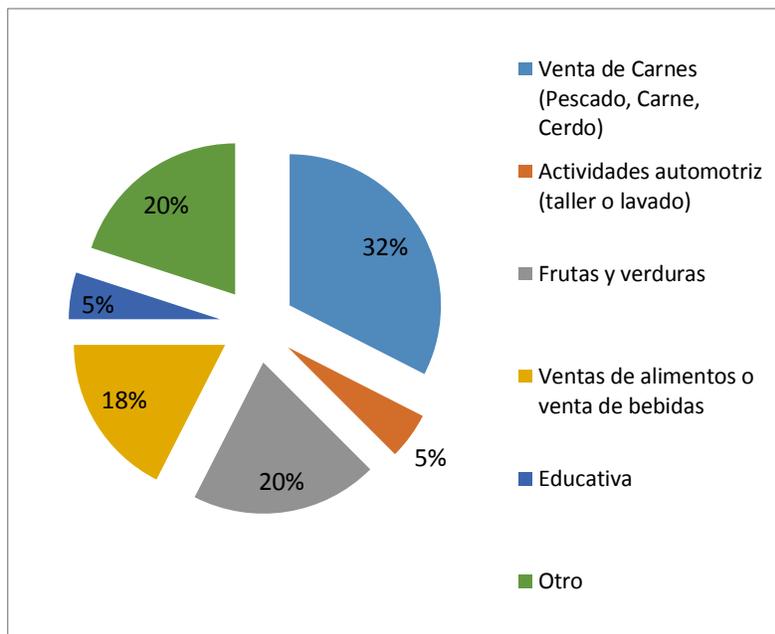


Figura 172. Actividades económicas productivas adyacentes a la Ciénaga de las Quintas

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Priman el comercio y expendio de carnes y pescado y la venta de frutas y verduras. Otro dato encontrado es que el 71% de los negocios son propietarios de los predios o locales, y en 83% poseen empleados para la actividad. Sin embargo los negocios no presentan las condiciones adecuadas de higiene y salubridad para ofrecer productos de calidad.

- **Zona Franca industrial y comercial de Manga**

La Ciénaga colinda por el Puente de Bazurto y la Cuarta Avenida del barrio Manga con una importante zona franca, donde se desarrollan y se llevan a cabo actividades de almacenamiento, comerciales, de servicios e industriales, para la importación y exportación de productos, pero no se tienen datos de los beneficios y responsabilidad social con las áreas de influencia de este cuerpo de agua.

- **Transporte acuático y flujo de embarcaciones**

En la Ciénaga de las Quintas se encuentran marinas artesanales en las que se observan especialmente pescadores que salen en sus embarcaciones a la bahía de Cartagena y a las que arriba y sale personal diariamente a las Islas del Rosario y Barú, los cuales llegan al Mercado de Bazurto para intercambio de productos, víveres y desarrollar sus actividades cotidianas en la ciudad. Igualmente ocurre en Laguna de San Lázaro y caso contrario se presenta en el resto de cuerpos de aguas internos de la ciudad, en donde el flujo de embarcaciones es muy limitado y sólo se aprecian algunas de forma aislada durante el día. El transporte acuático y la dinamización de la economía se convierte en uno de los servicios eco sistémicos y una condición socio ecológica que brinda este cuerpo de agua para la ciudad, mostrando unas particularidades de adaptación e integración donde convergen una serie de características socioculturales de los habitantes y estos ecosistemas. Se reciben directamente unos beneficios naturales, al gestionar y apropiarse de la biodiversidad, las personas modifican directa o indirectamente el funcionamiento y la estructura de este cuerpo de agua.

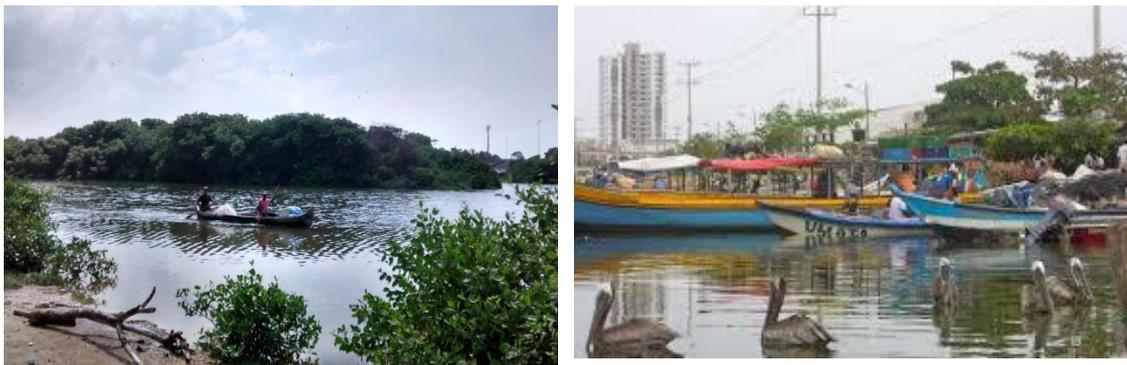


Figura 173. Flujo de embarcaciones en la Ciénaga de las Quintas

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

2.3.2. Caño Bazurto

2.3.2.1. Demografía y aspectos de población

Los barrios que rodean este ecosistema son Manga y Pie de la Popa, pertenecientes a la Localidad Histórica y del Caribe Norte, correspondientes al estrato 5, y a la Unidad Comunera de Gobierno 1, con una población de 9.941 personas, 5009 viviendas y una distribución por género de 9.295 mujeres y 12.646 hombres⁴. De acuerdo a encuestas realizadas en las zonas perimetrales al cuerpo de agua, el 60% de las familias tiene más de 20 años en promedio de estar ubicados en el sector.

Las coberturas de los servicios públicos están cobijadas en un 100% para estos barrios, pero con relación a la prestación del servicio de aseo suministrado principalmente por la empresa PROMOAMBIENTAL S.A. E.S.P. Pacaribe, existe una insatisfacción manifestada por los moradores y vecinos de este cuerpo de agua, con relación a dos aspectos; el primero tiene que ver con la recolección de residuos, pues constantemente se evidencian en sus zonas aledañas problemáticas asociadas a la inadecuada disposición de los mismos y la influencia de la proximidad del sector con el Mercado de Bazurto, especialmente con relación al paso frecuente de habitantes de calle y su cotidianidad en la zona manglar del Caño Bazurto, estos aspectos fueron reflejados en los trabajos de campo realizados por el EPA y en las encuestas aplicadas.

2.3.2.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental

Consultados los vecinos y moradores con relación a la problemática ambiental, respondieron que la presencia de habitante de calle es la más sentida por ellos en la actualidad.

⁴ Plan de Desarrollo Ahora Sí Cartagena 2013-2015. Caracterización del Distrito de Cartagena.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

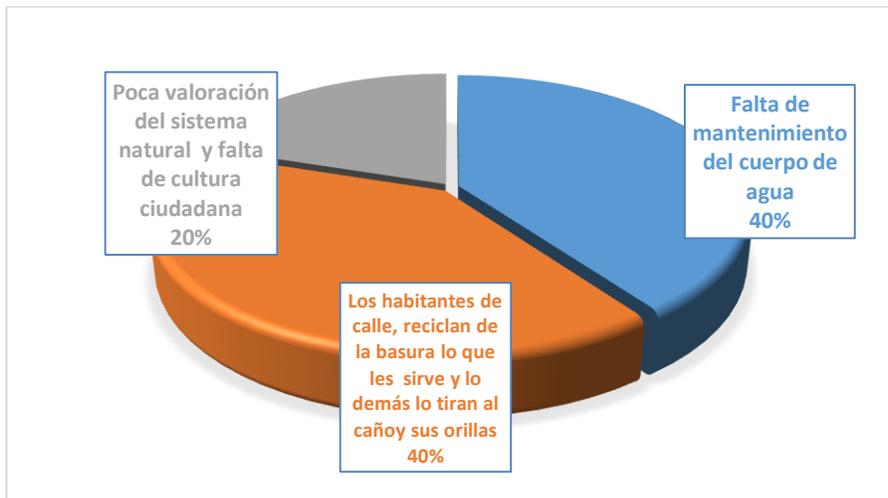


Figura 174. Cuáles son los Principales problemas ambientales del caño Bazurto?

Esta percepción ha motivado una connotación negativa y generalizada por parte de moradores y residentes, que por mucho tiempo consideraron este tema como una polémica evidenciada por redes sociales desde el 2013, en torno a la conveniencia o no de que siga existiendo el manglar en la zona de la Avenida del Lago y parte residencial del barrio Manga al caño de Bazurto. El debate para erradicación del manglar fue abierto por ASOMANGA y ASOPOPA, quienes en referencia a los beneficios o no de los manglares de este cuerpo de agua y otros de la ciudad señalaban que se habían convertido en equivalencias a “letrinas públicas, rellenos sanitarios, guarida de drogadictos y bandidos, oportunidades para invasores y otras cosas y que el manglar en el perímetro urbano se había convertido también en sinónimo de insalubridad y generador de muchos problemas ambientales⁵”.

Esta percepción se ha venido cambiando a propuestas como la de realización de podas técnicas y de este ecosistema, debido a las acciones de tutela contra el Distrito de Cartagena instauradas por parte de los grupos conservacionistas y ambientales en contra del Distrito de Cartagena. En la actualidad el Caño de Bazurto es objeto de la Acción Popular 2012 -00500-Tribunal Administrativo de Bolívar instaurada por vecinos del Callejón Dandy de Manga⁶ para su restablecimiento y las acciones comunales, siguen

⁵ <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/se-abre-el-debate-respecto-la-utilidad-de-los-manglares-de-manga-1>

⁶ Archivo Oficina Asesora Jurídica de EPA, 2015.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

promoviendo acciones políticas y con el gobierno local para obtener soluciones más armoniosas con el ambiente y el tema de caños y lagos se constituye como tópico priorizado de debate para ASOMANGA en el 2016.

Otro problema detectado por el equipo de campo EPA, es el estrangulamiento del flujo del cuerpo de agua, especialmente en la zona de los Puentes, afectando su calidad.

Consultados los moradores sobre las alternativas de solución que visualizan respondieron así:

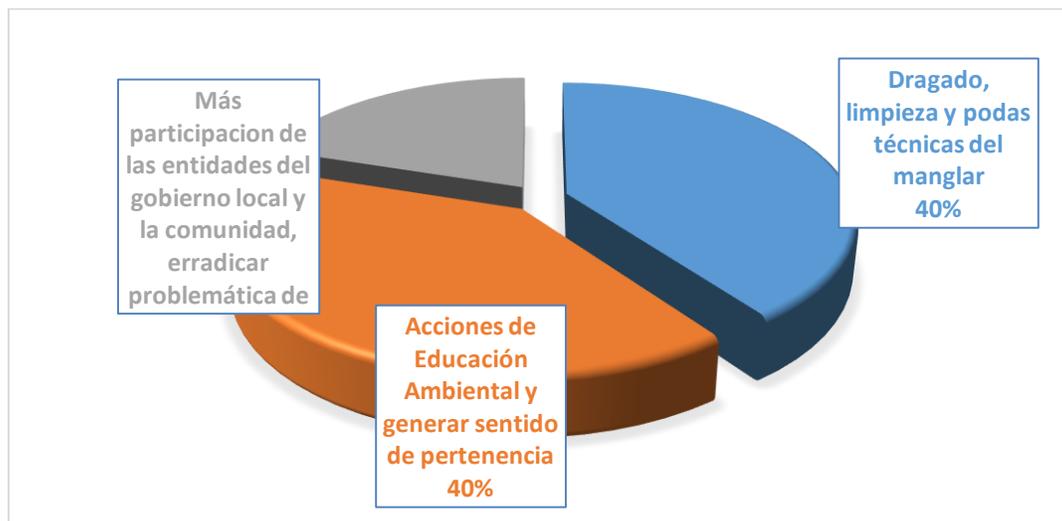


Figura 175. ¿Qué solución propone la comunidad vecina para la problemática ambiental?

Otras alternativas propuestas fueron en un 80% la erradicación de la problemática de habitante de calle y mayor control y vigilancia policiva a estos ecosistemas para protegerlos adecuadamente.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

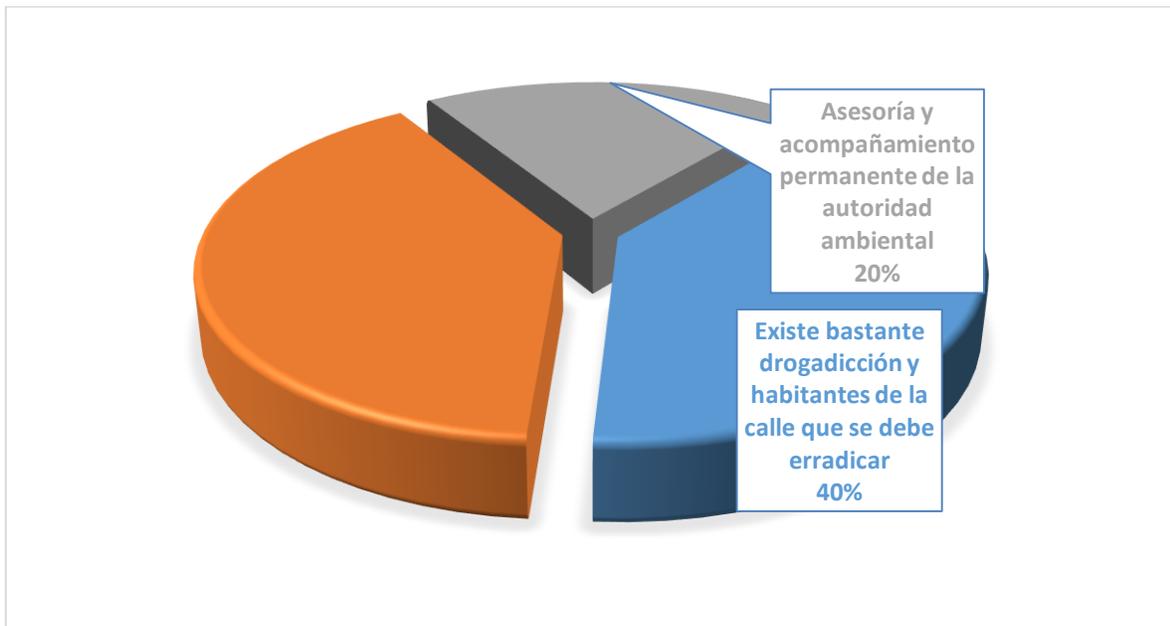


Figura 176. Otras alternativas de solución propuestas por la comunidad de caño Bazurto



Figura 177. Avanzadas interinstitucionales lideradas por EPA para la recuperación de este cuerpo de agua, limpiezas y desalojos de habitantes de calle 2015.

2.3.2.3. Actividades productivas

La mayoría de actividades productivas tienen asiento en la Avenida del Lago, donde confluyen una serie de empresas concesionarias de vehículos en su mayoría, talleres de autos y el Centro Comercial San Felipe.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



Figura 178. Actividades productivas Avenida del Lago adyacentes a Caño Bazurto

2.3.3. Laguna de San Lázaro

Este cuerpo de agua colinda con el barrio Manga, cuyos aspectos demográficos y de población han sido descritos anteriormente en este documento, una zona verde y de muralla colindante con Getsemaní y el Puente Román que une a Manga con el Centro Histórico.

2.3.3.1. Percepción comunitaria de la problemática ambiental

Los pobladores ubicados en la Avenida Alfonso Araujo cuentan con una zona verde de gran belleza paisajística y de avistamiento de aves en su zona de manglar por lo cual expresan que este cuerpo de agua ha venido siendo recuperado por el Distrito recientemente, por lo cual no manifiestan problemáticas ambientales graves. Sin embargo el EPA Cartagena cubrió la parte donde se realizan actividades productivas y realizó una serie de visitas para verificar la verdadera problemática ambiental generada a partir de la marina ubicada en la Avenida Marginal a este cuerpo de agua.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---



Figura 179. Avenida Alfonso Araujo de Manga paseo peatonal de Laguna San Lázaro y visuales del Puente Román.

2.3.3.2. Actividades productivas

En los operativos realizados en conjunto con la Secretaría del Interior, el Establecimiento Público Ambiental (Epa), la Policía Metropolitana de Cartagena, la Capitanía de Puerto, la Alcaldía Local, el Cuerpo de Bomberos y Edurbe se logró el inventario general y la suspensión de servicios que vienen prestando varios locales ubicados sobre la vía La Marginal de San Lázaro. Además, se les informó a los propietarios de las embarcaciones que se encuentran en la laguna que tienen plazos para retirarse de la zona.

Se revisaron cada uno de los establecimientos de comercio entre los cuales se destacan una Estación de Servicio, Locales de reparación de piezas de transporte marítimo y otros conexos, transformación de muebles, venta de vidrios, entre otros. Se hizo sellamiento preventivo a tres locales por no contar con la documentación requerida para poder funcionar. También se logró evidenciar que tienen manipulación de elementos altamente inflamables y que no tenían la certificación por parte de bomberos que les da la garantía de que las personas que trabajan en estos locales lo hacen de manera segura. Los cierres son medidas temporales para que restablezcan las condiciones adecuadas de sus negocios.

2.3.3.3. Invasión a propiedad pública

Cerca de 28 lanchas se encuentran atracadas en la laguna de San Lázaro diariamente, pero se les pidió desalojar la zona. Capitanía de Puerto, explicó a los propietarios de las

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

embarcaciones que están haciendo uso de terrenos públicos y fueron notificados del desalojo que tienen que hacer y ser restablecido por Edurbe. También se habló con las personas que se encontraron en el lugar y se les recomendó que efectuaran una asociación para que puedan hacer una solicitud ya como personas jurídicas y poder solicitar una concesión de este territorio marítimo o que lleguen a un acuerdo con Edurbe y lograr así un arriendo o la compra de estos terrenos.

Entre las embarcaciones encontradas se identificaron lanchas privadas, de uso turístico, bongos y dos barcasas. De igual forma se desarmaron los cambuches de personas habitantes de calle en la zona y de actividades informales.



Figura 180. Avanzada y operativo de control sobre establecimientos comerciales Vía Marginal Laguna de San Lázaro, octubre de 2015.

2.3.4. Laguna de Chambacú

2.3.4.1. Demografía y aspectos de población

En las áreas de influencia de este cuerpo de agua están los barrios Centro Sector Puerto Duro, Getsemaní, Pie del Cerro, Torices y Espinal correspondientes a la Localidad Histórica y del Caribe Norte, correspondientes a los estratos 4,3,2 y a las Unidades Comuneras de Gobierno 1 y 2, con una población de 36.131 personas, 6389 viviendas y una distribución por género de 18.654 mujeres y 17.477 hombres⁷. De acuerdo a encuestas realizadas en las zonas perimetrales al cuerpo de agua, el 60% de las familias tiene más de 20 años en promedio de estar ubicados en el sector.

⁷ Plan de Desarrollo Ahora Sí Cartagena 2013-2015. Caracterización del Distrito de Cartagena.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Las coberturas de los servicios públicos están cobijadas en un 95% para estos barrios en promedio.

2.3.4.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental

Indagados los moradores sobre las problemáticas ambientales que les afectan, argumentaron las siguientes:

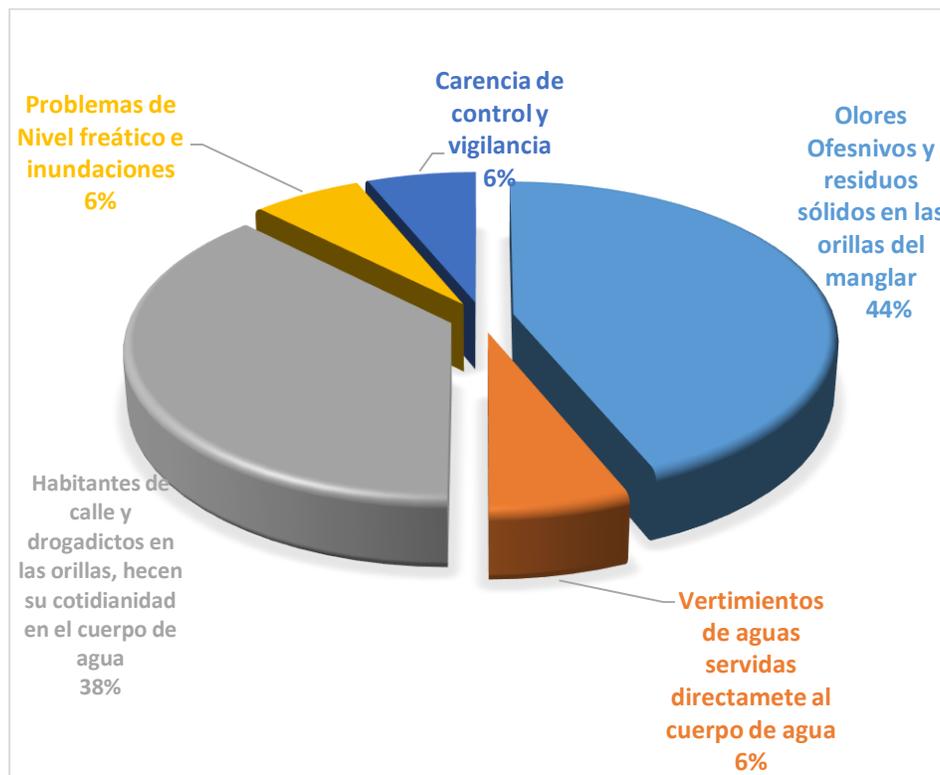


Figura 181. Problemática ambiental identificada por moradores, comerciantes y residentes de la laguna de Chambacú

Los habitantes de calle, los olores ofensivos y la inadecuada disposición de residuos sólidos en las orillas del cuerpo del agua son el 82% de la problemática ambiental que afecta la laguna.

El equipo técnico y profesional de EPA en el trabajo de campo pudo detectar también una serie de caballeras situadas detrás del Centro Comercial Mall plaza que empeoran las condiciones de la laguna de Chambacú.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

El uso de carruajes de tracción animal, ha estado históricamente muy arraigado y ligado a la idiosincrasia del cartagenero. En el pasado cuentan los mismos cocheros que algunas funerarias en Cartagena usaban este sistema como furgón mortuario, así como también en La desaparecida fábrica de hielo Lequerica, para la distribución y venta del producto en carretas de tracción animal, para hacer mudanzas u otras actividades laborales del día a día y por supuesto el icono más representativo de esta actividad de tracción animal en Cartagena, han sido los famosos “Paseos en Coches”, los cuales están vinculados a una tradición cultural y costumbre cartagenera, al punto de haberse convertido en una de las atracciones más promovidas al turista, así como una referencia en la nomenclatura del centro amurallado, como es la Plaza de los Coches y han sido casi eximidos de los decretos nacionales que ordenan sustituir los carros de tracción animal.

Sin embargo, las falencias encontradas en el control que las autoridades ejercen sobre la actividad, pone en tela de juicio tal exención toda vez que devela una debilidad enorme de Cartagena para situarse como una ciudad sostenible de acuerdo a los parámetros internacionales de competencia que demandan convivencia armónica con la naturaleza, los usos del territorio y en este caso la protección de un sistema que hace parte de la oferta hídrica natural de la ciudad.

Sobre la Umata recae la responsabilidad de control y vigilancia del cuidado de los caballos; el Dadis, debe velar por unas pesebreras en óptimas condiciones y el Datt, que debe ejercer control sobre la circulación y el buen estado de los coches. Estas entidades trabajan con los decretos 0647 de octubre de 2003, derogado por el Decreto 0656 2014, donde se modifican recorridos, zonas de parqueo y horarios de circulación que son de 5:00 p.m. a 12 p.m.

De acuerdo a las visitas técnicas de EPA y en conversaciones con los funcionarios encargados, estas caballerizas no reúnen las condiciones técnicas, sanitarias, ni locativas. En mesas de trabajo con el Dadis, se evidenció que se suspenden las actividades, pero a través de acciones tutela los cocheros se han defendido solicitando la reubicación y recursos para desempeñar su actividad que no es reconocida como productiva. Se tienen datos de 100 caballos formalmente inventariados y otros que se encuentran por fuera de este censo.

Los estercoleros de estas pesebreras, están ubicados en cercanía al cuerpo de agua, afectando y agravando la calidad de de la misma, a pesar de algunas soluciones que han dado organismos como el SENA, de la utilización de este material para elaboración y venta de abono orgánico.

También se evidenció que se ha formado un cordón de miseria e invasión de familias enteras, que han formado cambuches y que viven de los servicios que requieren los cocheros.



Figura 182. Zona de pesebreras en la laguna de Chambacú

Más allá de las normas, los vecinos y moradores expresaron que las autoridades deben hacer valer y exigir los derechos de las personas que viven aledañas a las pesebreras y que los cocheros no sigan afectando el entorno natural de la ciudad, ni con tarifas, horarios, rutas y abuso contra los caballos.

Enunciadas las alternativas de soluciones por parte de las personas aledañas al cuerpo de agua, enunciaron en su mayoría con un 44% aumento de la vigilancia y el control sobre este cuerpo de agua y actualizar el análisis del verdadero impacto ambiental que lo afecta para tomar las medidas que se requieran.

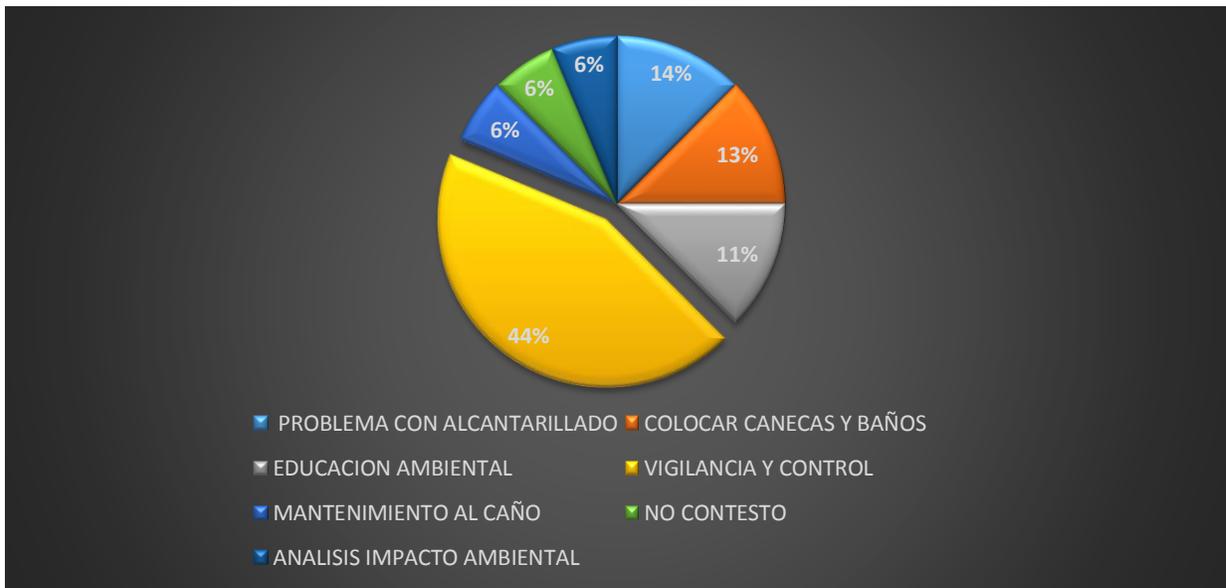


Figura 183. ¿Qué solución propone la comunidad?

2.3.4.3. Actividades productivas

La zona detectada con mayor actividad comercial está ubicada en Puerto Duro, donde confluyen todo tipo de locales comerciales y de servicios. Pero se evidencia que los puestos ambulatorios, de ventas estacionarias de comidas, bebidas y bolsas de agua, son las que más afectan a este cuerpo de agua, por la falta de condiciones técnicas, locativas y sanitarias con las que se realizan las mismas. Los residuos son arrojados indiscriminadamente por estos invasores del espacio público a las zona de manglar y orillas del cuerpo de agua.

A pesar de que en el baluarte ubicado en este cuerpo de agua existe servicio de baños públicos, a veces no está abierto al público y las personas encuestadas se quejaron de los precios del servicio.

2.3.5. Laguna del Cabrero

2.3.5.1. Demografía y aspectos de poblacion

Adyacentes a este cuerpo de agua se encuentran los barrios El Cabrero, Marbella, Centro, Pie del Cerro y Torices, pertenecientes a la Localidad Histórica y del Caribe Norte,

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

correspondientes al estrato 5, 4, 3 y 2 y a las Unidades Comuneras de Gobierno 1 y 2, respectivamente, con una población en sus áreas de influencia de 31.101 personas, 6.339 viviendas y una distribución por género de 16.184 mujeres y 14.917 hombres⁸.

Las coberturas de los servicios públicos están cobijadas en un 99% para estos barrios.

2.3.5.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental.

De acuerdo a encuestas realizadas en las zonas perimetrales al cuerpo de agua, el 47% de las familias opinaron que debe empezarse la realización de acciones de recuperación de este cuerpo de agua y un gran porcentaje de población argumentó que la laguna está actualmente contaminada por los desarrollos de los cuales es objeto y por arrojo de residuos de otros barrios y sectores que no son los adyacentes a la misma.

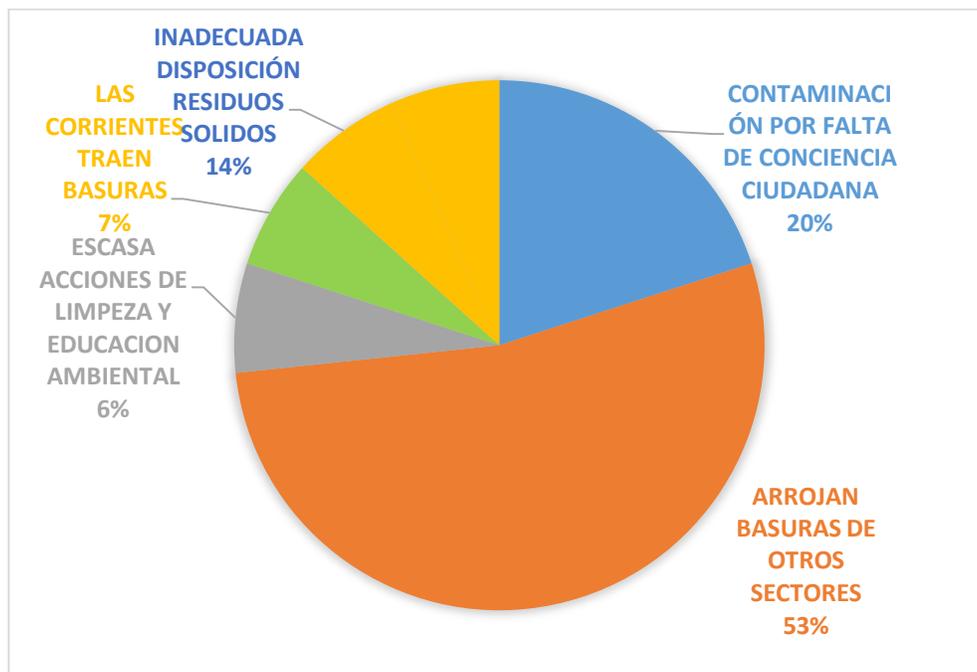


Figura 184. Cuáles son las Problemáticas ambientales de la laguna del Cabrero?

En los recorridos del personal de campo de EPA, se logró evidenciar que los vendedores estacionarios asentados en los paraderos de buses del Centro Histórico, en la margen

⁸ Ibidem.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

derecha de la bajada del Puente Chabacú, utilizan este cuerpo de agua como solución sanitaria de sus necesidades fisiológicas y arrojan frecuentemente los residuos sólidos sin control alguno y estos por efecto del viento son arrastrados hasta la zona de manglar del mismo, quedando atrapados, sedimentándose y causando otros impactos negativos a especies de fauna y flora propias de este ecosistema.

Otro de los graves problemas identificados es el estrangulamiento y el impacto por contaminación de origen antrópico de la laguna, a la altura del Sector la Unión del barrio Torices, por un proceso de invasión acelerado en los últimos 10 años que ha traído la generación de un cordón de pobreza a la orilla de este cuerpo de agua, con las consecuentes condiciones de insalubridad de la población que lo habita y por ende el detrimento directo de su calidad de vida.



Figura 185. Sector la Unión de Torices, octubre de 2015

De acuerdo a estadísticas del Dadis, a mayor contaminación de un cuerpo de agua, se observa mayor incidencia de enfermedades de origen hídrico como el EDA, IRA, Dengue y enfermedades de la piel del tipo de dermatosis, por lo que esta entidad apoyó a EPA en las avanzadas interinstitucionales que se hicieron en las áreas de influencia de los cuerpos de agua y en el control de vectores de enfermedades.

Como dato paradójico del proceder cultural, el equipo de campo de EPA identificó que aunque la comunidad detecta la contaminación del cuerpo de agua como la causa de las enfermedades, se percibe una baja capacidad y propensión a mejorar la actitud frente al manejo de sus residuos sólidos y su adecuada disposición.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

Dentro de las alternativas que los residentes y moradores proponen para mejorar las condiciones ambientales actuales se presentan las siguientes.

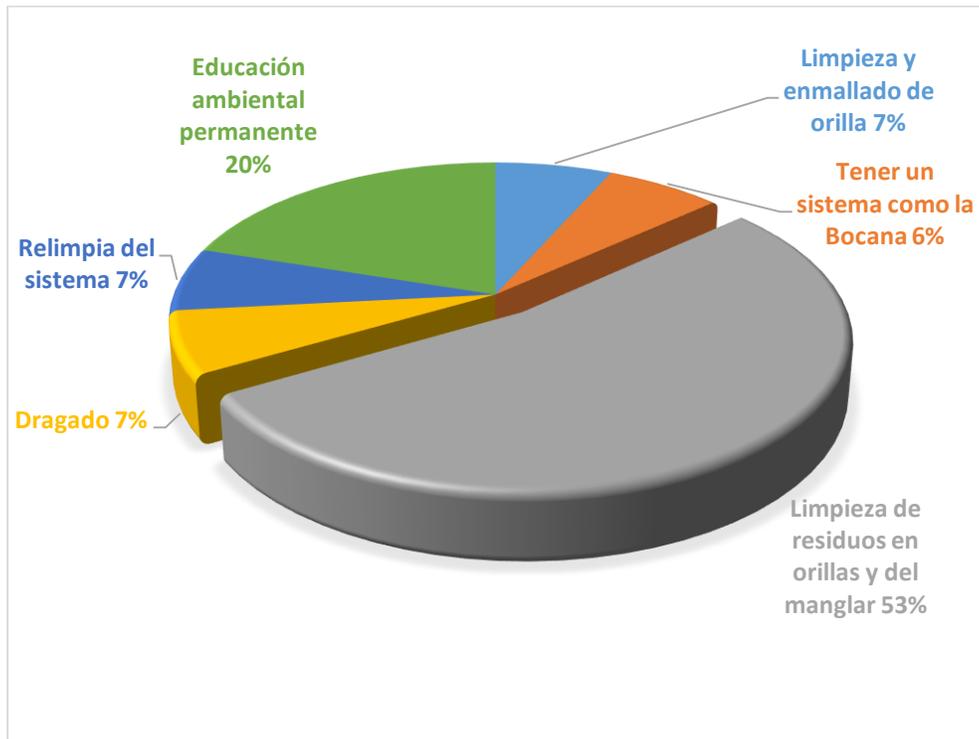


Figura 186. ¿Qué soluciones propone la comunidad de la laguna del cabrero?

El 73% de la población opinó que deben adelantarse acciones de recuperación y limpieza de orillas, articuladas a una educación ambiental permanente de las comunidades. El 67% de las encuestas realizadas al sector comercial y productivo arrojó que se debe aumentar el control policivo y la vigilancia de este cuerpo de agua.

2.3.5.3. Actividades productivas

Además de las ventas estacionarias y ambulantes identificadas a la bajada del puente de Chambacú, se observa adyacente a este espejo de agua, talleres automotrices, moteles, tiendas, locales comerciales, academia de baile, tiendas de víveres y abarrotes, parqueaderos y chatarrerías, que de una u otra manera impactan de manera cotidiana con sus actividades, la franja de protección de este cuerpo de agua,

Igualmente, la margen derecha a la altura del barrio Marbella es objeto de desarrollos urbanísticos, del sector de la construcción, evidenciándose su ubicación encima de la ronda hídrica de la laguna.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

2.3.6. Caño Juan Angola

2.3.6.1. Demografía y aspectos de población

Se encuentra rodeado por el barrio Crespo en su margen derecha, y en la margen izquierda por los barrios Torices, San Pedro y Libertad, Canapote, Sector Crespito, Daniel Lemaître, Siete de Agosto, Santa María y San Francisco.

Los barrios que rodean este ecosistema son parte de la Localidad Histórica y del Caribe Norte, que poseen estratos que van desde el 5,3,2, y 1 , y a las Unidades Comunerías de Gobierno 1,2,3, con una población de 95.943 personas, 15.712 viviendas y una distribución por género de 49.321 mujeres y 46.622 hombres⁹.

2.3.6.2. Percepción comunitaria de la problemática ambiental

Durante años e históricamente este cuerpo de agua se ha caracterizado porque los asentamiento humanos instalados en su margen izquierda se consideran sectores vulnerables, estigmatizados por verter aguas residuales y desechos humanos, lo rellenan constantemente con escombros para aumentar las áreas de sus predios y le están arrojando continuamente todo tipo de residuos sólidos.

En la actualidad el Caño de Juan Angola fue objeto de intervención de su cauce por la construcción de estanques o criaderos de sábalos y desarrollo ilegal de la actividad productiva sin las condiciones técnicas, higiénicas, ni los permisos requeridos por lo que el EPA, suspendió de manera definitiva las actividades e hizo la recuperación ambiental de la zona con apoyo de la alcaldía local.

La comunidad aledaña al caño cuenta históricamente sus luchas por convivir en armonía con este cuerpo de agua, argumentaron en las visitas, encuestas realizadas y mesas de trabajo, que la problemática ambiental de contaminación es causada por personas ajenas a la comunidad, básicamente de otros sectores más interiores de los barrios y aquellos más retirados e incluso de las faldas de la popa, que no valoran el entorno natural del mismo, por lo cual se han organizado a través de sus juntas de acción comunal, para realizar jornadas de limpieza, recolección de inservibles, cierre de basureros satélites, incremento de los controles policivos y otras actividades de educación ambiental como lo manifiestan sus líderes del Sector Crespito, el Señor Martín Menco y Pablo Mendivil del

⁹ Plan de Desarrollo Ahora Sí Cartagena 2013-2015. Caracterización del Distrito de Cartagena y SISBEN 2013.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

barrio Siete de Agosto. Esto con apoyo de las instituciones educativas oficiales del área de influencia y fundaciones como Actuar por Bolívar y Planeta Azul.

Igualmente mencionaron que han gestionado apoyos para la atención de problemas relacionados con la sedimentación que tiene actualmente el caño producto de disposición inadecuada de residuos, por los múltiples puntos de descarga de canales pluviales de algunas calles que tiene pendiente dispuesta al caño, sumado a lo que viene de escorrentías de las faldas del Cerro de la popa y las descargas de la Estación de Bombeo Oro de la empresa Aguas de Cartagena que agrava sus condiciones, y también en aras de prevenir inundaciones.

Consultados los pobladores acerca de las problemáticas ambientales con relación al cuerpo de agua manifestaron en un 72% que los escombros, basureros satélites y residuos sólidos en la zona de manglar son el problema más sentido.

Algunos mencionaron la problemática relacionada con los terrenos colindantes a la Pista de aterrizaje del Aeropuerto Rafael Nuñez, SACSA, así como los procesos de rectificación del caño, por parte de las autoridades ambientales y los escasos apoyos obtenidos por parte del aeropuerto en cuanto a responsabilidad social con respecto a las áreas de influencia, esto último expresado por los líderes de San Francisco y Siete de Agosto.

En la Figura 187 siguiente se observan otros aspectos que la población considera como parte de la problemática que afecta el Caño Juan Angola.

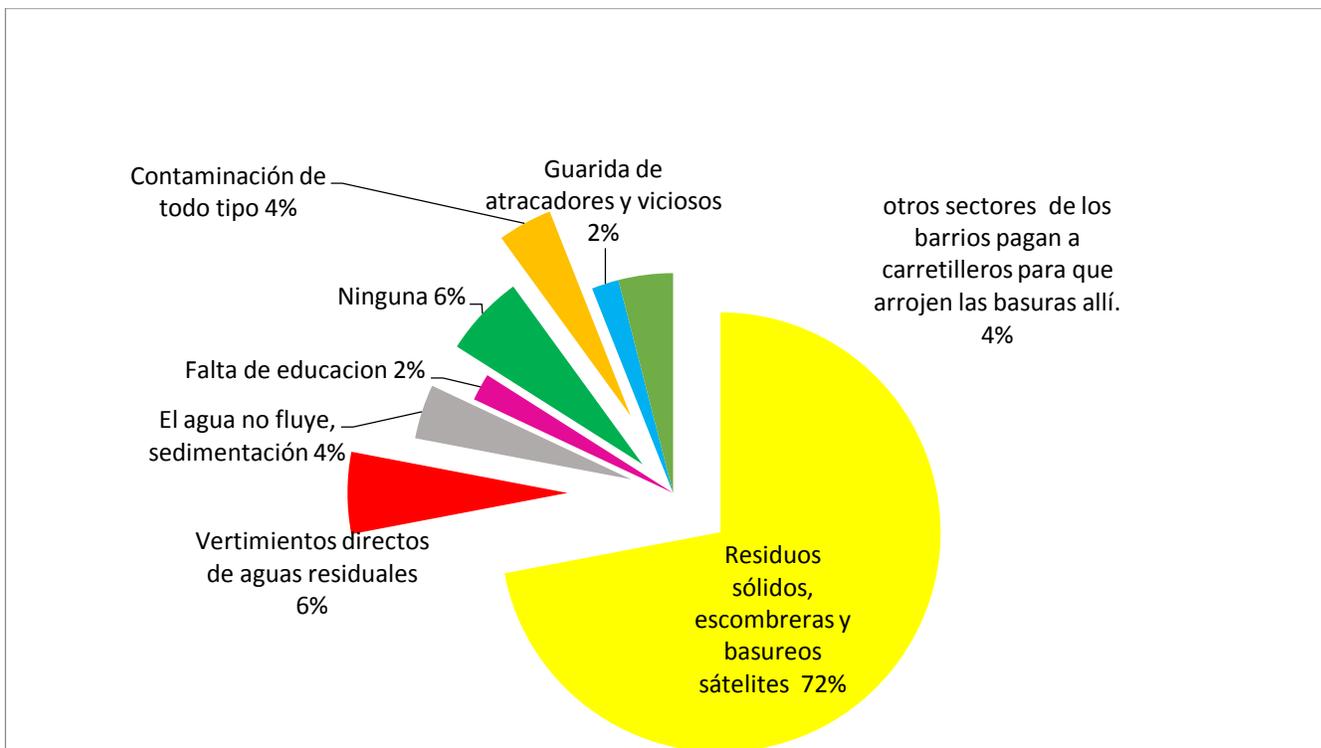


Figura 187. Cuáles son las principales problemáticas ambientales del Caño Juan Angola

Las acciones de respuesta a tales problemas se evidencian en las opiniones registradas en la Figura 188.

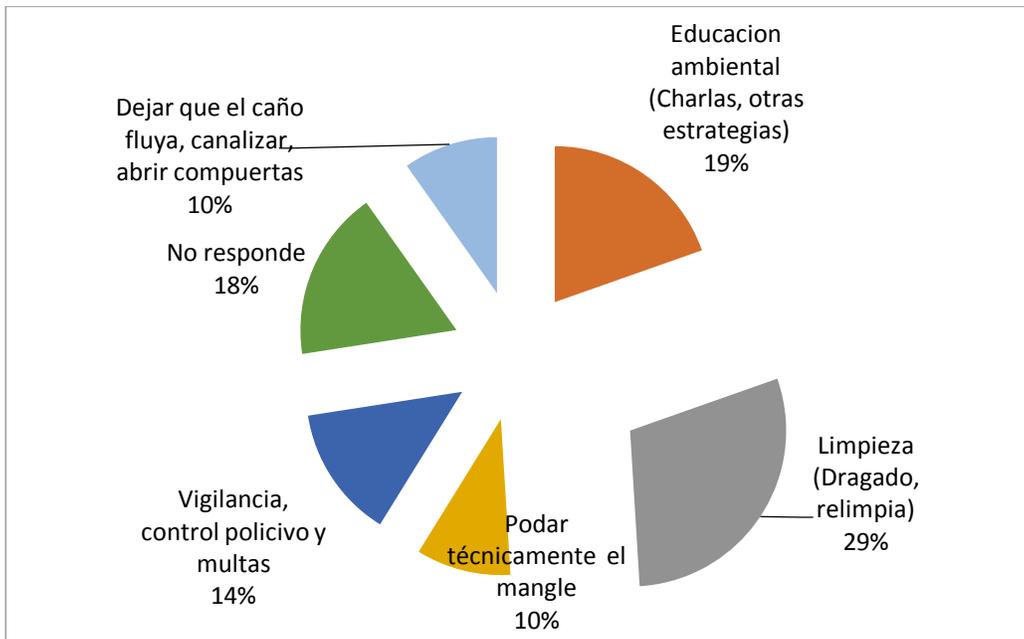


Figura 188. Propuestas o alternativas de solución comunidad del Caño Juan Angola

Un porcentaje alto de población solicita acciones de relimpia del cuerpo de agua con un 29%, seguida por acciones de educación ambiental en un 19%.

2.3.6.3. Actividades productivas

Las actividades productivas se desarrollan sobre la Avenida Santander en el barrio Crespo, donde se evidencia una problemática ambiental recurrente de contaminación por residuos a la altura de Surtimax. En esta margen se tienen restaurantes, pizzerías, academias de bailes, tiendas parqueaderos del tránsito, zona de caballerizas de la actividad cochera, zona de amortización, estaciones de servicio, restaurantes, ferreterías, estanco de licores, peluquerías, viveros, lavanderías y otros locales comerciales.

En la margen izquierda del caño se encuentran algunos comercios de comidas rápidas, talleres automotriz, ventas ambulantes de fritos y almuerzos, disco bar, concesionario, tiendas y salas de juego.

Todos estos establecimientos comerciales colindan y ejercen presión sobre el recurso hídrico del caño Juan Angola, en el ejercicio de sus actividades productivas y cadenas de servicio.

3. RELACIONES ENTRE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS Y LOS COMPONENTES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS QUE SE ENCUENTRAN EN SU ÁREA DE INFLUENCIA

3.2. RELACIONES ENTRE EL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS INTERNOS Y LOS COMPONENTES BIOFÍSICOS Y SOCIOECONÓMICOS.

Una vez descritos los componentes biofísicos y socioeconómicos que hacen parte del área de influencia del sistema de caños y lagos, se procedió a identificar y analizar los procesos o relaciones de interdependencia que existen entre ellos y el sistema de caños, y que se deben garantizar para que el ecosistema funcione adecuadamente. Dichas relaciones fueron identificadas al confrontar, en un panel de expertos, los componentes biofísicos y socioeconómicos frente al sistema de caños y lagos, obteniendo así las siete relaciones que se muestran en la Figura 189 y Tabla 47. Seguidamente son descritas y analizadas cada una de ellas.



Figura 189. Esquema de Relaciones de interdependencia entre el Sistema de Caños y lagos internos y los componentes biofísicos del área de influencia.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Tabla 47. Relaciones de interdependencia de los componentes ambientales que conforman el ecosistema.

Puntos de relaciones o de flujos.	Componentes que intervienen en la relación	Tipo de Relación
RBF-01	Relación Bahía Interna con Laguna de San Lazaron y Ciénaga de las Quintas	Control hidrodinámico
		Condicionamiento de la calidad del agua.
RBF -02	Relación escorrentía de las cuencas que drenan al sistema de caños y lagos y el sistema de caños y lagos.	Control de niveles del sistema de caños y lagos.
		Variación de la Calidad del Agua de la ciénaga.
		Aporte de Sedimentos.
RBF -03	Relación Manglar con el sistema de caños y lagos.	Filtro de nutrientes, sedimentos y humedad del suelo
		Regulador de la escorrentía.
RBF -04	Relación ciénaga de la Virgen con Sistema de caños y lagos	Condicionamiento de la calidad del agua.
		Control hidrodinámico
RBF -05	Relación vegetación de las cuencas que drenan a los caños y lagos y el sistema de caños y lagos.	Filtro de nutrientes, sedimentos y humedad del suelo.
		Regulador de la escorrentía.
		Corredores Biológicos.
RBF -06	Relación Condiciones Climáticas con el suelo y el ecosistema.	Control de caudales de escorrentía.
		Proveedor de energía y agua al ecosistema.
RSE-01	Prácticas socioeconómicas – Sistema de Caños y Lagos.	Disposición de Residuos sólidos.
		Invasión de zona de rondas hídricas.
		Vertimiento de aguas residuales.
		Aporte de Servicios ambientales (Paisaje).

3.2.1. Relación Bahía Interna con Laguna de San Lazaron y Ciénaga de las Quintas (R-01)

La relación que tiene la Bahía interna con el sistema de caños y lagos internos, consiste en el condicionamiento mutuo de sus características hidronómicas y de calidad fisicoquímica de sus aguas. Este condicionamiento se da por la conexión que existe entre estos cuerpos de agua en dos puntos específicos. La primera se da entre la Bahía interna y la laguna de San Lázaro en el Puente Román y la segunda entre la misma Bahía y la ciénaga de las Quintas en el puente Bazurto. (Ver Figura 190).

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---



Figura 190. Conexiones de la Bahía de Interna con el Sistema de Caños y Lagos internos.

A continuación se analiza la influencia hidrodinámica y de calidad del agua entre estos sistemas.

3.2.1.1. Influencia de la Bahía Interna sobre las características hidrodinámicas del sistema de caños y lagos internos.

Desde el punto de vista hidrodinámico, la influencia que tiene bahía Interna sobre el sistema de caños y lagos está relacionada con las proyecciones de ascenso del nivel del mar realizadas en el estudio Adaptación Costera al Ascenso del Nivel del Mar, realizado por INVEMAR en Abril del 2008, como parte del compromiso adquirido en atención del mandato de la Segunda Conferencia Ambiental y de Desarrollo (Second United Nations Conference on Environment and Development, UNCED-2) llevada a cabo en Junio de 1992; de la Convención de Diversidad Biológica (CBD) en el Mandato de Jakarta (1995) y

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) .

Dicho estudio permitió identificar una tendencia de aumento del nivel medio del mar en las costas colombianas de hasta 10 cm, a partir de un análisis con series de tiempo de 53 años de registro (1941 hasta 1994), tomados en las estaciones mareográficas de Cartagena y Buenaventura, así como el análisis de datos proveniente de estaciones ubicadas en Panamá. (INVEMAR, 2008).

Si esta tendencia aumentara hacia el futuro, se presume que la inundación en las costas bajas en Colombia será extensiva y que este efecto se presentará paralelamente a la intensificación de la erosión de terrenos susceptibles; El área aproximada de inundación en el Caribe continental sería de 4900 km² y el Pacífico continental de 6400 km². (INVEMAR, 2008).

Con el fin de analizar el impacto de un eventual ascenso del nivel del mar, el estudio mencionado simuló dos escenarios de inundación uno Leve y otro Fuerte.

En el caso de un nivel de inundación Leve el impacto estaría ocasionado por la pérdida de playas y efectos sobre los ecosistemas costeros. En este escenario ascendería el nivel de la ciénaga de la virgen y del sistema de caños y lagos, ampliando sus espejos de agua hacia las zonas occidentales y sur de la ciénaga de la Virgen (Ver Figura 192).

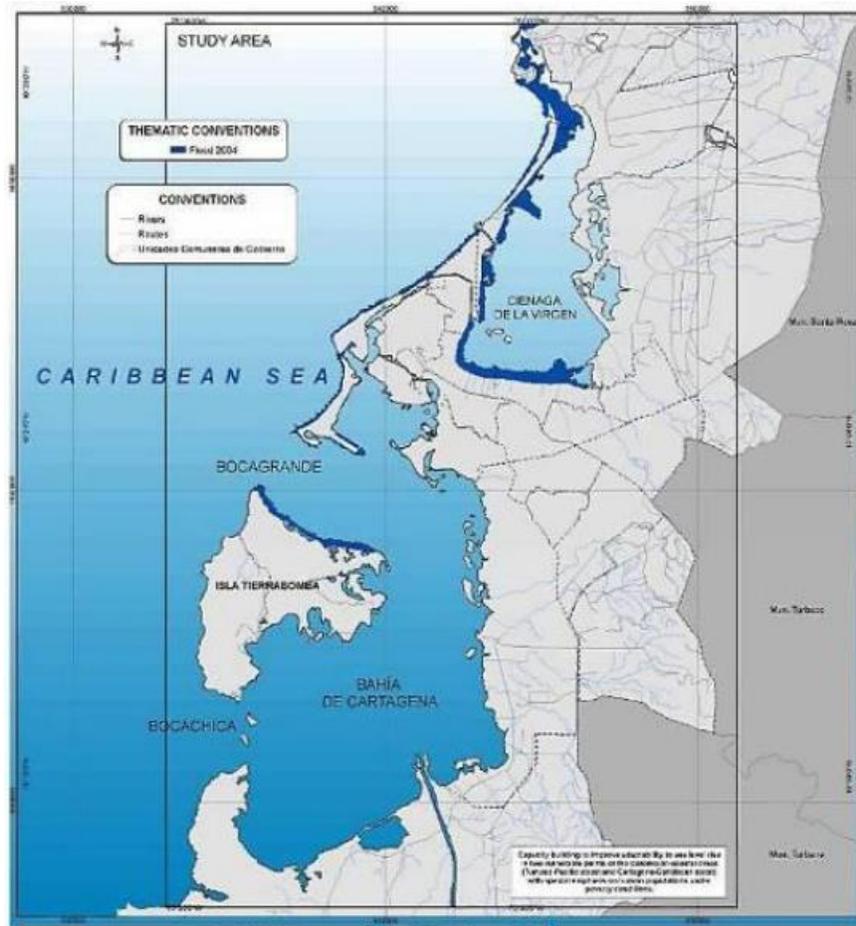


Figura 191. Cartagena. Inundación leve área de estudio. Este nivel de inundación corresponde a la unión del mapa elaborado por los expertos asistentes al seminario-taller ¿Cómo nos afecta el acelerado ascenso del nivel del mar?, el mapa de riesgos incluido en el POT, análisis de fotos satelitales y supone inundación de las áreas de manglar. INVEMAR, 2008.

Como resultado de un escenario de inundación fuerte, el nivel de la ciénaga de la Virgen y del sistema de caños y lagos internos aumentaría aún más, expidiendo sus espejos de agua hasta el punto de afectar la zona urbana localizada al sur oriental de la ciénaga de la Virgen y los alrededores de la ciénagas de las Quintas y Caño Bazaruto. (Ver Figura 193).

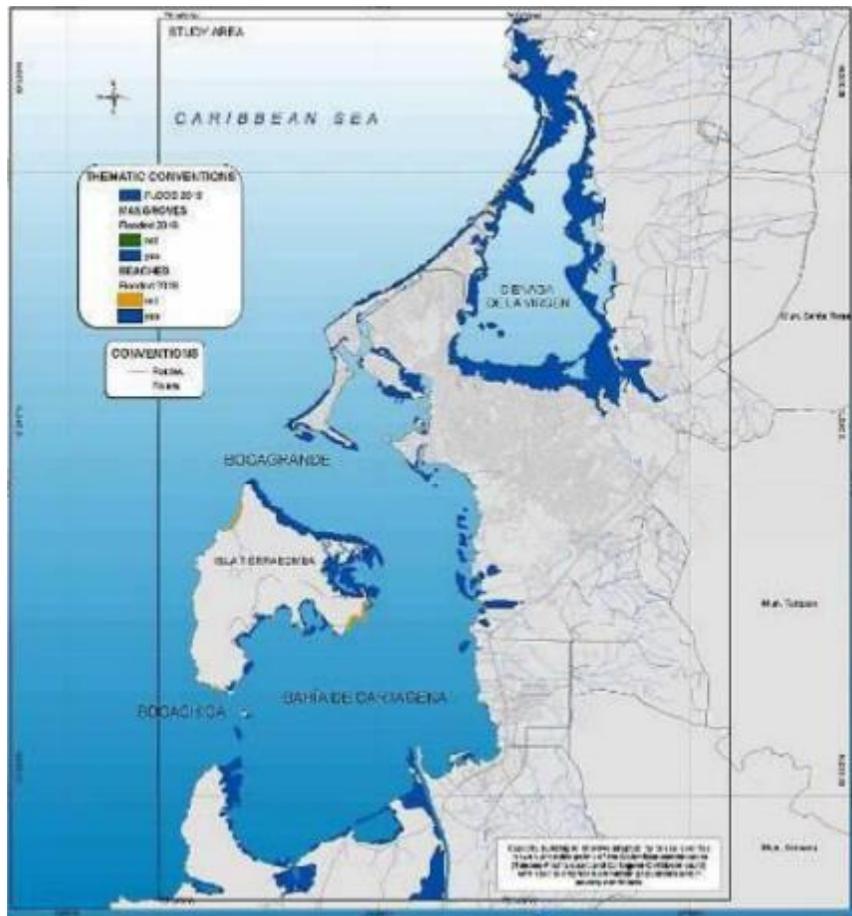


Figura 192. Cartagena. Playas y manglares inundados. INVEMAR, 2008

3.2.1.2. Influencia de la Bahía Interna sobre las características fisicoquímicas del agua del sistema de caños y lagos.

Las conexiones existentes que se muestran en la Figura 190 generan un impacto positivo sobre la calidad del agua del sistema de Caños y lagos internos y en especial sobre la Laguna de San Lazaro y la ciénaga de las Quintas.

Como resultado de las mediciones de calidad de agua de este proyecto, fue posible determinar el comportamiento de oxígeno disuelto durante 24 h en el sistema de caños y lagos internos. Como resultado se pudo notar que la variación de oxígeno en las conexiones (ver estaciones 15 y 10 de la Figura 193) no obtuvo, en ningún momento del día, valores menores de 5 mg/l, lo que denota una buena calidad del agua; mientras que en otros puntos localizados al interior del sistema de caños y lagos (ver estaciones 2 y 6 de la Figura 193), obtuvo valores muy malos de hasta 0,4 m/l.

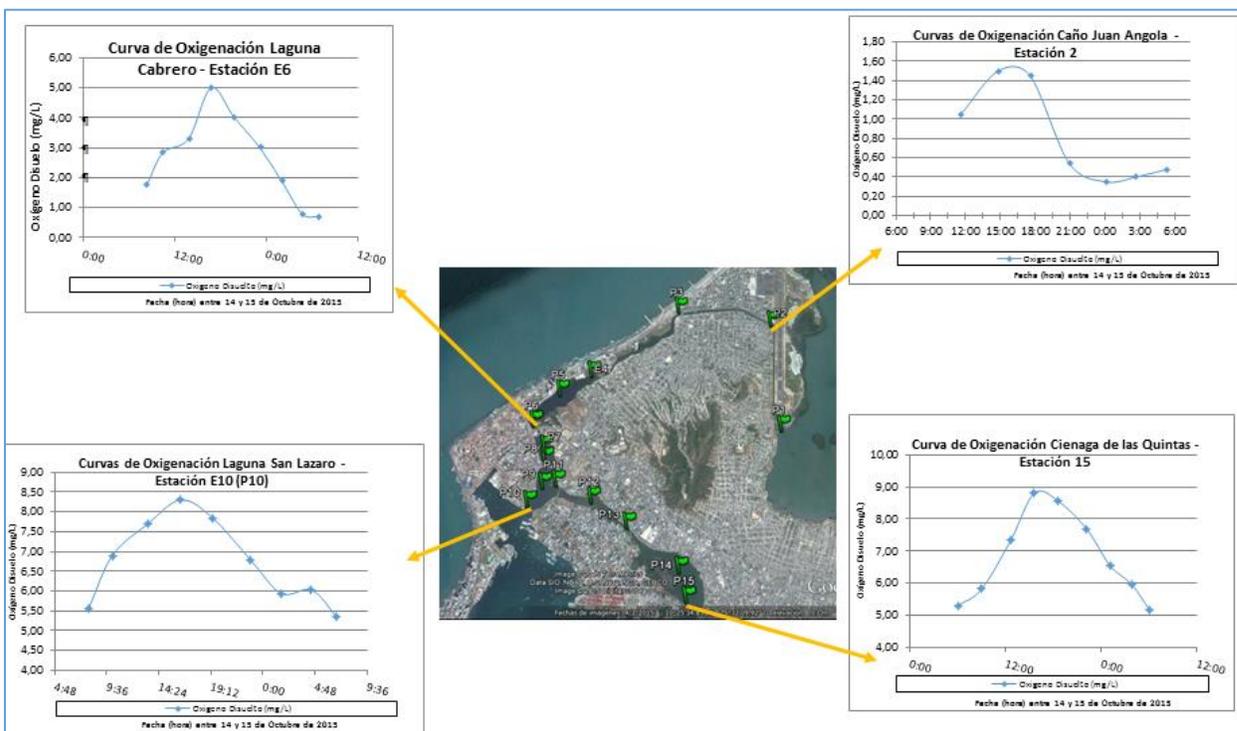


Figura 193. Variación del Oxígeno Disuelto en Varios puntos del sistema de Caños y lagos internos.

Este comportamiento exige potenciar el intercambio de agua entre la Bahía de Interna últimos.

Además de la Bahía Interna, existe otro elemento que no está dentro del entorno que rodea al sistema de Caños y Lagos internos, pero que es importante mencionar debido a la influencia indirecta que ejerce sobre la calidad de estos cuerpos de agua; se trata del Canal del Dique. Este cuerpo de agua se considera como la principal fuente de contaminación en la Bahía de Cartagena. Las actividades antrópicas que se desarrollan en su cuenca hidrográfica transportan grandes cantidades de Sedimentos y de metales pesados que terminan depositándose en la bahía de Cartagena. Estos sedimentos son arrastrados por las corrientes y en algunos casos son transportados hasta las conexiones 3 y 4 (ver Figura 190). La evidencia se da por la presencia de vegetación flotante proveniente del canal del Dique que se ha encontrado en dichas conexiones.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

3.2.2. Relación escorrentía de las cuencas hidrográficas que drenan al sistema de caños y lagos y el sistema de caños y lagos (R-02)

El sistema de caños y lagos presenta tres relaciones con las escorrentías de las cuencas hidrográficas que drenan hacia él. La primera consiste en el condicionamiento hidrodinámico, la segunda en la alteración de la calidad de sus aguas, y la tercera en el aporte de sedimentos.

3.2.2.1. Condicionamiento hidrodinámico.

Como ya se ha mencionado, sobre el sistema de Caños y Lagos internos de la Ciudad de Cartagena drenan 15 cuencas hidrográficas (Tabla 18) que en épocas de lluvia introducen caudales de agua representativos que influyen en la variación de los niveles del sistema provocando en algunos casos inundaciones en las zonas aledañas.

Con el propósito de determinar los niveles de inundación que se presentan en las zonas aledañas al sistema de caños y lagos por causa de los caudales de escorrentía que drenan hacia ellos, el presente estudio realizó el análisis que se presenta a continuación y donde se hizo una delimitación de la zonas de inundación del sistema de caños y lagos.

Partiendo de las relaciones ya determinadas en la sección de metodología (Tomo 0), puede conocerse el comportamiento del cuerpo de agua para una condición dada. En este caso las condiciones son: (a) los aportes por escorrentía realizados por las cuencas del mismo sistema en eventos extremos para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años y (b) nivel promedio de los cuerpos de agua. Al establecer la cota de nivel de agua –nuestro punto de partida para la determinación de las zonas inundables– puede determinarse el volumen que almacena el sistema para luego sumar los volúmenes aportados por las cuencas en las condiciones previamente mencionadas; y, finalmente, determinar las cotas de inundación en el sentido inverso al cálculo de los volúmenes. En la Tabla 48 pueden observarse los resultados de la modelación propuesta.

Tabla 48. Resumen de los niveles de agua modelados Tr 25, 50 y 100 años

Cota nivel promedio	0,48	msnm
Volumen nivel promedio	2.575.966,73	m ³
Cota nivel Tr 100	1,23	msnm
Volumen Tr 100	3.889.143,32	m ³
Cota nivel Tr 50	1,15	msnm
Volumen Tr 50	3.721.108,42	m ³
Cota nivel Tr 25	1,07	msnm
Volumen Tr 25	3.554.180,51	m ³

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Conocidas las cotas de inundación para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, se determinan las zonas inundadas con ayuda del *MDE*, de manera que se identifiquen las cotas y las áreas adyacentes al cuerpo de agua que se encuentren a una cota inferior de la inundada. La Figura 1 muestra cómo todas las zonas aledañas al sistema de caños, lagunas y lagos de la ciudad de Cartagena son potencialmente inundables, en menor o mayor grado, para los 3 periodos de retorno evaluados, en donde: (a) azul claro denota los cuerpos de agua a nivel normal promedio, (b) azul oscuro es el nivel del agua para *Tr* 25 años, (c) amarillo es el nivel del agua para *Tr* 50 años y (d) rojo es el nivel del agua para *Tr* 100 años. La zona del Cabrero y Marbella es la más crítica debido a que son áreas bajas, casi al mismo nivel del mar. Las áreas de ocupación ilegal (invasiones) localizadas a lo largo del caño Juan Angola son las más vulnerables a la amenaza de inundación para los eventos de precipitación modelados. El área de la ciénaga de La Virgen no hizo parte de este análisis. Deberá estar incluida (la ciénaga) cuando se realice un análisis de toda la ciudad con el fin de diseñar, construir y operar un sistema de alerta temprana por inundación.

Los mapas de zonas de inundación fueron desarrollados con base en la topografía disponible, la cual no es la recomendable para este tipo de análisis. Más adelante se listara una serie de insumos necesarios para mejorar este mapa propuesto. (Ver Figura 194).

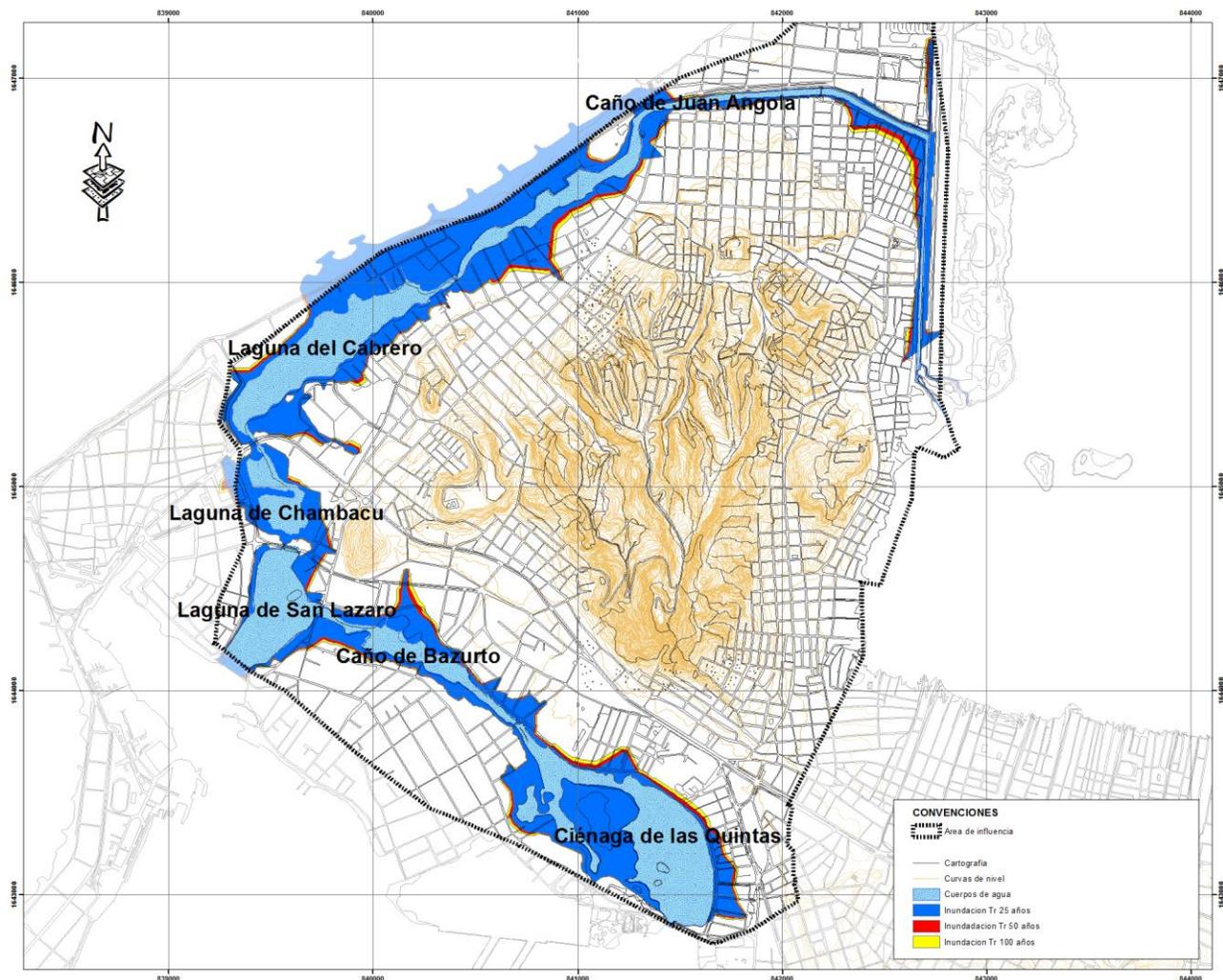


Figura 194. Delineamiento de las zonas inundables para Tr 25, 50 y 100 años

3.2.2.2. Alteración de la Calidad del Recurso hídrico.

Las escorrentías de las cuencas que drenan al sistema de caños y lagos también tienen influencia sobre la calidad de sus aguas, ya que las prácticas urbanas que se realizan en sus territorios y en las que predomina el uso residencial, son fuente de contaminación debido al aporte de residuos y vertimientos provenientes de las inadecuadas prácticas domiciliarias.

3.2.2.3. Aporte de Sedimentos.

El sistema de caños y lagos internos también es receptor de las consecuencias que se derivan del fenómeno de invasión y deforestación del que ha sido testigo el Cerro de la

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Popa durante muchos años. La pérdida de cobertura vegetal que ha presentado este cerro, ha ocasionado que sus suelos se deterioren y sean más propensos a sufrir procesos de erosión. De esta forma se generan sedimentos que en épocas de lluvia son arrastrados por las escorrentías hasta depositarse, en su gran mayoría, en el sistema de Caños y Lagos.

Según (EPA, 2008-2011) las causas de los problemas de erosión en el Cerro se deben a la invasión de laderas y explanación en áreas en pendiente, intensa lluvia y escorrentía, deforestación del lugar con el objeto de conseguir madera, tránsito de pastoreo de animales.

(Calvo & García, 2013) Sustentan que “el cerro de la popa se ha convertido en un lugar vulnerable a las geoamenazas, debido a sus condiciones geomorfológicas, características litológicas (erodabilidad de los materiales) e intensas lluvias en invierno, así como a la tala en extensas zonas y quema de basuras”.

La acción combinada de la fuerza de gravedad y las corrientes de agua de tipo torrencial, provocan el arrastre de sedimentos desde el cerro la popa a los caños y lagos internos de la ciudad ocasionando represamientos y colmatación en los cauces. Los drenajes pluviales naturales y construidos del cerro de la popa, provocan un mayor deterioro a los cuerpos de agua interiores.

De acuerdo a (Pérez & Reyes, 2003) el cerro de la popa está conformado litológicamente por rocas sedimentarias del terciario presenta un fenómeno de desequilibrio en sus procesos erosivos naturales acelerados por la acción del hombre que ha invadido indiscriminadamente las faldas del mismo; asentamientos humanos que conllevan a la deforestación que dejan las laderas indefensas, poniendo en peligro su estabilidad.

Algunas de las causas de ésta problemática expuestas en el estudio de Macroproyecto Integral del cerro de la Popa son que “los sedimentos se acumulan en los canales por la deforestación de sus laderas (causada por la intervención antropogénica) de las cuencas aportantes a los mismos, por la escorrentía superficial que arrastra material, y por la urbanización de zonas que funcionaban como amortiguadoras de los canales, incluyendo sus rondas de protección; provocando así que el cerro de la Popa sea susceptible a problemas de remoción de taludes y movimientos en masa antrópica” (Grupo de Estudios Urbanos, 2010).

La calidad ambiental del sistema de caños y lagos internos se ve afectada en gran medida por los problemas que se presentan en época seca en el cerro de La Popa, como son la pérdida de la cobertura vegetal y la formación de grietas en terrenos con predominio de arcillas expansivas. El desarrollo de la geoforma es favorecido por el carácter friable de las rocas de la Unidad Detrítica de La Popa y a la carencia de vegetación en el sector. Es muy característico en Cartagena, al llegar la época invernal, la escorrentía superficial localmente se concentra por las grietas, y forman surcos y cárcavas por donde se transporta el sedimento que va acumularse a manera de

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

“playones” más abajo para finalmente depositarse a los bordes o caños y lagos internos (INGEOMINAS, 2001).

(Doria & Mondol, 2003) plantean que “el deterioro de los suelos por la erosión y el movimiento incontrolado de tierra afecta significativamente el sistema de alcantarillado de la ciudad el cual al obstruirse contaminan los caños y lagos internos, vías y viviendas generando graves daños, olores nauseabundos, afectando la ecología y colmatando los sistemas por el alto contenido de arrastre de sólidos”.

En las unidades prominentes (principalmente en colinas y lomas), se destaca la actividad antrópica acentuada, que es en una de las mayores causas de los fenómenos de inestabilidad en las laderas. Son notables los escarpes hechos por los pobladores en las laderas del cerro de La Popa para acondicionar el terreno para viviendas, acentuando los procesos erosivos en especial en el sector oriental del cerro, lo que desencadena fenómenos de remoción en masa (derrumbes, volcamiento, reptación, deslizamientos), facilitados por la erodabilidad de las rocas aflorantes en la base del mismo (Grupo de Estudios Urbanos, 2010). (Ver Figura 195, puntos A, B y C)

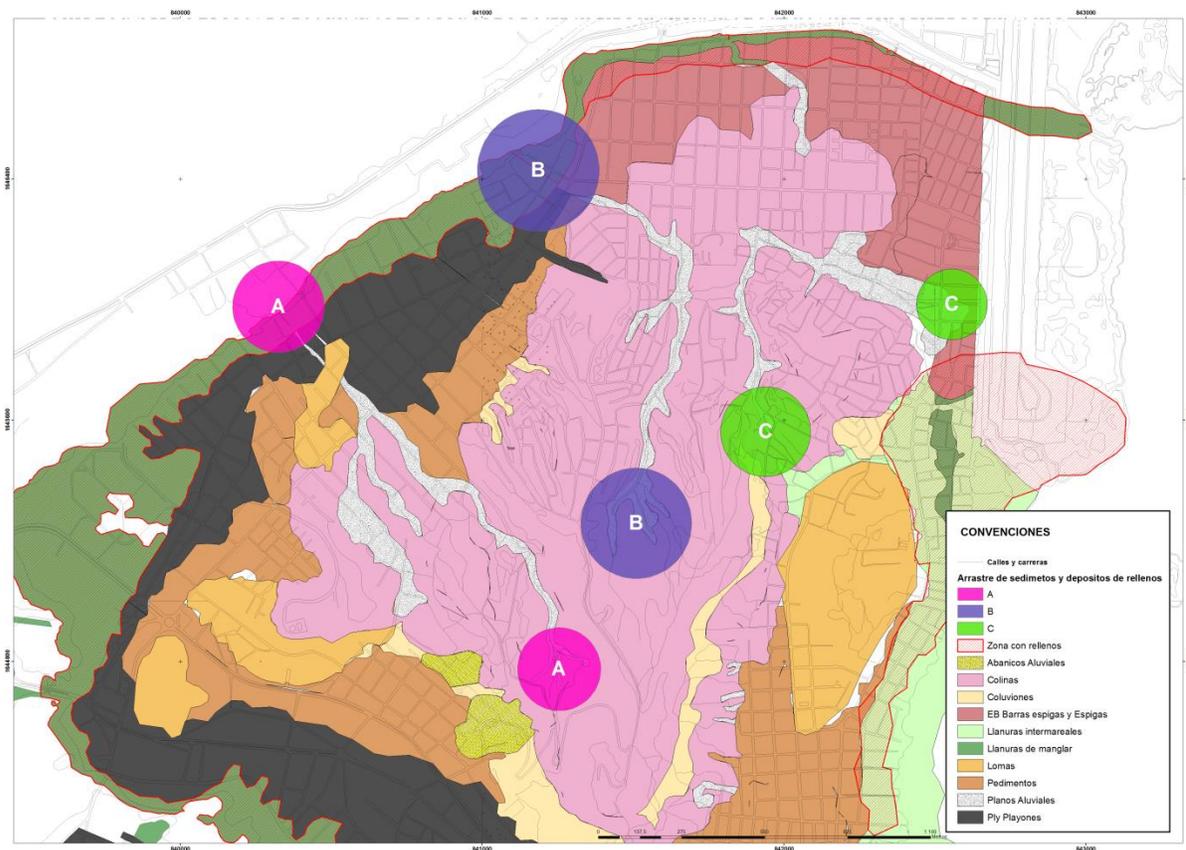


Figura 195 Mapa de zonas críticas zonas críticas de aporte de sedimentos, depósitos de relleno y confinamiento del sistema. Tomado y adaptado de Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS, 2001

3.2.3. Relación Manglar con el sistema de caños y lagos (R-03)

La cobertura de manglar actúa atrapando los sedimentos y otros contaminantes que se desprenden de los suelos descubiertos o suelos de cultivos, protegiendo los cuerpos de agua, y aumentando además la infiltración en las áreas de inundación, por acción de las raíces de las plantas que crecen en estas áreas.

Lo anterior deja claro el papel fundamental que juega el manglar en el funcionamiento del ecosistema de Caños y Lagos internos. En efecto es necesario que las rodas de estos cuerpos de agua se mantengan cubiertas con coberturas de manglar.

No obstante, este tipo de áreas soporta una fuerte presión antrópica por la tala de árboles, y el asentamiento de indigentes en esta cobertura. Pese a esto, en algunos sectores especialmente en el área donde termina el caño Juan Angola y comienza la ciénaga de la

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---	---

virgen el ecosistema presenta una buena regeneración por su especialización al colonizar las áreas adversas.



Figura 196. Esquema de variación del bosque de manglar a través del tiempo (2005-2015).

En contraste, con el objetivo de evaluar los cambios que han venido implementándose en el ecosistema de manglar del sistema interno de caños y lagos del distrito de Cartagena, se realizó una comparación de la variación de la cobertura vegetal a través del tiempo. Encontrándose, que desde el año 2005 hasta el 2015, el ecosistema experimenta un aumento considerable medido en hectáreas de cobertura (Figura 196).

Con base en los análisis de coberturas efectuados a partir de 2005, se han registrado cambios significativos en la cobertura del manglar, con pérdida en algunos sectores e incremento en otros. El balance neto indica que en los últimos 10 años la cobertura del bosque aumentó 12.5 ha. Igualmente, entre 2005 y 2015 se observaron incrementos en las áreas de la laguna del Cabrero, caño Bazurto y Juan Angola sector San Francisco.

A pesar, de que los manglares del sector han sido ampliamente presionados por la expansión urbana que a su vez trae consigo actividades como los rellenos y la tala, seguido del vertimiento de sus desechos directamente a la ciénaga. Y como si fuera poco, la deposición de residuos sólidos, invasiones ilegales y los altos niveles de contaminación, ha podido recuperar lentamente parte de su cobertura. El manglar presenta entonces, de acuerdo a este análisis buenos niveles adaptativos.

3.2.4. Relación ciénaga de la Virgen con Sistema de caños y lagos (R-04)

La relación entre la ciénaga de la Virgen y el sistema de caños y lagos internos se da por el condicionamiento de sus características hidrodinámicas y de calidad de agua. Actualmente el comportamiento hidrodinámico está regulado por el funcionamiento de la compuerta de la Bocana y de la compuerta instalada en la Laguna de Chambacu (Ver Figura 197).



Figura 197. Compuerta de Chambacu

El estudio denominado “Caudales reales medidos en la Bocana de Marea Estabilizada de la Ciénaga de la Virgen”, realizado por Arrieta, A. y Rejtman, P en el año 2003, tuvo como objeto mostrar el funcionamiento hidráulico de esas dos compuertas. Para tal fin midió las

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

corrientes que se presentan en ellas en el mes de noviembre del 2002 y enero del 2003, utilizando un correntímetro AANDERAA RCM-9 de registro continuo. Como resultado se obtuvieron las gráficas que se muestran en la Figura 198.

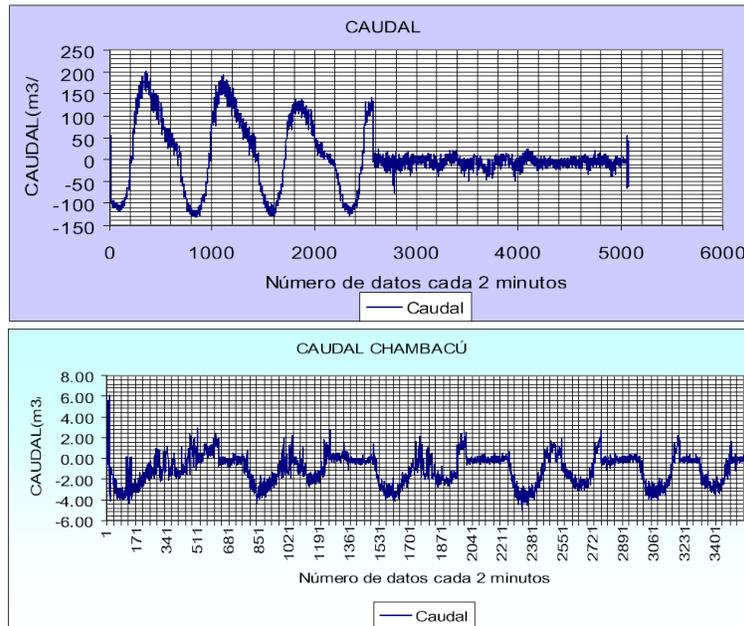


Figura 198. Caudal en la entrada de la Bocana, Caudal Medio en la Compuerta de Chambacu.
Fuente: Arrieta, A. y Rejtman, P, 2002

Las conclusiones fueron las siguientes:

- ❖ En la bocana de marea estabilizada se presentan mayores caudales picos de salida que de entrada, con valores picos alrededor de los 200 m³/s para la salida y de 130 m³/s para la entrada.
- ❖ De acuerdo con los registros de campo, los caudales promedios de entrada al sistema lagunar por la Bocana está alrededor de 50 m³/s.(entre 36 y 65 m³/s).
- ❖ De acuerdo con los registros de campo los caudales promedios de salida por la Bocana del sistema lagunar está alrededor de 67 m³/s.
- ❖ La velocidad máxima en la Bocana está alrededor de 1 m/s.
- ❖ El caudal máximo de salida por la compuerta de Chambacú está alrededor de 5 m³/s.
- ❖ El caudal medio de salida por la compuerta de Chambacú está alrededor de 1.6 m³/s.
- ❖ El volumen de agua que sale por las compuertas de Chambacú, representa entre el 2 y 4 % del volumen que sale por la Bocana de Marea Estabilizada

Finalmente se puede concluir que a pesar de la comunicación existente entre los dos cuerpos de agua, existe poca influencia de los volúmenes de agua entrantes del Mar

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Caribe hacia el sistema. Esto incide en una baja velocidad de flujo conservando el carácter lenticó de los caños y lagos internos y la poca dilución o influencia en la calidad del agua. Esta relación es importante como punto de alivio del sistema de caños y lagos hacia la ciénaga cuando esta recibe aportes significantes de la cuenca urbana o como alivio en caso de incremento de niveles en la ciénaga de la Virgen.

3.2.5. Relación Vegetación de las cuencas que drenan a los caños y lagos y el sistema de caños y lagos (R-05)

Desde el punto de vista biótico, se evidencia, una relación directa entre la vegetación de las rondas hídricas de los arroyos (Bosque Ripario) que desembocan en el sistema de caños y lagos internos y el sistema de caños y lagos. Se trata de las coberturas vegetales discontinuas o fragmentadas presentes en las rondas de los arroyos y drenajes de las cuencas. Es de suma importancia, que se genere una conexión entre las cuencas a través de la regeneración vegetal ecológica de forma participativa y rápida del bosque ripario. El papel que juega el bosque ripario es retardar y reducir la escorrentía superficial, utilizando el exceso de nutrientes, atrapando los sedimentos y otros contaminantes que se desprenden de los suelos descubiertos o suelos de cultivos, protegiendo los cuerpos de agua, y aumentando además la infiltración en las áreas de inundación, por acción de las raíces de las plantas que crecen en estas áreas.

Si no se toman estas medidas, se incurre en problemas ambientales mayores a nivel de fauna asociada a estos ecosistemas, pues se está obligando a grupos exigentes en el uso de sus hábitats a invadir fragmentos remanentes de bosques para refugiarse, restringiendo su área de acción y disminuyendo sus posibilidades de sobrevivencia a largo plazo. Es importante que los gremios o especies más adaptadas mejoren sus facultades para desplazarse por paisajes alterados.

Las zonas riparias proveen de hábitat, así como también de una vía para el desplazamiento de la vida silvestre de un parche de vegetación a otro, tanto en ambientes fragmentados como continuos. Entre mayor sea la conectividad entre los parches-hábitats, los animales encontrarán más fácil el desplazamiento entre sitios. Esto ayuda a mantener las poblaciones de vida silvestre en bosques y parches de áreas arboladas.

3.2.6. Relación Condiciones Climáticas con el suelo y el ecosistema (R-06)

Las condiciones climatológicas se consideran como el componente biofísico que mayor influencia tiene para garantizar el funcionamiento adecuado de un ecosistema, ya que son ellas las que hacen que exista un equilibrio natural entre las distintas especies que lo habitan. Si una de ellas se altera, se producen problemas en la naturaleza del ecosistema.

Los dos factores climáticos más importantes para los ecosistemas son: la luz solar y el agua. La luz solar es importante para el crecimiento de las plantas y para proveer energía para calentar la atmósfera de la tierra. La intensidad de la luz controla el crecimiento de las plantas. La duración de la luz afecta el florecimiento de las plantas y los hábitos de los

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

animales e insectos. Por otro lado, es importante que todos los organismos vivos tengan contacto con el agua por un determinado tiempo para poder subsistir. Los organismos en ecosistemas secos se adaptan a las condiciones, guardando agua para usarla durante largos períodos de tiempo o siendo menos activos. En el otro extremo, algunas plantas y animales solamente sobreviven si son sumergidas en agua.

Para el caso del ecosistema de Caños y lagos internos, se puede decir que el clima proporciona la cantidad de luz y de agua necesaria para que el mismo funcione adecuadamente. La luz es aportada por las radiaciones solares que se presentan durante el día, y el agua por las precipitaciones o lluvias anuales que se infiltran y/o escurren por un tiempo determinado sobre el suelo de las cuencas hidrográficas hasta almacenarse en acuíferos o cuerpos de agua continental superficial.

Sin embargo existen algunas intervenciones humanas sobre dicho ecosistema y en especial sobre sus cuencas hidrográficas, que actualmente han generado procesos de deforestación e impermeabilización, que han causado cambios a las características del suelo provocando una disminución de los caudales de infiltración y del tiempo de escurrimiento de las aguas, que disminuye a su vez el tiempo de contacto del agua con los organismos vivos y en consecuencia degrada el ecosistema.

Esta disminución también ocasiona un incremento en los caudales de escorrentía superficial y genera mayor susceptibilidad a la acumulación de flujo en los cauces naturales que se encuentran aguas abajo, propiciando su desbordamiento hacia las márgenes.

Para efectos de tener una idea de la magnitud de las escorrentías que actualmente se generan en el ecosistema de caños y Lagos internos debido a las precipitaciones y características del suelo con su cobertura vegetal, el proyecto de “FORMULACIÓN DE PLAN INTEGRAL PARA LA RECUPERACIÓN Y ORDENAMIENTO DEL SISTEMA DE CAÑOS, LAGOS Y LAGUNAS INTERIORES DE CARTAGENA DE INDIAS” realizado por la Secretaría de Planeación de Cartagena en el año 2015, hizo un análisis en el que correlacionó las coberturas vegetales y tipos de suelo del área de estudio, para asignarles, con la implementación de la método S.C.S del Servicio de Conservación de suelo de la USA, un coeficiente de numero de curvas que permite establecer el umbral de escorrentía neto. Como resultado del análisis se obtuvo el plano de la Figura 199 (Ver Tabla 49), donde se puede notar que las cuencas que drenan hacia el sistema de caños y lagos presenta un nivel de infiltración bajo.

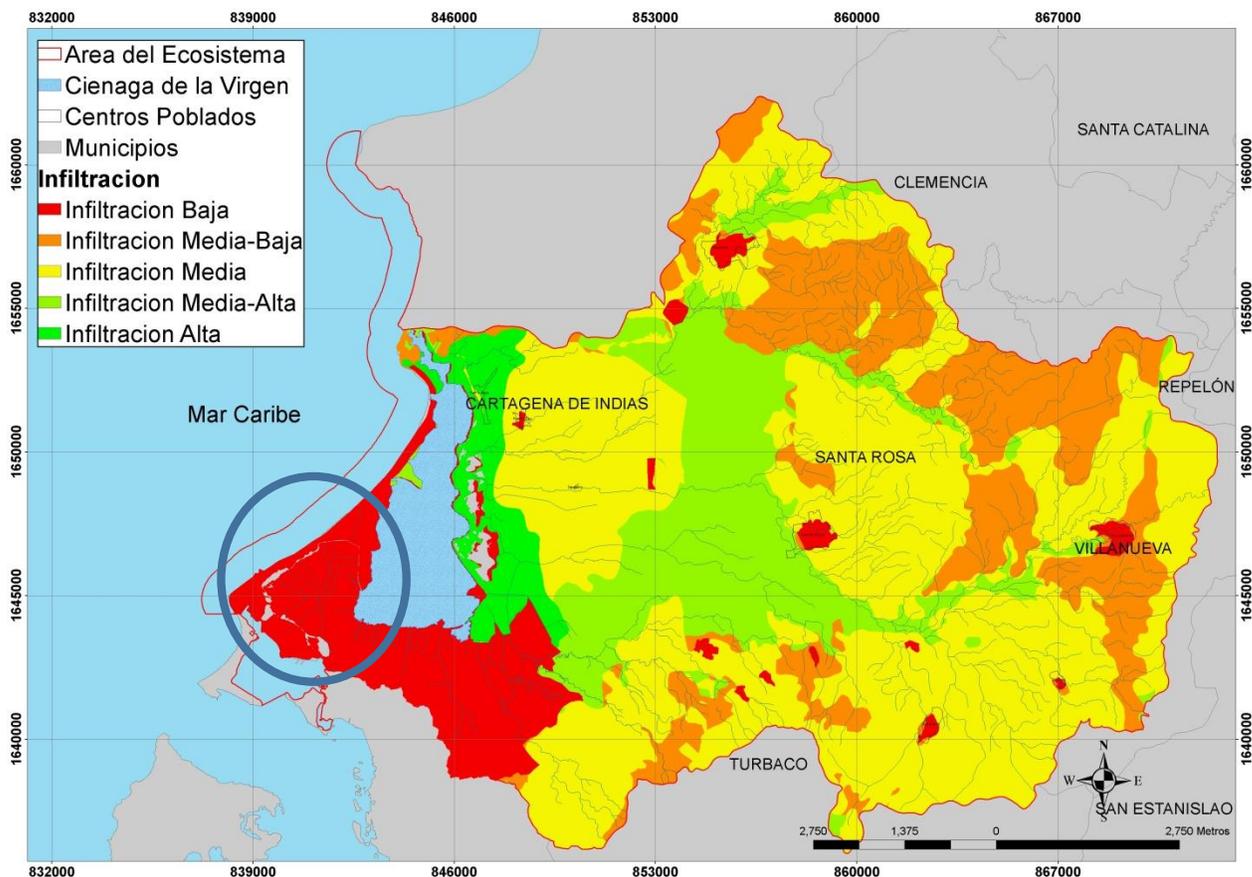


Figura 199. Plano de coeficientes de escorrentía. Fuente: FORMULACIÓN DE PLAN INTEGRAL PARA LA RECUPERACIÓN Y ORDENAMIENTO DEL SISTEMA DE CAÑOS, LAGOS Y LAGUNAS INTERIORES DE CARTAGENA DE INDIAS, 2015.

Tabla 49. Descripción de los Rangos.

Infiltración	Rango (mm)	Tonalidad	Descripción
Infiltración Baja	0 – 8.11		Corresponde a zonas impermeabilizadas por las intervenciones urbanas.
Infiltración Media-Baja	8.11 – 17.75		Zona no tan intervenida, pero con predominancia de suelos de partículas finas.
Infiltración Media	17.75– 22.82		Zonas donde existe erosión ligera a severa con partículas desde finas a medianamente gruesas.
Infiltración Media-Alta	22.82 – 29.92		Zonas con alta cobertura vegetal y suelos de partículas desde finas a gruesas.
Infiltración Alta	29.92 – 64.66		Zonas de bosques de predominancia Manglar con partículas de suelo moderadamente gruesas.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Fuente: FORMULACIÓN DE PLAN INTEGRAL PARA LA RECUPERACIÓN Y ORDENAMIENTO DEL SISTEMA DE CAÑOS, LAGOS Y LAGUNAS INTERIORES DE CARTAGENA DE INDIAS, 2015.

3.2.7. Prácticas socioeconómicas – Sistema de Caños y Lagos (R-01).

Las relaciones que se presentan entre las prácticas socioeconómicas y el sistema de caños y lagos se dan en dos sentidos: por un lado se tienen los impactos que las inadecuadas prácticas antrópicas, tales como, disposición de residuos sólidos, vertimientos de aguas residuales e invasión de zonas retiro, generan sobre el sistema degradando la calidad de sus aguas y rondas hídricas y su fauna y flora asociada. Por otro lado se tiene el servicio ambiental que brinda el sistema de caños y lagos a la sociedad debido a que los componentes que lo conforman proporcionan un paisaje natural que embellece e imprime un toque de particularidad a las zonas residenciales que lo rodean, y que eventualmente podrían ser sitios adecuados para la investigación y educación.

Sobre la base de lo anterior se identifican cuatro relaciones entre el sistema de caños y lagos y las prácticas socioeconómicas, estas son: Disposición de Residuos sólidos, Invasión de zona de rondas hídricas, Vertimiento de aguas residuales y servicios ambiental de belleza escénica o paisajística y educación e investigación.

3.2.7.1. Disposición de Residuos sólidos

La disposición de residuos sólidos en las rondas de los caños y lagos y en los canales que drenan hacia estos cuerpos de agua es una de las actividades que generan un gran impacto en el ecosistema asociado a los caños y lagos, incluida la calidad del agua. Durante los recorridos de verificación se pudo observar la presencia de botaderos satélites a lo largo de las márgenes de los cuerpos de agua.

La ciénaga de las quintas se ve afectada por disposición inadecuada de residuos sólidos principalmente por las actividades comerciales que se desarrollan en el Mercado de Bazarto.

En el caño de Bazarto (detrás del complejo de raquetas y debajo del puente de las palmas) se pudo evidenciar la presencia de residuos sólidos domésticos, escombros y poda de árboles.

En la Laguna San Lazaro se observaron residuos sólidos a la altura de la Marina ubicada en la franja nororiental del cuerpo de agua.

En la Laguna de Chambacú se pudo observar presencia de residuos dentro del manglar asociado a ecosistema de la laguna.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

En el caño Juan Angola se evidenció residuos sólidos a lo largo del caño. Esto se debe a la disposición inadecuada que hacen las comunidades ubicadas en la orilla del caño.

En la Laguna del Cabrero también se notó la presencia de residuos sólidos que posiblemente se da por el alto flujo peatonal y por la actividad desarrollada por los vendedores ambulantes en el paradero localizado a la entrada del centro histórico de la ciudad.

La disposición inadecuada de residuos sólidos, y en este caso a cuerpos de agua, genera impactos graves como son la afectación de la calidad del agua, alteración de la cadena trófica del ecosistema, afectación de la flora y fauna, y además la sedimentación de los residuos disminuye la capacidad hidráulica de los cuerpos de agua, aumentando los riesgos de inundación en zonas aledañas.

En la Figura 190 se muestran algunas zonas que fueron identificadas por el presente estudio como sitios de disposición de residuos sólidos en las rondas del sistema de caños y lagos.



Figura 200. Sitios de disposición inadecuada de Residuos Sólidos y puntos de llegada de Canales pluviales en Caño Juan Angola, Laguna San Lázaro y Caño de Bazurto.

3.2.7.2. Invasión de zona de rondas hídricas

Con el propósito de entender como se ha presentado el proceso de invasión de las rondas hídricas del sistema de caños y lagos durante el tiempo, el presente estudio realizó el análisis multitemporal de evolución de orillas que se presenta a continuación y que utilizó fotografías aéreas de los años 1948 (año de referencia inicial), 2005, 2007, 2009 y 2015, la cuales fueron digitalizadas. Se asumieron puntos de inicio y final para cada cuerpo de agua para poder tener referencia para estudios posteriores (Tabla 50). Se estimaron el área superficial (espejo de agua) y perímetro. Adicionalmente, se utilizó el estudio realizado por Hidrotec (1984, p.18) en donde se calcularon las áreas de los cuerpos de agua de este estudio para el año 1984.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Tabla 50. Localización de los cuerpos de agua (inicio y final).

	Inicio		Final	
	Norte	Oeste	Norte	Oeste
Cien. Las Quintas	10°24'21,904"	75°31'25,605"	10°24'52,346"	75°31'55,591"
Caño Bazurto	10°24'52,346"	75°31'55,591"	10°25'10,59"	75°32'27,191"
Laguna San Lázaro	10°25'10,59"	75°32'27,191"	10°25'21,17"	75°32'32,876"
Laguna Chambacú	10°25'21,17"	75°32'32,876"	10°25'36,846"	75°32'38,445"
Laguna del Cabrero	10°25'36,846"	75°32'38,445"	10°26'3,305"	75°32'5,452"
Caño Juan Angola	10°26'3,305"	75°32'5,452"	10°25'46,839"	75°30'50,793"

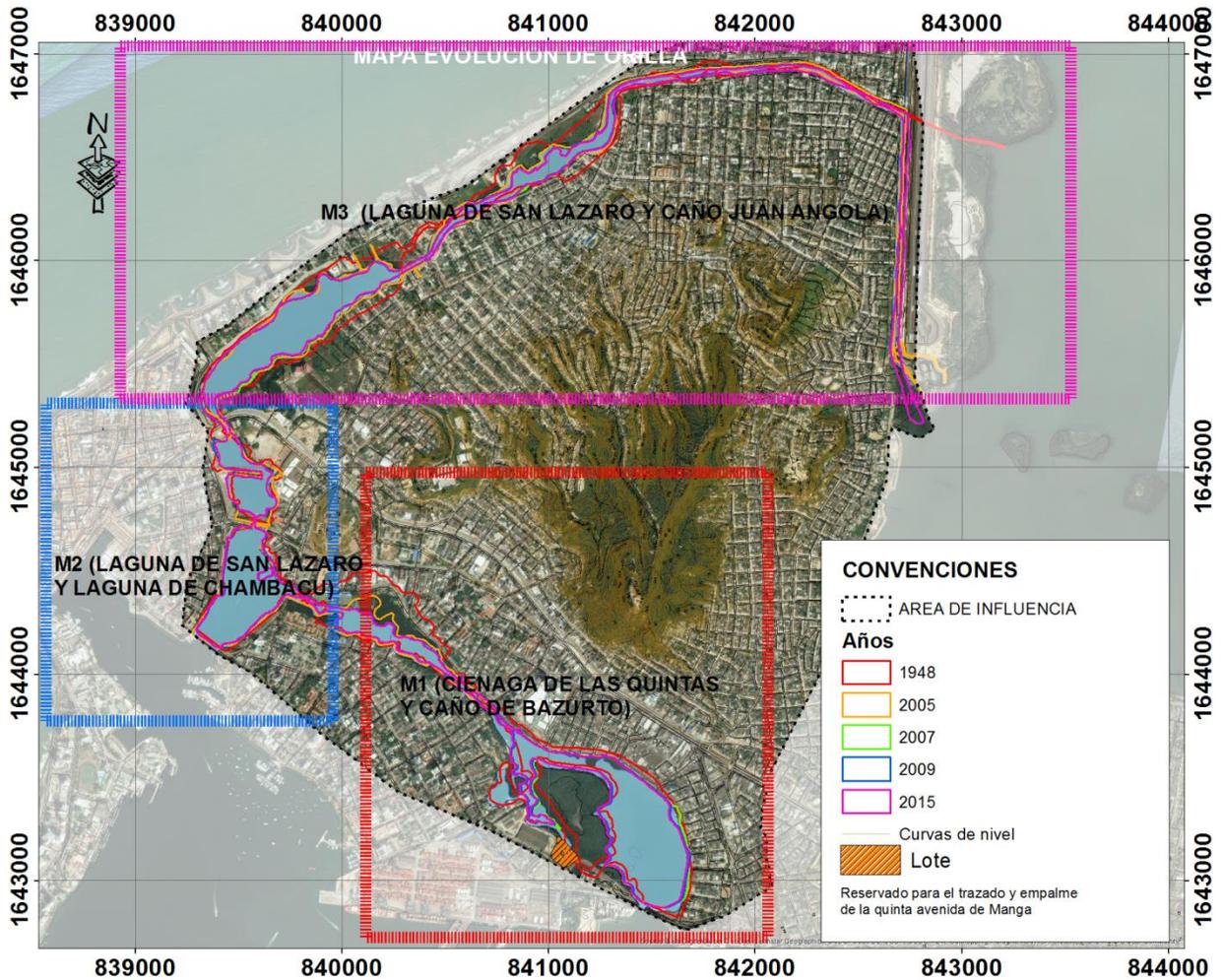


Figura 201. Plano General de Evolución de Orillas.

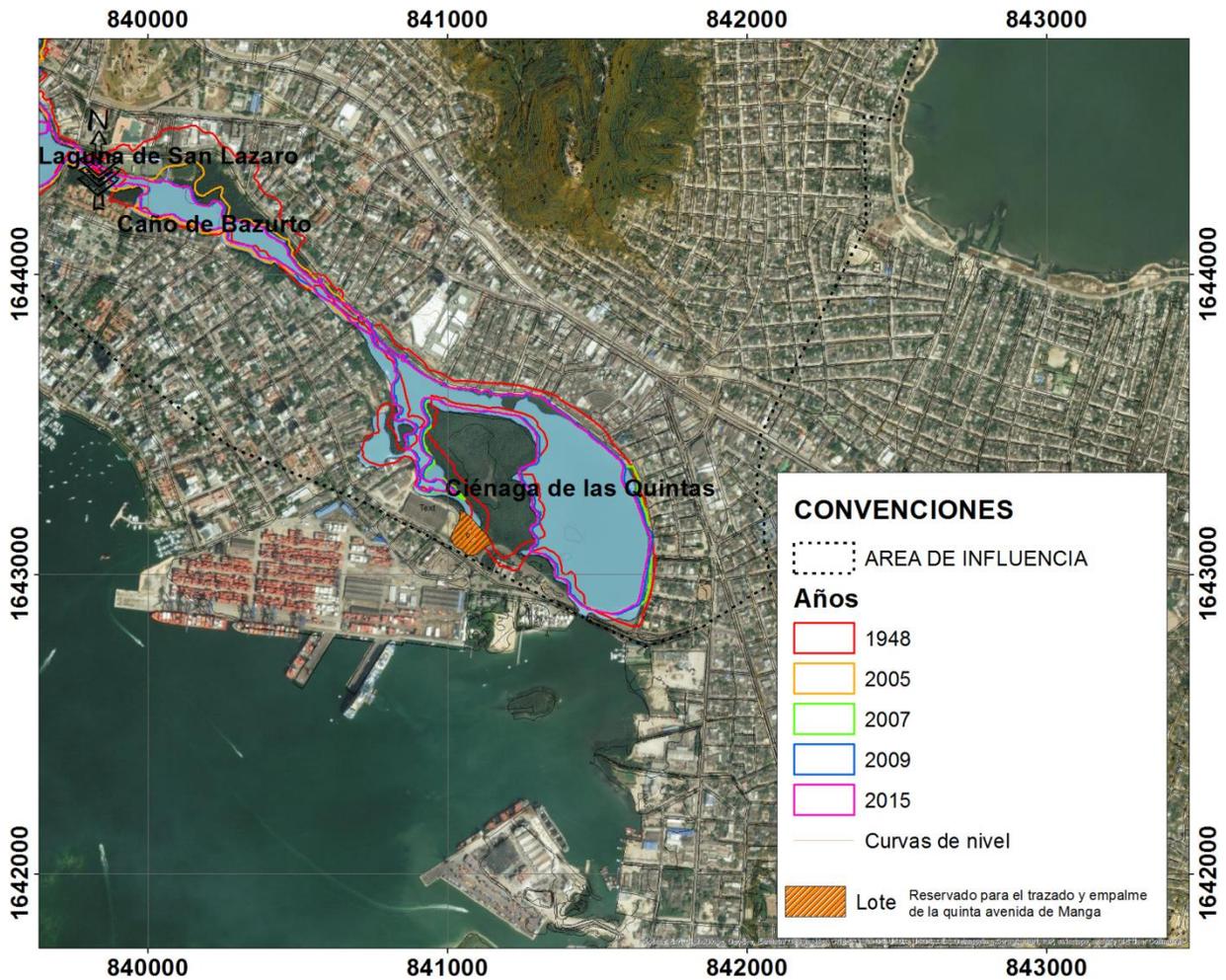


Figura 202. Zona M1 del Plano de la Figura 201.

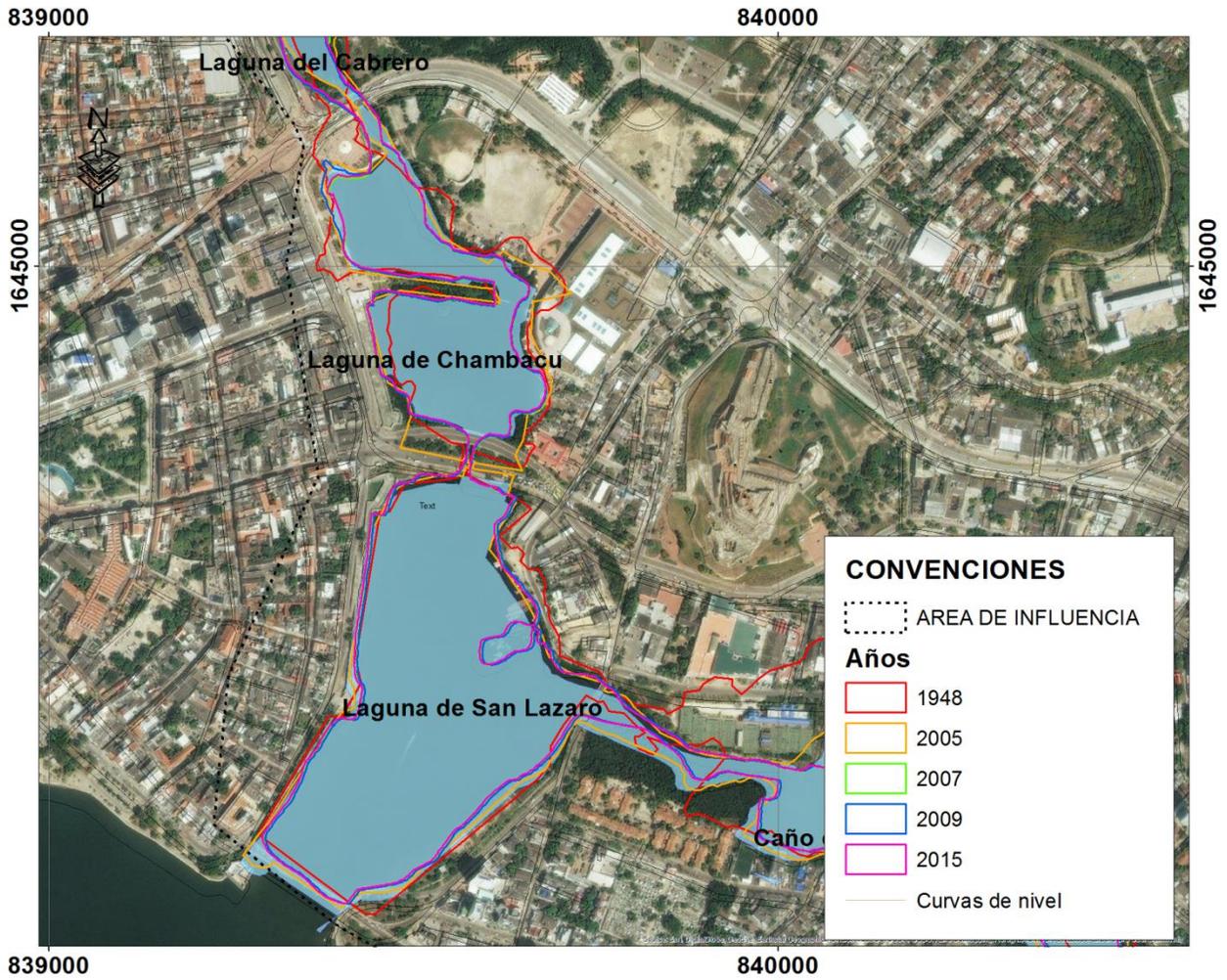


Figura 203. Zona M2 del Plano de la Figura 201.

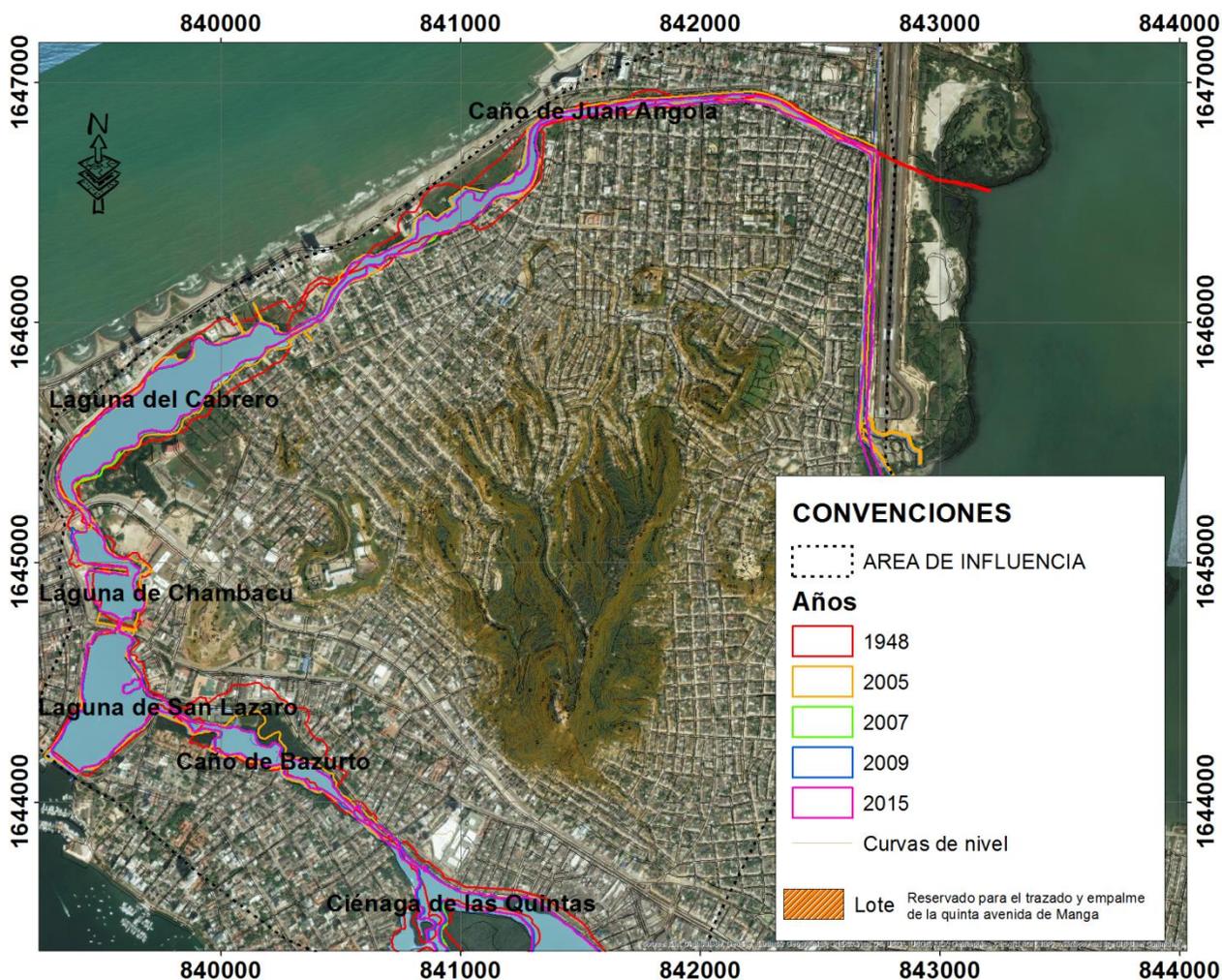


Figura 204. Zona M3 del Plano de la Figura 201.

En la Figura 201, Figura 202, Figura 203 y Figura 204, se observa claramente como todos los cuerpos de agua que componen el sistema de caños, lagunas y ciénagas han disminuido su área superficial; mientras que el perímetro ha aumentado en unos (laguna de San Lázaro, laguna del Cabrero y caño Juan Angola) y disminuido en otros (ciénaga Las Quintas, caño de Bazurto y laguna Chambacú) con respecto al año de referencia (1948), principalmente debido a: (a) falta de planeación en el desarrollo territorial, (b) actividades de relleno, ya sea para construcción de infraestructura vial (carreteras y puentes) y/o edificaciones, y (c) rellenos para ocupaciones ilegales de predios (invasiones) en las zonas aledañas a las orillas, especialmente a lo largo del caño Juan Angola y ciénaga Las Quintas (Tirado et al., 2011; Therán, 2012; De Ávila, 2014a; 2014b; Meza, 2015). El trazado del caño Juan Angola fue modificado temporalmente por los trabajos de adecuación de la pista del aeropuerto Rafael Núñez (Figura 201). La conexión

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

entre el caño y la ciénaga de La Virgen fue restablecida a través de un canal cuyo trazado va paralelo a la pista (Nullvalue, 1992). El cambio de la morfología en el tiempo –área y perímetro– de los cuerpos de agua se presenta en la Tabla 51 y Tabla 52 y Figura 205 y Figura 206.

Tabla 51. Cambios morfométricos de los cuerpos de agua (área).

Año	Área (Km ²)					
	Cien. Las Quintas	Caño Bazurto	Laguna San Lázaro	Laguna Chambacú	Laguna del Cabrero ⁽²⁾	Caño Juan Angola
1948	0,3174	0,1716	0,1483	0,0756	0,2677	0,1789
1984⁽¹⁾	0,3000	0,1200	0,1500	0,0700	0,2600	0,1000
2005	0,2592	0,0873	0,1447	0,0737	0,2030	0,1527
2007	0,2591	0,0554	0,1354	0,0578	0,1801	0,1363
2009	0,2498	0,0561	0,1354	0,0592	0,1777	0,1356
2015	0,2496	0,0553	0,1354	0,0577	0,1777	0,1356
Promedio	0,273	0,091	0,142	0,066	0,211	0,140
Valor Máx.	0,317	0,172	0,150	0,076	0,268	0,179
Valor Mín.	0,250	0,055	0,135	0,058	0,178	0,100
Desv. Estándar	0,029	0,047	0,007	0,008	0,042	0,026
Cambio Porcentual de 1948-2015	21,4%	67,8%	8,6%	23,6%	33,6%	24,2%

Notas: (1) Hidrotec (1984, p.18); (2) la laguna del Cabrero se le da también el nombre de laguna de Marbella en la parte correspondiente a este sector (antiguamente había una boca que separaba los barrios de Marbella y Crespo la cual fue rellenada). En la parte de cambio porcentual, los números en **rojo** indican disminución.

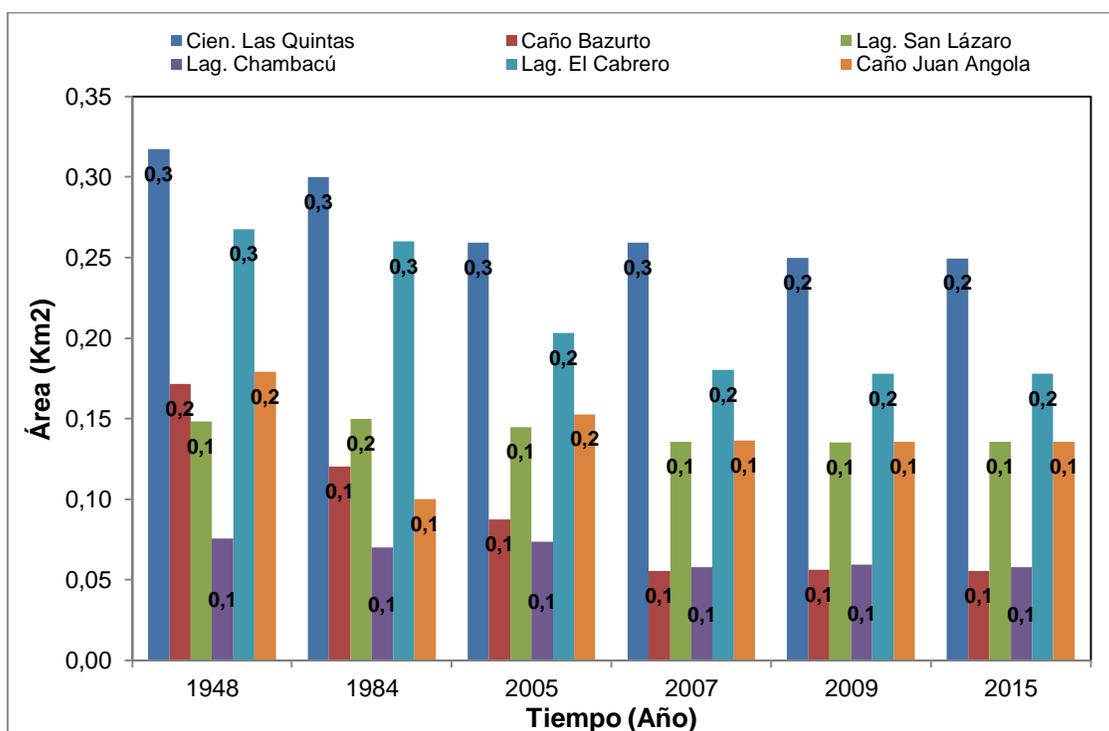


Figura 205. Cambios morfométricos (área) en el tiempo de los cuerpos de agua. Los valores aquí mostrados están aproximados a una cifra decimal.

Tabla 52. Cambios morfométricos de los cuerpos de agua (perímetro).

Año	Perímetro (Km)					
	Cien. Las Quintas	Caño Bazurto	Laguna San Lázaro	Laguna Chambacú	Laguna del Cabrero	Caño Juan Angola
1948	5,7711	3,0344	1,7880	1,8791	3,1362	6,8910
2005	4,5336	2,8169	1,8606	1,8760	3,6522	9,5483
2007	4,5371	2,6475	1,9775	1,7675	3,2126	8,9685
2009	4,4229	2,6555	1,9768	1,8045	3,2095	8,9689
2015	4,3940	2,6514	1,9810	1,7650	3,2193	8,9697
Promedio	4,732	2,761	1,917	1,818	3,286	8,669
Valor Máx.	5,771	3,034	1,981	1,879	3,652	9,548
Valor Mín.	4,394	2,647	1,788	1,765	3,136	6,891
Desv. Estándar	0,585	0,169	0,088	0,056	0,208	1,025
Cambio Porcentual de 1948-2015	23,9%	12,6%	10,8%	6,1%	2,7%	30,2%

Nota: En la parte de cambio porcentual, los números en **rojo** indican disminución y en **negro** aumento.

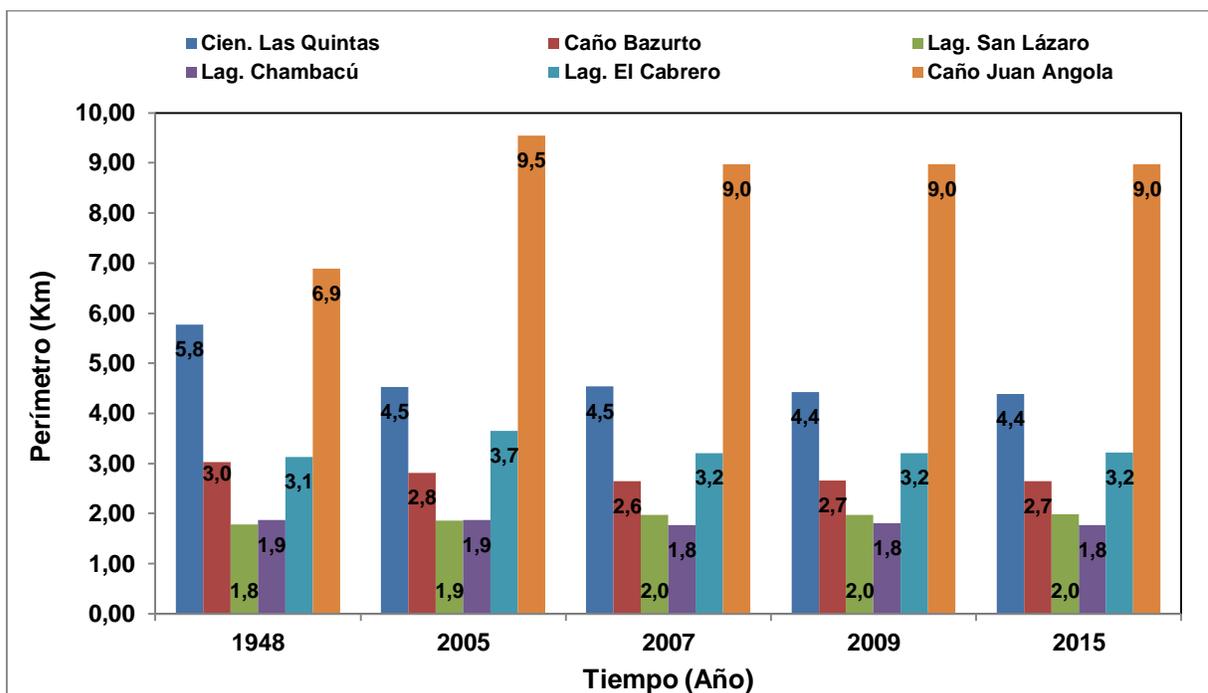


Figura 206. Cambios morfométricos (perímetro) en el tiempo de los cuerpos de agua en el tiempo. Los valores aquí mostrados están aproximados a una cifra decimal.

De 1948 hasta 2015 se observó que:

- En la *ciénaga Las Quintas* ha habido una disminución gradual a través del tiempo; el área y el perímetro se han reducido en un 23,0% y 21,4%, respectivamente.
- En el *caño de Bazurto*, el área y el perímetro disminuyeron en un 67,8% y 12,6%. Este es el cuerpo de agua que más ha mostrado afectación.
- La *laguna de San Lázaro*, contrariamente a la tendencia, mostró una disminución de 8,6% con respecto al área y un aumento con respecto al perímetro del 10,8%, lo cual sugiere procesos de relleno significativos a través del tiempo.
- La *laguna de Chambacú* ha sufrido una disminución de 23,6% con respecto al área y de 6,1% para el perímetro.
- La *laguna del Cabrero* muestra el mismo comportamiento de la laguna de San Lázaro: disminución del área (33,6%) y aumento en el perímetro (2,7%) de lo que se infiere que los procesos de relleno han impactado este cuerpo de agua.
- El *caño Juan Angola* también mostró el mismo comportamiento de la laguna del Cabrero y la laguna de San Lázaro: disminución del área (24,2%) y aumento del perímetro (30,2%). Hay que aclarar que el trazado del caño Juan Angola fue modificado, como se mencionaba anteriormente, lo cual trajo un aumento del 38,46% del perímetro de 1948 a 2015 y disminución del 6,5% de 2005 a 2015. Con respecto al área, de 1948 a 2005, hubo un aumento del área del 16,7%; mientras que durante el periodo de 2005 a 2015 hubo una disminución del área del 6,7%.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Los cambios en la morfología de los cuerpos de agua, sumados a los procesos de cambio del uso y cobertura del suelo (principalmente de áreas con vegetación a zonas urbanizadas), trae consigo varios problemas, los cuales se muestran en la Tabla 53.

Tabla 53. Relación causa-efecto de cambios morfométricos en los cuerpos de agua

Causa	Efecto	
	Hidrología/hidráulica	Ambiental
Disminución del área superficial y perímetro.	<ul style="list-style-type: none"> •Disminución de caudal. • Afectación del flujo de agua que entra y sale. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro de la calidad del agua por disminución de la capacidad de dilución y auto depurativa de los cuerpos de agua.
Cambio del uso y cobertura vegetal.	<ul style="list-style-type: none"> •Aumento de las áreas impermeables (disminución de la tasa de infiltración). •Aumento en los caudales de escorrentía. •Aumento de los tiempos de concentración (T_c, tiempo en alcanzar el caudal de escorrentía pico). •Aumento de las zonas potencialmente inundables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de los contaminantes que terminan en los cuerpos de agua (sedimentos, desechos sólidos, metales, materia orgánica, entre otros). La sedimentación trae consigo, además, disminución de la profundidad de los cuerpos de agua.

La Figura 207 muestra la localización geográfica de las acciones a tomar en los diferentes cuerpos de agua que conforman el sistema de caños, lagunas y ciénagas. Sin embargo, las actividades asociadas a la evolución de orillas “*Desalojos en la Franja de Protección del Cuerpo de Agua* (puntos rojos)” y “*Sanción y Recuperación de los Bordes de Protección del Cuerpo de Agua* (puntos amarillos)” identifican, respectivamente, solo cuatro puntos (3 puntos en la laguna de Chambacú y 1 en el costado sur-oriental de la ciénaga de la Virgen) y trece puntos (1 en la ciénaga Las Quintas, 1 en el caño Bazurto, 2 en la laguna de Chambacú y 9 a lo largo de la parte sur de la ciénaga de la Virgen); mientras que, el análisis histórico de imágenes realizado en este estudio muestra cómo la geometría de todos los cuerpos de agua ha venido disminuyendo –a través del tiempo– por distintas razones anteriormente expuestas.



Figura 207. Mapa de acciones a desarrollar en el sistema de caños, lagunas y ciénagas de Cartagena de Indias. Fuente: EPA Cartagena (2015).

El caño Juan Angola, construido para comunicar la laguna de El Cabrero con la ciénaga de La Virgen, es uno de los cuerpos de agua que más ha sufrido deterioro en términos de calidad ambiental y disminución de su geometría a lo largo de su recorrido por diferentes razones (Álvarez, 2010), a pesar de varios esfuerzos tanto de la comunidad como las entidades ambientales de la ciudad y el gobierno nacional desde el año 1937 con la Ley 62, en donde se decreta la construcción de varias obras de utilidad pública en la ciudad de Cartagena y se dictan otras disposiciones (García, 1992; Nullvalue, 1992; El Universal, 2010; EPA Cartagena, 2015). Asimismo, el caño de Bazurto y la ciénaga Las Quintas no han sido ajenos al deterioro (Torres, 2012). Aledaño a la ciénaga Las Quintas, sobre la cuarta avenida de Manga, se encuentra un lote con un área de 17.821 m² (Figura 202 y Figura 204), de los cuales 58,8% serán destinados para el trazado y empalme de la quinta avenida de Manga con el corredor de acceso rápido a la Variante Cartagena (Torres, 2014).

3.2.7.3. Vertimiento de aguas residuales

En general las actividades que afectan negativamente los caños y lagos de la ciudad están relacionadas con la presencia de residuos sólidos domésticos, escombros, sedimentos y aguas residuales producto de vertimientos.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

El inventario de vertimientos a los cuerpos de agua se realizó con información tomada directamente en campo, identificando los diferentes tipos de actividades comerciales o domésticas, así como el estado de las obras visibles de drenaje pluvial existentes a lo largo del área de influencia de los caños y lagunas bajo estudio. A continuación se muestran los resultados por cuerpo de agua.

- **Caño Juan Angola**

El recorrido al **Caño Juan Angola** para identificar vertimientos hacia éste cuerpo de agua se hizo a través de las orillas correspondientes al barrio Canapote (Figura 208) y al barrio Crespo (Figura 210).

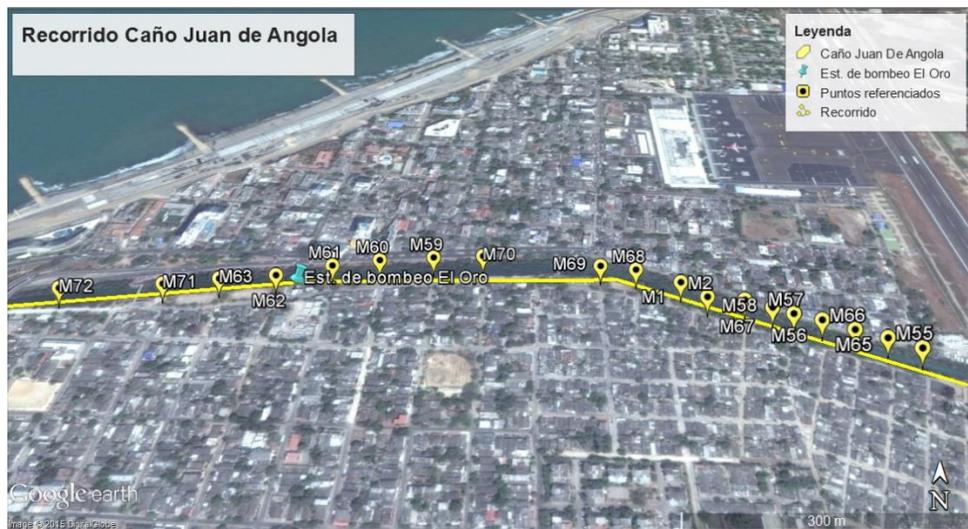


Figura 208. Recorrido al Caño Juan Angola. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre barrio Canapote. Tomado y modificado de Google Earth

La cuenca del barrio Canapote está comprendida por los barrios Paraíso 2, República del Caribe, Pablo VI, Pedro Salazar y Canapote. Además de las características antes mencionadas, está tiene una altura máxima de 120 msnm y una mínima de 0.10 msnm, una pendiente promedio de 5.17%, y un ancho promedio de 0.32 km.

Sobre la orilla correspondiente al barrio Canapote se referenciaron un total de 19 puntos para este tramo, con características de drenajes pluviales que presentan algunos residuos sólidos, con influencia de áreas netamente residenciales. Los casos diferenciales para este tramo están representados por la ubicación de la Estación de Bombeo El Oro, además de un punto de vertimiento de aguas negras del que se desconoce su procedencia, pero se presume proviene de una conexión no reglamentaria.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---



Figura 209. Improvisado taller de pintura y soldadura a orillas del Caño Juan Angola, barrio Canapote. Coordenada: N 10°26'31" W 75° 31'1"

A esto se suma que en uno de los puntos referenciados se encontró un improvisado taller de pintura y soldadura dispuesto directamente sobre la orilla del Caño, y un lavadero de carros cercano a la orilla (Figura 209).

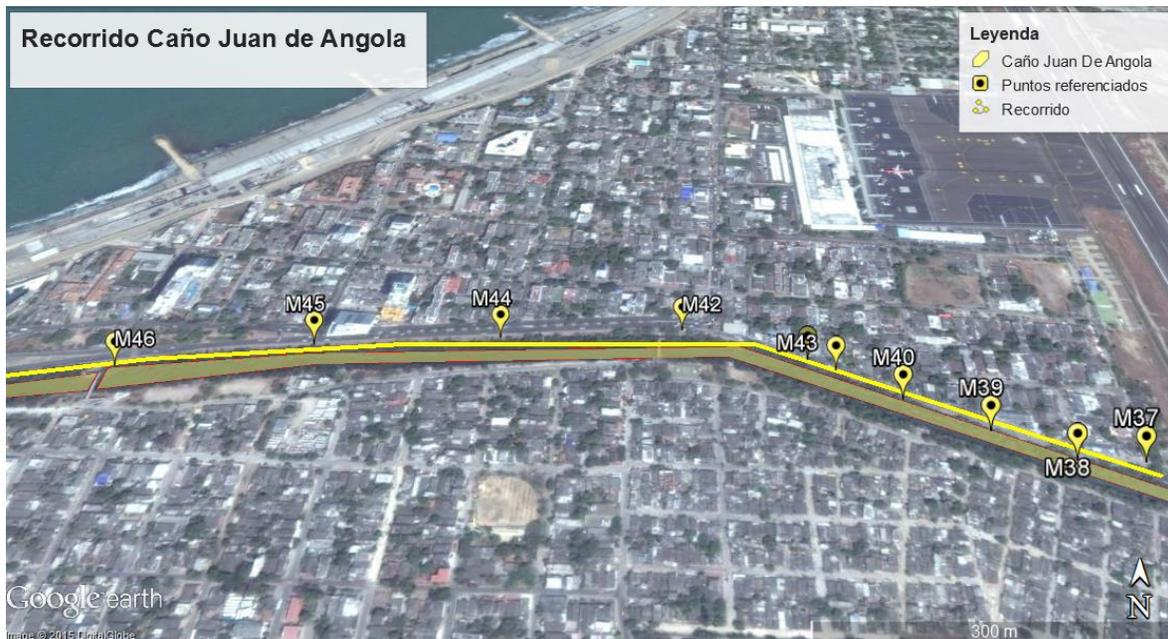


Figura 210. Recorrido al Caño Juan Angola. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre barrio Crespo. Tomado y modificado de Google Earth

Sobre la orilla correspondiente al barrio Crespo se referenciaron 11 puntos, con características de drenajes pluviales, presencia notable de residuos sólidos e influencia de áreas netamente residenciales, pero que en este caso conducen agua de mal olor y color oscuro, como se puede evidenciar en la Figura 211.



Figura 211. Drenaje pluvial con presencia de algunos residuos sólidos. Ancho de 4.5m aproximadamente. El agua que transporta tiene color oscuro y mal olor. Presencia de tubería de gas. Coordenada: N 10°26'32.6" W 75°31'25.3".

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Sobre la orilla correspondiente al barrio san Pedro Libertad se referenciaron 14 puntos (Figura 212), con características de drenajes pluviales con presencia notable de residuos sólidos e influencia de áreas netamente residenciales. En este sector la presencia de vegetación y escombros sobre los drenajes es recurrente, además que recibe la influencia de varias calles canal, las cuales encausan los flujos para verter directamente al cuerpo de agua.



Figura 212. Recorrido al Caño Juan Angola. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre barrio San Pedro Libertad. Tomado y modificado de Google Earth

- **Laguna del Cabrero**

El recorrido a la **Laguna del Cabrero** para identificar vertimientos hacia éste cuerpo de agua se hizo a través de las orillas correspondientes a los barrios de Marbella, El Cabrero y parte de El Centro (Figura 213).



Figura 213. Recorrido a la Laguna del Cabrero. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla. Tomado y modificado de Google Earth

En el recorrido a la Laguna del Cabrero se referenciaron ocho puntos para este tramo, con características de drenajes pluviales con presencia notable de residuos sólidos, con influencia de áreas netamente residenciales. En este sector la presencia de escombros, animales y actividad humana (asentamientos improvisados) sobre los drenajes es recurrente, además que en su zona de influencia existen algunas construcciones en ejecución.

Sobre la orilla correspondiente al barrio Torices se referenciaron tres puntos como se muestra en la Figura 214.



Figura 214. Recorrido a la Laguna del Cabrero. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Torices, parte de Chambacú y el Papayal. Tomado y modificado de Google Earth.

Se referenciaron tres puntos para este tramo, con características variables, uno de los cuales corresponde a la ubicación de un canal en donde se vierten las aguas negras de las viviendas aledañas y las conduce hasta el cuerpo de agua. Otro de los puntos tiene un área de influencia que comprende un taller automotriz así como una zona de caballerizas. La presencia es notable de residuos sólidos, y cabe señalar como a estos drenajes llegan otros provenientes de las zonas residenciales aledañas.

- **Laguna San Lázaro**

El recorrido a la **Laguna San Lázaro** para identificar vertimientos hacia éste cuerpo de agua se hizo a través de las orillas correspondientes al barrio Pie de La Popa y parte de Manga (Figura 216).

Se referenciaron 11 puntos para este tramo, entre los que destacan la presencia de un vertimiento que posiblemente proviene de un Centro de Diagnóstico Automotriz que se encuentra directamente sobre la margen del cuerpo de agua. Además se evidencia la actividad de embarcaciones que utilizan el sector como muelle. La mayoría de puntos corresponden a drenajes pluviales con presencia notable de residuos sólidos, como se observa en la Figura 215.



Figura 215. Canal de vertimiento de aguas residuales de las viviendas aledañas hacia la Laguna del Cabrero. Con presencia de vegetación. Ancho de 0.8m aproximadamente. Coordenada: N 10°25'55.37" W 75°32'17.38".



Figura 216. Recorrido a la Laguna San Lázaro. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Pie de La Popa y parte de Manga. Tomado y modificado de Google Earth



Figura 217. Desagüe de Centro de Diagnóstico Automotor obstruido en un 90%. Actividad portuaria en los alrededores (muelle). Coordenada: N 10°25'17.8" W 75°32'31.3

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---

- **Caño Bazurto**

El recorrido al **Caño Bazurto** para identificar vertimientos hacia éste cuerpo de agua se hizo a través de la orilla correspondiente al barrio Pie del Cerro y Pie de La Popa (Figura 218).



Figura 218. Recorrido al Caño Bazurto. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Pie del Cerro y Pie de La Popa. Tomado y modificado de Google Earth

Se referenciaron un total de 14 puntos para este tramo, con características de drenajes pluviales que presentan algunos residuos sólidos, con influencia de áreas netamente residenciales, aun así el agua que se observó vierte hacia el Caño tiene mal olor y color oscuro. Los casos diferenciales para este tramo están representados por la ubicación de la Estación de Bombeo San Lázaro, además de la presencia de un centro comercial, un taller y un lavadero de carros. Además para este tramo corresponde la presencia del canal Noe, el cual vierte sobre el cuerpo de agua, como se observa en la Figura 219.



Figura 219. Canal NOE. Transporta agua de color oscuro y mal olor. Ancho aproximado 4.2 m. Coordenada: N 10°24'53.6" W 75°31'55.4".

- **Ciénaga Las Quintas**

El recorrido a la **Ciénaga Las Quintas** para identificar vertimientos hacia éste cuerpo de agua se hizo a través de la orilla correspondiente al barrio Chino (Figura 220) y al barrio Martínez Martelo (Figura 221).



Figura 220. Recorrido a la Ciénaga Las Quintas. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Chino. Tomado y modificado de Google Earth



Figura 221. Recorrido a la Ciénaga Las Quintas. Identificación de puntos de vertimiento correspondientes a la orilla sobre el barrio Martínez Martelo. Tomado y modificado de Google Earth.

Se referenciaron diez puntos para el tramo correspondiente al barrio Chino, y se identificó la abundante presencia de escombros, el uso de la orilla como baño público y la presencia de animales muertos, incluyendo peces (Figura 222). Algunos puntos tienen sistemas de compuertas para controlar los vertimientos, y la mayoría de las aguas que llegan al Caño son de color oscuro y mal olor.



Figura 222. Canales menores de desagüe. Presentan gran cantidad de residuos sólidos, agua de color oscuro y mal olor y a sus alrededores se encuentran múltiples establecimientos comerciales. Coordenada: N10°24'46.0" W 75°31'46.3".

Se referenciaron dos puntos para el tramo correspondiente al barrio Martínez Martelo, los cuales ubican canales menores, que transportan agua de color oscuro y mal olor, con presencia de abundantes residuos sólidos. Se encuentran aledaños a múltiples establecimientos comerciales y a una institución educativa.

En la Tabla 54 se presenta un resumen del número de vertimientos junto con sus coordenadas de localización en el sistema de caños y lagos internos de la ciudad de Cartagena.

Tabla 54. Puntos referenciados por cada cuerpo de agua

Cuenca	Barrio	Vertimientos	Coordenadas
Caño Juan de Angola	Canapote	19	N 10°26'26.8" W 75°30'51.8"; N 10°26'27.4" W 75°30'53"; N 10°26'28.5" W 75°30'55.4"; N 10°26'27.9" W 75°30'54.2" N 10°26'29.3" W 75°30'57.31"; N 10°26'29.8" W 75°30'58.4" N 10°26'31.9" W 75°31'02.9"; N 10°26'32.17" W 75°31'04.5" N 10°26'31" W 75° 31'1"; N 10°26'30" W 75° 31'0" N 10°26'32.9" W 75°31'9.94"; N 10°26'32.8" W 75°31'12.25" N 10°26'32.6" W 75°31'14.75"; N 10°26'30.6" W 75° 31'28.9" Est. El Oro: N 10°26'31.82" W 75°31'18.62" N 10°26'32.2" W 75°31'16.9"; N 10°26'31.5" W 75°31'19.37" N 10°26'31.26" W 75°31'21.9"; N 10°26'30.9" W 75°31'24.35"
	Crespo	11	N10°26'28.287" W 75°30'51.25"; N 10°26'28.4" W 75°30'53.38"

Cuenca	Barrio	Vertimientos	Coordenadas
			N 10°26'29.6" W 75°30'55.76"; N 10°26'31" W 75°30'58.3" N 10°26'32.4" W 75°31'0.3"; N10°26'32.9" W 75°31'1.2" N10°26'34.4" W 75°31'5.48"; N 10°26'34" W 75°31'12" N10°26'33.7" W 75°31'18.6"; N10°26'32.6" W 75°31'25.3" N 10°26'30.7" W 75° 31'32.7"
	San Pedro Libertad	14	N 10°26'21.1" W 75° 31'36.62"; N 10°26'20.3" W 75° 31'39.2" N 10°26'19.4" W 75° 31'41.3"; N 10°26'24" W 75°31'35" N 10°26'18.09" W 75° 31'42.8"; N 10°26'17" W 75°31'44" N 10°26'16.00" W 75°31'45.03"; N 10°26'14" W 75°31'49" N 10°26'12" W 75°31'52"; N10°26'12.1" W 75°31'54.46" N10°26'11" W 75°31'55.8": Canal Laurina: N10°26'9.2" W 75°31'58.2" N 10°26'7" W 75°32'1"; N10°26'6.2" W 75°32'2.67"
	Marbella	8	N 10°26'04" W 75°32'10"; N 10°26'5.6" W 75°32'14.7" N 10°26'01" W 75°32'22"; N 10°26'00" W 75°32'24" N 10°25'57" W 75°32'29"; N 10°25'56" W 75°32'29" N 10°25'53" W 75°32'31"; N 10°25'48" W 75°32'38"
Laguna del Cabrero	Torices	3	Canal Clínica Vargas: N10°25'57.7" W 75°32'4.5" N 10°25'55.37" W 75°32'17.38" Canal de La Salle N 10°25'52.59" W 75°32'19.85"
Laguna San Lázaro	Pie del Cerro	13	N 10°25'17.8" W 75°32'31.3"; N 10°25'15.8" W 75°32'30.1" N 10°25'15.4" W 75°32'30"; N 10°25'15.1" W 75°32'29.7" N 10°25'14.64" W 75°32'29.6"; N 10°25'14.25" W 75°32'29.4" N 10°25'13.8" W 75°32'29.4"; N 10°25'12.4" W 75°32'28.1" N 10°25'14.5" W 75°32'29.4"; N 10°25'13.31" W 75°32'29.2" N 10°25'12.3" W 75°32'28.4"; N 10°25'10.5" W 75°32'16.6" N 10°25'10.9" W 75°32'13.9"
	Manga	3	N 10°25'6" W 75°32'30.2"; N10°25'4.1" W75°32'32.2" N10°25'3.2" W 75°32'33.2"
Caño Bazurto	Pie de La Popa	12	N 10°25'11.2" W 75°32'11.4"; N 10°25'9.8" W 75°32'10" Canal Garrido: 10°25'10.11"N 75°32'13.45"O N 10°25'8.4" W 75°32'9.1"; N 10°25'6.3" W 75°32'8.0" N 10°25'05.4" W 75°32'07.3"; N 10°25'05.3" W 75°32'07.19" N 10°25'03.6" W 75°32'05.2"; N 10°25'2.5" W 75°32'4.3" N 10°24'57.2" W 75°31'59.6"; N 10°24'56.6" W 75°31'59.1" N 10°24'55.4" W 75°31'58.2"; Canal Noe: N 10°24'53.6" W 75°31'55.4"
Ciénaga de la Quintas	Barrio Chino	10	N 10°24'52.7" W 75°31'54.6"; N 10°24'46.01" W 75°31'46.28" N10°24'46.0" W 75°31'46.3"; N 10°24'45.6" W 75°31'44" N 10°24'45.6" W 75°31'43.1"; N 10°24'45.56" W 75°31'43.29" N 10°24'45.40" W 75°31'40.96"; Canal Icollantas: 10°24'45"N 75°31'36.9"W Canal Colonial: 10°24'43.8"N 75°31'34.4"W; 10°24'43.8"N 75°31'34.2"W
	Martínez Martelo	2	Canal Lourdes: 10°24'39.6"N 75°31'28.5"W Canal Trvs. 26: 10°24'36."N 75°31'25.2"W

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	--	---

Los vertimientos incontrolados e ilegales a los caños y lagos internos de la ciudad se constituyen en la principal causa de alteración de la calidad del agua de dichos cuerpos trayendo como consecuencia la afectación del ecosistema en general. Como se pudo observar en el capítulo de calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua del sistema de caños y lagos internos y sedimentos, los índices de calidad del agua de los caños y lagos para conservación de flora y fauna oscilan entre inadecuado y pésimo. El parámetro que más influye en este indicador es la concentración de oxígeno disuelto el cual varía mucho entre las horas del día y la noche. En la estación 13 (una de las más críticas), por ejemplo, se pueden encontrar valores de oxígeno disuelto alrededor de 14.5 mg/l en horas de la tarde y de 1.5 mg/l en las primeras horas de la mañana. Este comportamiento del oxígeno disuelto, reflejado en el índice de calidad de agua ICAM no permite una adecuada conservación de la fauna asociada al ecosistema y podría suponer la existencia de procesos eutróficos.

Es por esto que una de las actividades a ejecutar a corto plazo debe ser la erradicación de los vertimientos de aguas residuales a los cuerpos de agua y canales que drenan a dichos cuerpos.

3.2.7.4. Servicios Ambientales (paisajismo).

Como se mencionó anteriormente el sistema de caños y lagos brinda servicios ambientales a la sociedad cartagenera, debido a que los elementos que lo conforman (manglar, espejo de agua, fauna asociada) aportan una belleza escénica o un paisaje natural a las zonas residenciales que se encuentran a sus alrededores y a las personas que diariamente transitan por las vías paralelas a ellos.

Esta realidad le imprime un mayor grado de importancia al sistema de caños y lagos, y crea la necesidad de evaluar el estado de sus paisajes. En este propósito el presente estudio aplicó la metodología propuesta por Bureau of Land Management (BLM, 1980), en donde se establecen los siguientes criterios de valoración de la calidad escénica aplicada, que se presentan en la **Tabla 55**.

Tabla 55. Criterios de valoración del paisaje

CRITERIOS	CALIFICACIÓN		
MORFOLOGÍA	Relieve muy montañoso, marcado y prominente (acantilados, agujas, grandes formaciones rocosas); o bien, de gran variedad superficial o muy erosionado o sistemas de dunas; o presencia de algún rasgo muy singular y dominante (ej. glaciar)	Formas erosivas interesantes o relieve variado en tamaño y forma. Presencia de formas y detalles interesantes pero no dominantes o excepcionales.	Fondos de valle planos, poco o ningún detalle singular.
Calificación	5	3	1
VEGETACIÓN	Gran variedad de tipos de vegetación, con formas, texturas	Alguna variedad en la vegetación, pero solo	Poca o ninguna variedad o contraste

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	--	---

CRITERIOS	CALIFICACIÓN		
	5	3	1
	y distribución interesantes.	uno o dos tipos.	en la vegetación.
Calificación	5	3	1
AGUA	Factor dominante en el paisaje; apariencia limpia y clara, aguas blancas (rápido y cascado) o láminas de agua en reposo.	Agua en movimiento o en reposo, pero no dominante en el paisaje.	Ausente o inapreciable.
Calificación	5	3	0
COLOR	Combinaciones de color intensas y variadas, o contrastes agradables en el suelo, vegetación, roca, agua.	Alguna variedad e intensidad en los colores y contraste en el suelo, roca y vegetación, pero no actúa como elemento dominante.	Muy poca variación de color o contraste, colores apagados.
Calificación	5	3	1
FONDO ESCÉNICO	El paisaje circundante potencia mucho la calidad visual.	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad visual del conjunto.	El paisaje adyacente no ejerce influencia en la calidad del conjunto.
Calificación	5	3	1
RAREZA	Único o poco corriente o muy raro en la región; posibilidad real de contemplar fauna y vegetación excepcional.	Característico, aunque similar a otros en la región.	Bastante común en la región.
Calificación	6	2	1
ACTUACIONES HUMANAS	Libre de actuaciones estéticamente no deseadas o con modificaciones que inciden favorablemente en la calidad visual.	La calidad escénica está afectada por modificaciones poco armoniosas, aunque no es su totalidad, o las actuaciones no añaden calidad visual.	Modificaciones intensas y extensas, que reducen o anulan la calidad escénica.
Calificación	2	1	0

Fuente: Bureau of Land Management (BLM, 1980)

Cada uno de estos criterios fue aplicado a cada uno de los nueve sectores del sistema de caños y lagos que se presentan en la **Figura 223** y que fueron delimitados utilizando el criterio de fondo escénico. La razón por la que el sistema de caños y lagos fue delimitado, para efectos de este análisis, se debe a que cada tramo presenta una particularidad en cuanto a sus condiciones paisajísticas.

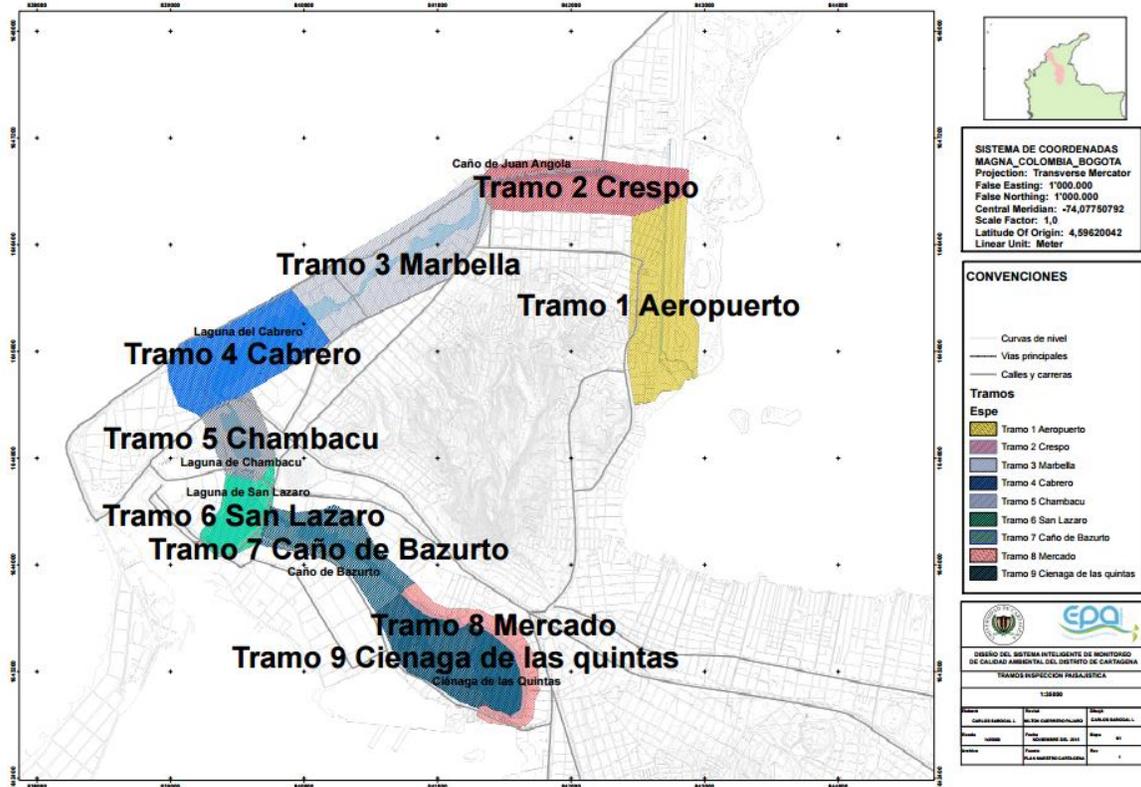


Figura 223 Delimitación de tramos para evaluación paisajística

Como resultados del análisis se tienen las siguientes conclusiones (la metodología se presenta en el TOMO 0 y los resultados detallados en el **Anexo 10**)

A partir de la metodología aplicada para valorar la fragilidad y la calidad paisajística de los tramos definidos dentro del sistema de caños y lagos internos, se puede inferir que todos ellos carecen de valor estético, esto es, no representan ser un paisaje atractivo para la población en general, viéndose lo anterior reflejado en los impactos negativos que se tiene sobre la vegetación, la calidad del agua, la morfología, el poco contraste en los colores del suelo, el agua y la vegetación, el fondo escénico y las actuaciones humanas; impactando así la calidad paisajística de la zona aledaña al sistema y en general de la ciudad. A su vez, el paisaje en todos los tramos es susceptible a cambios, y con esto se comprueba, el grado de deterioro ambiental en que se encuentran como consecuencia del uso inapropiado que el hombre le ha dado a estos recursos naturales tan valiosos para nuestra supervivencia y para la sostenibilidad de nuestras futuras generaciones; a su vez, se evidencia el poco conocimiento que se tiene acerca de la funcionalidad y ventajas del ecosistema de mangle, del cuidado y protección del medio ambiente y el derecho a gozar de un ambiente sano, del apoderamiento del desarrollo y crecimiento económico y los impactos que esto trae consigo, la sobreexplotación y el agotamiento de los recursos, el

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

respeto a las zonas de protección ambiental, la falta de sentido de pertenencia y la poca cultura ciudadana de muchos.

Por tal razón, para los tramos número 1 (Aeropuerto), 2 (Crespo), 3 (Marbella), 7 (Caño de Bazurto), 8 (Mercado) y 9 (Ciénaga de las Quintas), se le asignó una calificación de la calidad paisajística de 1 (calificación más baja) para los criterios de morfología, color, fondo escénico, rareza y actuaciones humanas; y para los criterios de vegetación y agua se estableció un valor de 3 (calificación intermedia). Por su parte, los tramos 4 (Cabrero), 5 (Chambacú) y 6 (San Lázaro), obtuvieron una calificación de la calidad paisajística de 1 para los criterios de morfología, color, rareza y actuaciones humanas; mientras que para los criterios de vegetación, agua y fondo escénico se le asignó un valor de 3. La calificación del criterio de fondo escénico para los tramos evaluados 4, 5 y 6 fue diferente con respecto a los demás tramos debido a la presencia de ciertos hitos históricos y culturales que armonizan e incrementan la calidad paisajística de dichos tramos. En definitiva, la suma de los valores de calidad paisajística para todos los tramos definidos se encuentran dentro del nivel de **“Baja calidad paisajística”** con 11 y 13 puntos, siendo el valor de 13 el límite superior entre una calidad paisajística baja y moderada. En la Figura 224 y Figura 225 se pueden evidenciar algunos tramos del sistema donde la condiciones paisajísticas son inadecuadas.



Figura 224. Ilustraciones de la morfología del tramo Cabrero (Tramo 4)



Figura 225. Ilustración de la morfología del tramo Mercado (Tramo 8).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

4. PLANTEAMIENTO DE RECOMENDACIONES PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL SISTEMA DE CAÑOS Y LAGOS Y SU ÁREA DE INFLUENCIA.

A continuación se presentan las recomendaciones para el ordenamiento territorial del sistema de caños y lagos y su área de influencia, las cuales fueron definidas bajo un enfoque que busca la recuperación, protección y manejo adecuado de las zonas que garantizan el mantenimiento de las relaciones que se deben presentar entre los componentes biofísicos del área de estudio para que la estructura ecológica principal del sistema se recupere y se conserve.

4.2. Potenciar el impacto positivo que genera la Bahía Interna de Cartagena en el sistema de caños y lagos.

Potenciar el impacto positivo que genera la Bahía Interna de Cartagena en materia de mejoramiento de la Calidad del agua los cuerpos de agua del sistema de caños y lagos, específicamente sobre la laguna de San Lazaro y Ciénaga de las Quintas (ver numeral 3.2.1.2 de este informe).

4.3. Mejorar las condiciones hidráulicas en el punto de conexión de la ciénaga de la Virgen con el sistema de Caños y Lagos

Mejorar las condiciones hidráulicas en el punto de conexión de la ciénaga de la Virgen con el sistema de Caños y Lagos de tal manera que se aumente la oxigenación de estos últimos y además puedan verse beneficiados por la acción de la Bocana Estabilizadora.

4.4. Reducción de los caudales de escorrentía de los suelos de las cuencas que drenan hacia el sistema de caños y lagos internos.

Teniendo en cuenta que el suelo de las cuencas que drenan hacia el sistema de caños y lagos presenta un nivel de infiltración bajo, (ver Figura 199), es necesaria que las mismas sean sometidas a medidas de manejo que busquen mejorar esa condición reduciendo los caudales de escorrentía. Se recomienda la implementación de sistemas urbanos de drenajes sostenibles y la ejecución del Plan Maestro de Drenajes Pluviales de la Ciudad de Cartagena, 2010. Esta acción apoyará en la mitigación del fenómeno de sedimentación que actualmente se presenta en el cerro de la Popa.

4.5. Delimitación de la ronda hídrica de protección del sistema de caños y lagos y zonificación ambiental de la misma.

Es necesario que el EPA delimite la ronda hídrica del sistema de caños y lagos, bajo un enfoque que busque:

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

4.5.1. Recuperar y proteger las características ecosistémicas de la ronda.

Recuperar y proteger las características ecosistémicas. En este sentido se debe Recuperar y proteger el manglar que bordea las rondas hídricas de del sistema de caños y lagos internos, como elemento amortiguador del sistema y como filtros de retención que eviten la entrada a estos cuerpos de agua, de sedimentos y elementos provenientes de las prácticas antrópicas. Para tal fin también se recomienda:

- Se recomienda estudios más exhaustivos para conocer el estado de las poblaciones de anfibios y reptiles que puedan estar habitando el bosque de manglar, a partir de diagnósticos que permitan conocer como las especies de reptiles y anfibios usan los hábitats presentes en las áreas de estudio.
- De establecerse las aves acuáticas como un grupo focal susceptible de monitoreo periódico a lo largo del tiempo, se necesitarían metodologías específicas. Sería importante identificar especies de aves acuáticas que puedan servir como indicadoras del estado de conservación de los cuerpos de aguas (cuerpos estacionales y caños) y que en conjunto con otros grupos biológicos, podrían dar una visión muy cercana de la dinámica de estos ecosistemas y de la salud de los mismos.
- Realizar estudios puntuales enfocados al censo de aves acuáticas, hay varias iniciativas nacionales e internacionales a las que se podría vincular la ciudad como sitio importante para la comunidad de aves acuáticas residentes y migratorias.
- Establecer programas de monitoreo permanente en aves focales, como las migratorias tanto acuáticas como terrestres, a fin de conocer el valor real del ecosistema de manglar para estas comunidades.

4.5.2. Recuperación y protección de las zonas de amortiguación hidráulica del sistema de caños y lagos.

Garantizar el territorio necesario para que el comportamiento hidrodinámico del sistema no se vea confinado, es decir que cuente con zonas libres de aumento y disminución de niveles de agua. En este sentido se propone adoptar el concepto de *Dos Zonas de Inundación* para el establecimiento, regulación y manejo de las zonas de inundación. La Figura 226 muestra el perfil típico del concepto propuesto.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	---

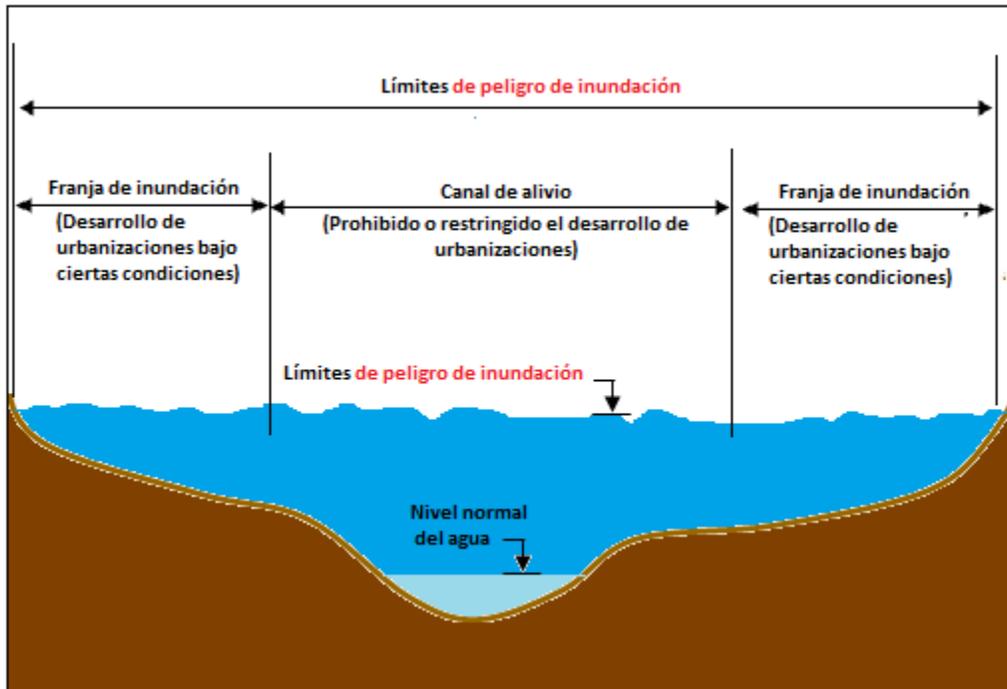


Figura 226. Concepto de dos zonas de inundación. Fuente: adaptado de Ontario Ministry of Natural Resources, 2002

Dónde:

- (a) Canal de alivio. Porción del canal por donde las inundaciones más frecuentes y la velocidad del agua es más rápida. Se determina con base en un caudal con un periodo de retorno de 20 o 25 años.
- (b) Franja de inundación extrema. Porción del canal por donde las inundaciones son menos frecuentes y la velocidad del agua es menor que en la del canal de alivio. Se determina con base en un caudal con un periodo de retorno de 100 años.

Se define adicionalmente:

- (c) Zona de amortiguamiento. Área que se establece para separar las áreas urbanizadas (u ocupadas) de los cuerpos de agua para suministrar protección.
- (d) Zona de inundación debido al cambio climático. Es una extensión de la franja de inundación extrema que tiene la posibilidad de ser afectada por un evento extreme debido al efecto del cambio climático.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

4.6. Recuperación y protección las coberturas vegetales en la totalidad de las fajas de protección¹⁰ (Bosques Riparios) de los arroyos y canales que drenan aguas hacia el sistema de caños y lagos internos.

Recuperar y proteger las coberturas vegetales en la totalidad de las fajas de protección¹¹ (Bosques Riparios) de los arroyos y canales que drenan aguas hacia el sistema de caños y lagos internos, de tal manera que dichas coberturas se potencien como filtros de retención que eviten la entrada a los arroyos, de sedimentos y elementos provenientes de las prácticas antrópicas (en especial residuos sólidos). En este propósito es necesario que la Secretaria de Planeación y el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena - EPA, desarrollen la zonificación de la faja de protección de los arroyos principales evitando actividades de tipo residencial, industrial y/o comercial sobre ellas.

En este sentido la ciudad de Cartagena ya tiene la tarea adelantada para algunos arroyos principales, y dicho adelanto fue realizado en el marco del proyecto “AJUSTE DE LOS CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE RONDAS HÍDRICAS EN ZONAS URBANAS E IMPLEMENTACIÓN DE LOS CRITERIOS EN TRECE CUERPOS DE AGUA DE LA CIUDAD DE CARTAGENA, DEPARTAMENTO DE BOLÍVAR” que fue formulado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2015.

Es necesario que el EPA – Cartagena se articule con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para continuar en el proceso de zonificación de la faja de protección de los arroyos que aún no cuenten con ese ejercicio. Además que coadyuven en la implementación de los que se encuentran adelantados.

4.7. Control de inundaciones en las zonas aledañas al sistema de caños y lagos.

Controlar los niveles de agua para mejoramiento del comportamiento hidrodinámico del sistema y en especial para evitar inundaciones en zonas aledañas.

Con el fin de plantear una solución a estas problemática, Arrieta, A. y Rejtman, P, realizaron el estudio denominado “Simulación hidráulica de las compuertas de marea

¹⁰ Según el **Literal d** del **Artículo 83** del Decreto 2811 de 1974 (Código Nacional de los Recursos Naturales) establece que sobre la roda de un río o lago se debe conservar una faja paralela a la línea de mareas máximas de hasta treinta metros de ancho.

¹¹ Según el **Literal d** del **Artículo 83** del Decreto 2811 de 1974 (Código Nacional de los Recursos Naturales) establece que sobre la roda de un río o lago se debe conservar una faja paralela a la línea de mareas máximas de hasta treinta metros de ancho.

estabilizada de la ciénaga de la Virgen de la ciudad de Cartagena”; en el cual fue analizada la influencia que tiene la ciénaga de la Virgen junto con la manipulación de las compuestas de la Bocana, para mitigar las inundaciones antes mencionadas.

Dicho estudio valoró el efecto de las lluvias extremas realizando la diferencia entre los niveles de estimados sin lluvia y los niveles obtenidos para los hidrogramas de lluvias de 10 y 100 años. Los resultados se muestran en la Figura 227, donde se aprecia que se obtiene para 100 años valores de ascenso del nivel de 82 cm, y de 40 cm para periodo de retorno de 10 años.

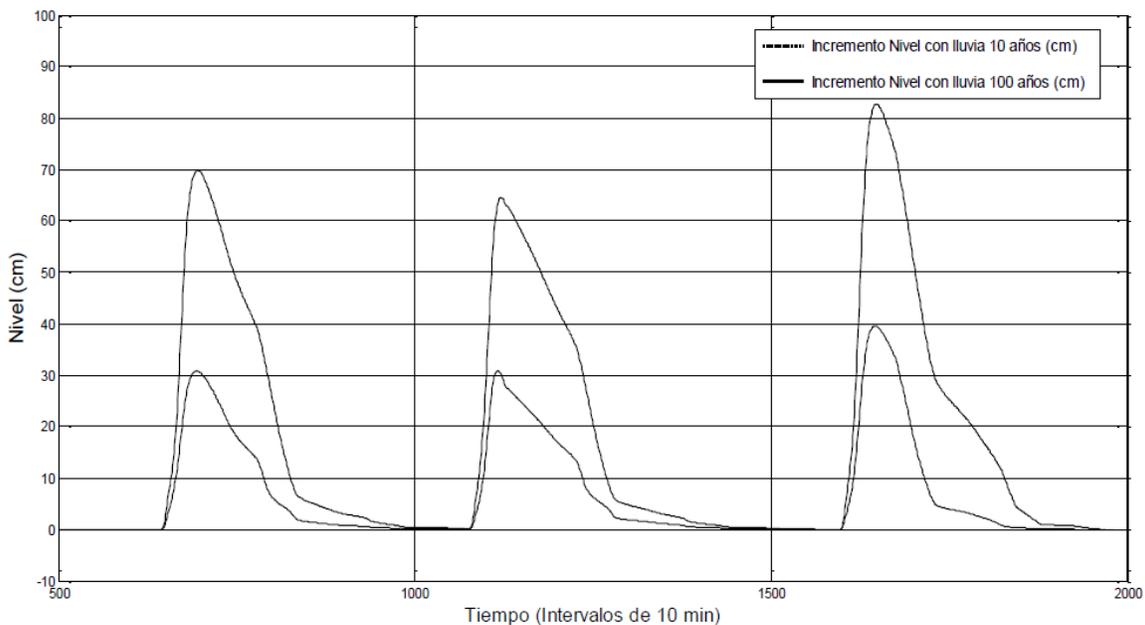


Figura 227. Niveles estimados por efectos de lluvias de 10 y 100 años de periodo de retorno.
Fuente: Arrieta, A. y Rejtman, P

Adicionalmente el mismo estudio analizó el efecto de las lluvias extremas sobre los caudales, obteniendo la serie de diferencias entre los caudales obtenidos con lluvias de 10 años y 100 años, con los caudales obtenidos sin lluvia. En la figura 14, se muestran los hidrogramas de lluvias para 10 y 100 años y el incremento de caudal en la Bocana por efecto de las lluvias para 10 y 100 años de periodo de retorno. Los resultados muestran que el caudal pico del orden de 1400 m³/s, para una lluvia con periodo de retorno de 100 años es amortiguado a un caudal pico del orden de 400 m³/s, lo cual muestra que la Ciénaga amortigua los caudales extremos a más de un 70%. Para el periodo de retorno de 10 años con caudal pico del orden de 690 m³/s, se obtiene un caudal en la Bocana incremental de 320 m³/s, proporcionando una regulación superior al 50%.

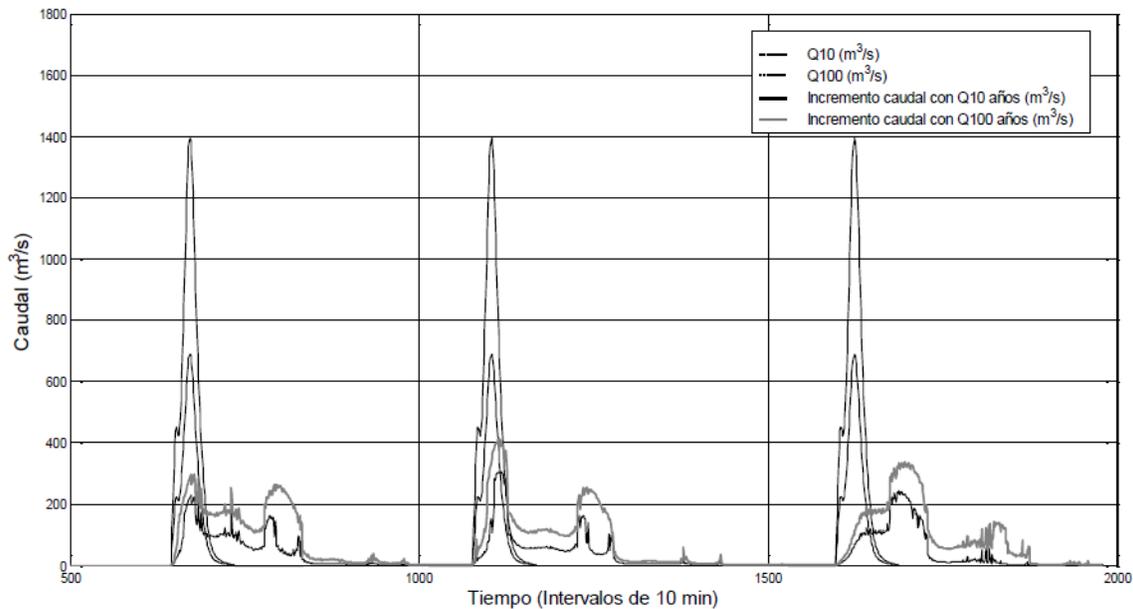


Figura 228. Caudales estimados de la salida en la Bocana por efecto de lluvias de 10 y 100 años de periodo de retorno. Fuente: Arrieta, A. y Rejtman, P

Como conclusiones del estudio realizado por Arrieta, A. y Rejtman, P se obtuvieron las siguientes:

- La manipulación de las compuertas de entrada a la Ciénaga de la Virgen produce una depresión del nivel interno, del orden de 25 cm. Lo cual puede ser utilizado como una medida para bajar la cota del control hidráulico en la descarga de los canales y arroyos de la ciudad de Cartagena que llegan a la Ciénaga, y dar una mayor capacidad de almacenamiento a la Ciénaga.
- Lluvias con periodos de retorno de 100 años producen ascensos del nivel de la Ciénaga del orden de ochenta centímetros (80 cm), y para periodos de retorno de 10 años, cuarenta centímetros (40 cm).
- La Ciénaga de la Virgen tiene una capacidad de regulación de los caudales picos de escorrentía superficial del orden del 70%, para lluvias extremas con periodos de retorno estimado en 100 años, y 50% de regulación para eventos extremos de periodo de retorno de 10 años.

Como conclusión final se recomienda: la manipulación de las compuertas de entrada a la Ciénaga de la Virgen produce una depresión del nivel interno, del orden de 25 cm. Lo cual puede ser utilizado como una medida para bajar la cota del control hidráulico en la descarga de los canales y arroyos de la ciudad de Cartagena que llegan a la Ciénaga, y dar una mayor capacidad de almacenamiento de la Ciénaga y en consecuencia al sistema de caños y lagos internos.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

4.8. Manejo de Aguas Residuales y Residuos sólidos.

Los vertimientos incontrolados e ilegales a los caños y lagos internos de la ciudad se constituyen en la principal causa de alteración de la calidad del agua de dichos cuerpos trayendo como consecuencia la afectación del ecosistema en general. Es por esto que una de las actividades a ejecutar a corto plazo debe ser la erradicación de los vertimientos de aguas residuales a los cuerpos de agua y a canales que drenan a dichos cuerpos. Para esto es necesario realizar programas de educación a la comunidad y aumentar la cobertura del sistema de alcantarillado.

Es claro que muchos vertimientos se originan en comunidades ubicadas en invasiones por lo que no es posible que la empresa operadora del sistema de alcantarillado, pueda suministrar el servicio. En este caso es necesario que las autoridades del distrito desarrollen programas de recuperación de predios.

Por otro lado, conociendo de que existen emisarios de emergencia de aguas residuales operados por Aguas de Cartagena, se recomienda el desarrollo de un estudio que permita identificar el impacto real de estos vertimientos y como deben controlarse de acuerdo con las condiciones ambientales e hidráulicas de los cuerpos de agua.

En cuanto a la disposición inadecuada de residuos sólidos, es necesario que el Distrito implemente el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos adoptado, el cual contempla programas de cultura ciudadana y la recuperación de lotes donde estén ubicados botaderos satélites. Una de las principales causas de la contaminación por residuos sólidos en los cuerpos de agua internos de Cartagena es la presencia de comunidades en predios invadidos, las cuales disponen sus residuos de manera incontrolada en los cuerpos de agua. Adicionalmente a esto, debido a que algunos cuerpos de agua están localizados en puntos donde existe actividad comercial o de alta movilidad peatonal, éstos se constituyen en focos de disposición inadecuada de residuos.

Por lo anterior es un reto de las autoridades distritales solucionar los problemas asociados a las invasiones de predios. Además es necesario que el distrito lidere proyectos de educación ambiental y ejerza control al comercio formal e informal con el fin de mejorar el manejo de residuos sólidos.

4.9. Detener el fenómeno de invasión de rondas hídricas al que está sometido el sistema de caños y lagos.

De acuerdo al análisis de evolución de orillas desarrollado por el presente estudio, se pudo notar que el sistema de caños y lagos ha sido sometido a un proceso de invasión de sus rondas hídricas que ha causado su confinamiento. Es importante que el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena lidere la formulación, diseño e implementación de programas, proyectos y normas, con vigencia indeterminada, que detengan este fenómeno.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

4.10. Fortalecimiento y articulación institucional en torno al manejo del sistema de caños y lagos de la ciudad de Cartagena.

Con el propósito de garantizar la buena calidad del sistema de caños y lagos es necesario que las instituciones que allí tienen competencia trabajen de forma articulada y tengan en cuenta las siguientes recomendaciones.

4.10.1. Control de inundaciones.

- Necesidad de articulación de todos los programas y proyectos entre sí de manera inter-institucional cuando estos sean de interés común en temas de inundación.
- Los mapas de delimitación de las zonas de inundación deberán ser incorporados en los Planes de Ordenamiento Territorial (*POT*). Estos mapas son parte de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (*POMCAS*) en lo concerniente a la evaluación/diagnóstico de la gestión de riesgos y zonificación ambiental (MinAmbiente, 2014. pp. 49, 56, 71 y 76). Adicionalmente, su objetivo deberá también ser direccionado hacia la definición de políticas:
 - (a) tendientes a brindar el manejo apropiado para aquellas zonas ya construidas susceptibles de inundación y evitar los riesgos inherentes.
 - (b) a través de las cuales no se permita la construcción de nuevas edificaciones o estructuras susceptibles a daños relacionados con la inundación o aquellas estructuras que puedan causar un impacto adverso en áreas ya urbanizadas (construidas/desarrolladas) aguas arriba o abajo; más específicamente, lo relacionado con el aumento de los caudales de escorrentía debido a un incremento en las áreas impermeables (urbanizadas/construidas) sin el debido manejo de los caudales en exceso mediante planeación.
 - (c) que permitan manejar la adición, alteración o reemplazo de edificios o estructuras existentes en las zonas de inundación definidas.
 - (d) que den lineamientos acerca de los cuidados a tener en cuenta durante trabajos de construcción y reparación (y relacionados) públicos y privados que necesiten ser temporalmente localizados en las zonas de inundación.
 - (e) para la implementación reglamentaria de planes de prevención de contaminación por agua lluvia (*PPCA*) para todos los proyectos de construcción de la ciudad para el control de la escorrentía durante la duración del proyecto con el fin de identificar todas las posibles causas de contaminación. Con respecto a inundaciones, los aportes de sedimentos por escorrentía reducen el volumen de los cuerpos de agua y, por consiguiente, aumentan los riesgos por inundación.
- Creación de una base de datos cartográfica actualizada y unificada que permita una delineación del mapa de inundaciones más precisa. La Tabla 56 muestra algunos de los insumos propuestos.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Tabla 56. Insumos propuestos para el mejoramiento de los mapas zonas de inundación

Ítem/Actividad	Comentario
Levantamiento topográfico de caños, lagunas y ciénagas (mínimo 200 m a lado y lado de las orillas).	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión 0,5 m. • Perfiles de playa espaciado cada 100 m, con precisión de 0,5 m. • Estructuras localizadas a lo largo (y en) de los cuerpos de agua.
Ubicación de mojones referenciados (sistema Magna Colombia Bogotá) que cubran toda la ciudad).	<ul style="list-style-type: none"> • Cerro de La Popa. • Barrió El Paraguay. • Centro de la ciudad, sector amurallado cerca a los Alcatraces. • Zona suroriental (vía perimetral). • Zona industrial de Mamonal. • Terminal de Transporte Terrestre. • Bomba el Amparo. • Sociedad Portuaria Regional Cartagena (zona aledaña). • Zona sur (salida a Turbaco).
Sistema vial	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa actualizado de localización del sistema vial de la ciudad.
Uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Actualización del mapa del uso del suelo. Se recomiendan actualizaciones cada 5 años. Preferiblemente a escala 1:10.000 o 1:25.000.
Cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Actualización del mapa de cobertura vegetal. Se recomiendan actualizaciones máximo cada 5 años. Dado a que el área de influencia del sistema de caños y lagos es pequeña, se recomienda utilizar una escala más pequeña (1:10.000 o 1:25.000) a las actualmente disponibles. (1:100.000 o 1:500.000).

4.10.2. Restricciones sobre nuevos proyectos de desarrollo urbano en las rondas hídricas del sistema de caños y lagos.

(f) Clasificación de proyectos para las zonas de inundación. Necesaria para determinar las correspondientes restricciones para las zonas de inundación y amortiguamiento:

- Alteraciones temporales: en la zona de amortiguamiento, zona de inundación por cambio climático, zona de inundación extrema, canal de alivio, dentro del cuerpo de agua.
- Usos no estructurales. Proyectos de espacios abiertos para recreación, pastizales, mejoramiento de la vida silvestre.
- Estructuras hidráulicas. Embarcaderos, marinas, estaciones de bombeo, descargas de agua residual y de agua lluvia.
- Estructuras menores. Proyectos solo impliquen la perturbación del suelo, como por ejemplo: tuberías, líneas de transmisión, senderos,

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

carreteras, asumiendo de que no habrá un cambio en la pendiente natural del terreno.

- Estructuras cuyo uso no es principalmente el de uso residencial. Comercial, industrial o institucional en donde se realizará un cambio en la pendiente natural del terreno, pero dicha estructura no es precisamente una edificación.
- Estructuras para la industria marítima y pesquera.
- Institucionales. Hospitales, albergues, escuelas.
- Residencial. Urbanizaciones/barrios.

A continuación se propone la Tabla 57 para la restricción de los distintos proyectos dentro de las zonas previamente definidas, cuya categorización deberá ser debidamente evaluada mediante el establecimiento de los planes de manejo de inundación (ver siguiente ítem):

Tabla 57. Clasificación de proyectos en zonas de inundación

Clasificación	Dentro de toda la zona de inundación	Zona de inundación específica	
		Canal de alivio (Tr 20 o 25 años)	Zona de inundación extrema (Tr 100 años)
Alteraciones temporales	Permitido	Permitido	Permitido
Usos no estructurales	Permitido	Permitido	Permitido
Estructuras hidráulicas	Permitido	Permitido	Permitido
Estructuras menores	Permitido	Permitido con condiciones	Permitido con condiciones
Estructuras cuyo uso no es principalmente el de uso residencial	Permitido con condiciones	Permitido con condiciones	Permitido con condiciones
Estructuras para la industria marítima y pesquera	Permitido con condiciones	Permitido con condiciones	Permitido con condiciones
Institucionales	No permitido	No permitido	No permitido
Residencial	No permitido	No permitido	Permitido con condiciones

Fuente: adaptado de Department of Environment and Conservation of Newfoundland, Labrador, Canada. (http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/regulations/policies/flood_plain.html).

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

4.10.3. Implementación de Guías técnicas

Desarrollo e implementación de guías técnicas y planes de manejo para inundaciones (*PMI*) –como parte complementaria a lo solicitado en los *POMCAS*–, que tenga en cuenta las áreas al interior de la ciudad aledañas a los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) y las zonas costeras. Los *PMI* deberán, como mínimo, tener en incluir: (a) impactos probables del cambio climático, (b) efecto del manejo del uso del suelo y la cobertura vegetal, (c) cómo el desarrollo de las áreas deberá ser planificado para evitar problemas posteriores de inundación, (d) categorización de los tipos de proyectos permitidos en las distintas zonas de inundación establecidas y (e) planes de manejo de riesgos de inundación.

		<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	---	--	---

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias. (2010). *Diagnóstico del Distrito de Cartagena en Materia de Ordenamiento Territorial*. Cartagena de Indias: instituto de Políticas Públicas, Regional y de Gobierno- Universidad de Cartagena.

Beltrán, A., & Suarez, L. (2010). Diagnóstico ambiental de los cuerpos internos de agua de la cuida de Cartagena de Indias. Cardique- Fundación Universitaria Tecnológico de Comfenalco.

Decreto 1594 del año 1984. Ministerio de Agricultura. Diario Oficial No. 36.700, del de junio de 1984.

Ensuncho L. Garcia C. y Ustáriz G. (1996). Plan de Ordenamiento Ambiental del Sistema de Caños y Lagos Internos de la ciudad de Cartagena de Indias. Tesis de Grado del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia 1996.

El Tiempo (2012). Diario el Tiempo publicado el 24 de Abril de 2012.

El Universal (2009). Muerte de peces. *El Universal*, pág. 4 C. 18 de Agosto de 2009, 24 de Abril de 2012.

El Universal (2014). Diario el Universal publicado el 25 de Febrero de 2014.

Lonin S. Tuchkovenko Y. (2001). Water quality modelling for the ecosystem of the Ciénaga de Tesca coastal lagoon. *Ecological Modelling* 144 (2001) 279–293.

Haskoning. Evaluación del monitoreo ambiental Fase I Obra: Calidad del agua de los sedimentos. Cartagena, Colombia. 2000.

Haskoning. Evaluación del monitoreo ambiental Fase II Informe de Avance No.2 Cartagena Colombia: 2001.

Haskoning. Evaluación del monitoreo de calidad del agua. Informe Final. Cartagena Colombia: 2002.

IDEAM. (2004). *Guía para el Monitoreo y seguimiento del Agua*.

Instituto de Políticas Públicas, Regional y de Gobierno (IPREG), Universidad de Cartagena y Alcaldía Mayor de Cartagena. Diagnóstico ambiental en materia territorial. 2010.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Tirado, O., Manjarrez, G., & Díaz, C. (2011). Caracterización Ambiental de la Ciénaga de la Quinta localizada en Cartagena de Indias Colombia, 2009 - 2010. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 14, 131 - 139.

Universidad de Cartagena, EDURBE & FONADE. (1992). *Estudio del Comportamiento Hidráulico – Ambiental de los Caños y Lagos de Cartagena*. Cartagena.

Buchman, M.F. 2008. Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle WA, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration, 34p.

INVEMAR. 2011a. Sistema de Información Ambiental Marina de Colombia – SIAM. Base de datos. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM. <http://www.invemar.org.co/siam/redcam>. 22/10/2011.

PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Alcaldía de Cartagena de Indias, EPA Cartagena - Establecimiento Público Ambiental de Cartagena, Observatorio del Caribe Colombiano. 2009. Perspectivas del medio ambiente urbano: GEO Cartagena. Cartagena, 164 p.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1984. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. Manuales y guías No. 13 de la COI. 87 p.

UNESCO. 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. 87 p.

Haskonning. 2000. Evaluación del monitoreo ambiental fase I Obra: Calidad del agua y de los sedimentos. Cartagena Colombia.

Haskonning. 2001. Evaluación del monitoreo ambiental fase II. Informe de avance No. 2: Cartagena Colombia.

Haskonning. 2002. Evaluación del monitoreo de calidad del agua. Informe final : Cartagena Colombia.

Glyn and Cary. 1996. Ingeniería Ambiental. Edición 2ª. Editorial Prentice Hall. México

Guzmán-Alvis, A. I., O. D. Solano, M. E. Córdoba-Tejada y A. C. López-Rodríguez. 2001. Comunidad macroinfaunal de fondos blandos someros tropicales (Caribe colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 30: 39-66.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Guzmán-Alvis, A., P. Lattig y J. A. Ruíz. 2006. Spatial and temporal characterization of soft bottom polychaetes in a shallow tropical bay (Colombian caribbean). Bol. Invest. Mar. Cost. 35: 19-36.

Ramírez, A. y G. Viña. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá (Colombia). 293 pp.

Ramírez, J. J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Editorial Universidad de Antioquia. 207 pp.

Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia/Colciencias/Universidad de Antioquia. Bogotá (Colombia), 217 pp.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín (Colombia), 529 pp.

Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: uso del método BMWP/Col.. Editorial Universidad de Antioquia, 170 pp.

Consejo Europeo de Normas para calidad de agua superficial 1978. Preservación de Flora y Fauna.

Norma Peruana para calidad de agua superficial de origen Estuarino. 2002. Usos de Recreación y Preservación de Flora y Fauna.

Normas de la EPA de US. 2009. Water Quality Criteria for saltwater and estuarine.

Antonopoulos V., Gianniou S. (2003). Simulation of water temperature and dissolved oxygen distribution in Lake Vegoritis, Greece. Ecological Modelling 160 (2003) 39-53.

Aqualab (2002). Manual de referencia para modelación de cuerpos de agua en 2 y 3 dimensiones. 100 P.

Arrieta, A., Rejtman, P. y Escorcía, H., Validación de una nueva metodología de simulación hidrodinámica de estuarios y bahías en la Ciénaga de la Virgen de la ciudad de Cartagena., Seminario Internacional La Hidroinformática en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, 2002.

Arrieta, A. Estudio y Diseño de los drenajes pluviales principales del Aeropuerto Rafael Núñez. Cartagena: Hidroconsultores, 2005.

Baedecker, M.J., Siefel, P. C. Bennett, and I.M. Cozzarelli, The fate and effects of crude oil in a Shallow Aquifer: I. The Distribution of Chemical Species and Geochemical facies,

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

In. Mallard, G.E., and S.E. Ragone, ed's. USGS toxic substance hydrology program proceedings of chemical Meeting, Phoenix, AZ, 9/26-9/30/88, USGS water resources investigations report 88-4220, p. 13-20, 1988.

Beltrán. A & Suarez. L, Diagnostico Ambiental de los Cuerpos internos de agua de la Ciudad de Cartagena de Indias. Cartagena: CARDIQUE, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, 2010.

Best M., Wither A., Coates S. (2007). Dissolved oxygen as a physico-chemical supporting element in the Water Framework Directive. Marine Pollution Bulletin 55 (2007) 53–64.

Cánepa, Lidia; Maldonado, Víctor; Barrenechea, Ada; Aurazo, Margarita. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. . Manual I: Teoría tomo 1. Lima. ; CEPIS. ; 2004. , l. 306. p. Ilus./tab.

Cárdenas, Jorge. Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales. Editorial: Universidad Distrital Francisco José de Caldas Edición: Primera, 2005. 280 páginas

Cardeñosa J, Kanasewich D, Mendoza R, Rodríguez Le, Rojas V, Galiano F, De Cristancho Lp. Evaluación de la contaminación actual en la hoya hidrográfica del río Magdalena. Proy. IIT/Colciencias 30026-1-01-70. Vol. 1 y 2. Bogotá. Informe Final; 1973.

Cardique, (1998). Agendas concertadas para la gestión ambiental municipal, Cartagena.

Castanedo, S. (2000). “Desarrollo de un modelo hidrodinámico tridimensional para el estudio de la propagación de ondas largas en estuarios y zonas someras”. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria. 283 pp.

Clarke, K. R. y R. M. Warwick. 2001. Change marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Second edition. PRIMER-E Ltd. Plymouth Marine Laboratory, UK. 165 pp.

Crisci, J. y M. López. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Monografía No 26 OEA. Serie Biología. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Washington. 132 pp.

C.H.N. (1995). “Metodología de estudio de los saneamientos litorales”. Confederación Hidrográfica del Norte, Dir. Téc., Oviedo.

Chapra, S. 1997. Surface Water-Quality Modeling. Ed. Mc Graw-Hill. USA. 844 p.

Chapra, Steven. Surface Water Quality Modeling - Mc Graw Hill. 2001. 456 P.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Cook, H. 1964. A generic key to the protozoan, mysis and postlarval stages of the littoral of the northwestern gulf of Mexico. Contribution N°189, Bureau of Commercial Fisheries Biological Laboratory, Galveston, Tex. Fish. B-NOOA., 65(2): 437-447.

Cowardin , L.M., V. Carter, F.C. Golet & E.T. LaRoe. 1979. Classification of wetlands and deep water habitats in the United States. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington D.C. U.S.A.

Davis, T.J., D. Blasco, y M. Carbonel. 1996. Manual de la convención de Ramsar. Una guía- a la convención sobre los humedales de importancia internacional. Convención Ramsar y Ministerio del Medio Ambiente de España.

Debelaar. G, and P. Geeders. 2004. Innovative Technologiest to Monitor Plankton Dynamics. Scanning Flow Cytometry: A New Dimension In Real-Time In-Situ Water Quality Monitoring. Sea Technology. 45(8):15-21.

Deboyd, L. y A. Smith. A. 1977. Guide to marine zooplankton and marine invertebrate larvae. Editorial Kendall/Hunt. EE.UU. 161 pp.

Decreto 1594 del año 1984. Ministerio de Agricultura. Diario Oficial No. 36.700, del de junio de 1984.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2005). Perfil Municipal CARTAGENA]» (en español). DANE 13/09/2010 (2012). Consultado el 18 de Enero de 2014. URL: http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/13001T7T000.PDF

Di Toro, D. M. Probability model of stream quality due to runoff. J. Environ. Engr. ASCE 110(3) (1984): 607-628.

Dugan, P. 1992. Conservación de humedales. Un análisis de temas de actualidad y acción inmediata. UICN. Gland, Suiza.

Ensuncho L. Garcia C. y Ustáriz G. (1996). Plan de Ordenamiento Ambiental del Sistema de Caños y Lagos Internos de la ciudad de Cartagena de Indias. Tesis de Grado del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia 1996.

El Tiempo (2012). Diario el Tiempo publicado el 24 de Abril de 2012.

El Universal (2009). Muerte de peces. *El Universal*, pág. 4 C. 18 de Agosto de 2009, 24 de Abril de 2012.

El Universal (2014). Diario el Universal publicado el 25 de Febrero de 2014.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura, La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago de Chile, Chile.

Esteves, F.A (1998). Fundamentos de Limnología. Rio de Janeiro: Editora Interciência. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998. 464 p.

Even S., Mouchel J., Servais P., Flipo N., Poulin M., Blanc S., Chabanel M. y Paffoni C. Modelling the impacts of combined Sewer Overflows on the river Seine water quality. Laboratoire d'Écologie des Systèmes Aquatiques, Université Libre de Bruxelles. Bruxelles – France. The science of the total environment 140-151, 2007.

Farquhar, G.D. and Richards R.A. 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. Aust. J. Plant Physiol. 11: 539-552.

Farinha, J.C., L.T. Costa, G. Zalidis, A. Matzavelas, E. Fitoka, N. Heker & P.T. Vives. 1996. Mediterranean wetland inventory: hábitat description system. Lisboa. MedWet. ICN, Wetlands International, Greek Biotope, EKBYPublication.

Fonds d'Études et d'Aide au Secteur Privé – FASEP-Études y Cormagdalena (2007). Informe de Consolidación Restauración del Canal del Dique. Universidad Nacional, Bogota - Colombia.

Gómez Díaz, Hector. Una nueva formulación para el problema del transporte por convección-difusión. Escuela técnica superior de ingenieros de camino, canales y puertos, Universidad de Coluña. 2006. Disponible en: <http://www.etsia.upm.es/antigua/direccion/documentos>. Consultado el 25 nov 2008.

Govinden (1985), [Introducción](#) a la Estadística, Ed. McGraw Hill. Interamericana Editores. S.A., Bogotá, [Colombia](#).

Guiry, M. D. y G. M. Guiry. 2012. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; Fecha de consulta: Diciembre de 2013.

Gutiérrez, M.E. 2008. Cladocera y Copepoda de las aguas continentales de México. Guía Ilustrada. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. UNAM. Facultad de Estudios Superiores-Iztacala. El Colegio de la Frontera Sur. 322 p.

Halstead R.L. y Meckercher R.B. 1975. Biochemistry and cycling of phosphorus. In: E.A. Paul y A. D. Mc Laren (Eds.) Soil biochemistry. Vol. 4. Marcel Deckker. New York, pp.31-63.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Hecker, N., Costa, L.T., J. C. Farinha & P. Tomas Vives. 1996. Mediterranean Wetland Inventory: data recording. Lisboa: MedWet, ICN, Wetlands International, Greek Biotope. EKBT Publication.

HE-MAVDT-GEOINGENIERIA LTDA. (2002). Ampañas hidrobiológicas y análisis de calidad ecosistémica en el complejo cenagoso aledaño al canal del dique incluido el recurso pesquero. 340 p.

Herrera J., Morales S. (2009). Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. Marine Pollution Bulletin 59 (2009) 72–86.

HOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. Santafé de Bogotá: McGraw Hill, 1994. 667 p.

IDEAM. (2009). Boletines informativos sobre el monitoreo del Fenómeno del Niño.

IGAC (2012). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Mapas Departamentales de Colombia. Bogotá, Colombia.

Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales de la Universidad del Norte (IDEHA). 2003. Caracterización de la actividad pesquera en el Canal del Dique. Fase I. Alto y medio Canal del Dique, aspectos pesqueros. Informe final. Tomo I. Cormagdalena, Barranquilla. 141 p.

James, A. An Introduction to Water Quality Modelling, John Wiley & Sons. 1993.

Kadlec, R. and R. Knight. 1996. Treatment Wetlands. Ed. CRC Press. USA. 893p.

Kiely, G. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos Tecnologías y Sistemas de Gestión, McGraw-Hill, 1999.

Krenkel, P.A. and Novotry, V. Water quality management, Academic Press, N.Y. 1980.

Lonin S., Tuchkovenko Y. (2001). Water quality modelling for the ecosystem of the Ciénaga de Tesca coastal lagoon. Ecological Modelling 144 (2001) 279–293.

Ludwig, J. y J. Reynolds. 1988. Statistical ecology. A primer on methods and computing. New York. John Wiley & Sons. 337 pp.

Mandal S., Debnath M., Ray S. Phani B., Roy M, Ray S., (2012). Dynamic modelling of dissolved oxygen in the creeks of Sagariland, Hooghly–Matla estuarine system, West Bengal, India. Applied Mathematical Modelling 36 (2012) 5952–5963.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Ministerio del Medio Ambiente-Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 1999. Humedales Interiores de Colombia: Bases Técnicas para su Conservación y Uso Sostenible.

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, INVEMAR, CIOH, *Et Al.* (2002). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas costeras de Colombia.

Ministerio de Medio Ambiente y Universidad Nacional (2002). Dinámica fluvial, deltaica y litoral del Canal del Dique bases para la planificación y el desarrollo sostenible.

Monerris, Miguel Martin; Marzal D. Paula. Modelación de la calidad del agua. Universidad Politécnica de Valencia-España. 2004. <http://www.uv.es/ingamb.htm>. Consultado el 12 feb 2009.

Mouthon A. y Tapia T. (1997). Modelación de Calidad de Agua del Sistema Lagunar Juan Gómez, Dolores y Bohórquez. (Referencia: T628.161/M934). Tesis de Grado del Programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia 1997.

Naranjo. L.G. 1997. Humedales de Colombia. Ecosistemas amenazados. En: Sabanas, vegas y palmares. El uso del agua en la Orinoquia colombiana. Universidad Javeriana – CIPAV.

NCRS (1986). Urban Hydrology for small Watersheds, TR 55.

Neal, C. House A., Jarvie H. Neal M. Hill L, Wickham H. (2006). The water quality of the River Dun and the Kennet and Avon Canal. *Journal of Hydrology* (2006) 330, 155– 170.

Park S., Yumee N. y Uchrin C. An oxygen equivalent model for wáter quality dynamics in a macrophyte dominated river. Department of environmental Sciences - Rutgers University. *Ecological Modelling* 168 (2003) 1-12.

Raciny, I., Camacho, L. A. “Investigación y extensión del modelo computacional del impacto de las aguas residuales municipales sobre la red hídrica colombiana”, XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad Guayana, Venezuela. Memorias del XXII Congreso, 2006.

Ramírez, A. y G. Viña. 1998. Limnología Colombiana. Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá (Colombia). 293 pp.

Ramírez, J. J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Editorial Universidad de Antioquia. 207 pp.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

Rauch W., Henze M. Koncsos L. Reichert P. Shanahan P. Somlyódy L. and Vanrolleghem P. (1998). River water quality modelling: I State of the art. Presented at the IAWQ Biennial International Conference, Vancouver, British Columbia, Canada, 21-26 June 1998

Ronzano E. y Dapena J. (1996). Medidas para la contaminación orgánica. Universidad Politécnica de Valencia. 7 P.

Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia/Colciencias/Universidad de Antioquia. Bogotá (Colombia), 217 pp.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín (Colombia), 529 pp.

Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: uso del método BMWP/Col.. Editorial Universidad de Antioquia, 170 pp.

Schooner J.L., 1996. Environmental Modelling, John Wiley and Sons, Inc., 1-2.

Steeter, H.W., Phelps E.B. "A study of the pollution and natural purification of the Ohio River", U.S Public Health Service, *Public Health Bulletin*, 146, 77-85, 1925.

Sawyer C.N., Mc Carty, P.L. (1978). Chemistry For Environmental Engineering. 3 th.edition. Mc. Graw -Hill Book Company. 534 p.

Thomann, R.V. Systems analysis and water quality management, McGraw-Hill Book Company., N.Y. 1972.

Tuchkovenko Y. Calero L. (2003). Modelo Matemático Del Ecosistema De La Ciénaga Grande De Santa Marta. Boletín de INVEMAR Versión.32 n.1 Santa Marta jan./dez. 2003. ISSN 0122-9761.

Universidad Nacional (2006). Estudios e investigaciones de la obras de restauración ambiental y de navegación del canal del Dique. Cormagdalena – La importancia ecológica de las ciénagas del canal del Dique y la determinación de su estado limnológico. (Laboratorio de ensayos Hidráulicos –Facultad de Ingeniería, G. Pinilla, J. Duarte). *Documento provisorio* 100 p.

Vollenweider, 1968. "The scientific basis of lake and stream eutrophication with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors". Tech. Rep. OECD, Paris, DAS/ CSI/68, 27:1-182.

Vollenweider, 1969 "Possibilities and limits of elementary models concerning the budget of substances in lakes". Arch. f. Hy— drobiology B1.66.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Vollenweider, R. A., (1976). "Advances in Defining Critical Loading Levels for Phosphorus in Lake Eutrophication". Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 33: 53-83.

Yina K Lin Z., Keb Z. (2004). Temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in the Pearl River Estuary and adjacent coastal waters. Continental Shelf Research 24 (2004) 1935–1948.

BirdLife International 2013. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. www.iucnredlist.org con acceso 10-I-2015

BirdLife International. 2006. Fichas de especies para migratorias neotropicales en las IBAs. Downloaded from <http://www.birdlife.org>

Bock, B. 2013. *Iguana iguana*. Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia 1(1): 10-14

Brown, S., C. Hickey, B. Harrington y R. Gill (Eds.). 2001. United States Shorebird Conservation Plan. Manomet center for conservation sciences. <http://www.fws.gov/shorebirdplan>

Butcher, G. S., K. N. Daniel, A. O. Panjabi, D. N. Pashley y K. V. Rosenberg. 2007. The 2007 Watchlist for the United States. American Birds.

Butterfield, B., J. Hauge, A. Flanagan y J. Walker. 2009. Identity, reproduction, variation, ecology, and geographic origin of a Florida adventive: *Cnemidophorus lemniscatus* (Sauria: Teiidae). Southeastern Naturalist 8: 45-54

Chaparro-Herrera, S., M. Á. Echeverry-Galvis, S. Córdoba-Córdoba y A. Sua-Becerra. 2013. Listado actualizado de las aves endémicas y casi-endémicas de Colombia. Biota Colombiana 14, 235–271

Dueñez-Gómez F., J. Muñoz-Guerrero y M. Ramírez-Pinilla. 2004. Herpetofauna del corregimiento Botillero (El Banco, Magdalena) en la depresión Momposina de la región Caribe Colombiana. Actualidades Biológicas 26 (81): 65-74

eBird. 2015. eBird: An online database of bird distribution and abundance [web application]. eBird, Ithaca, New York. Disponible: <http://www.ebird.org>. (Con acceso: Noviembre 10 de 2015).

Grisales-Martínez, F. y B. Rendón-Valencia. 2014. *Cnemidophorus lemniscatus*. Catálogo de Anfibios y Reptiles de Colombia. 2(2): 43-50

Hilty, S. y W. Brown. 1986. A guide to the birds of Colombia. Princeton University Press. New Jersey.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

McMullan, M., T. Donegan y A. Quevedo. 2010. Field Guide to the Birds of Colombia. Fundación Proaves. Bogotá.

Medina-Rangel, G. 2011. Diversidad alfa y beta de la comunidad de reptiles en el complejo cenagoso de Zapatosa, Colombia. Revista de Biología Tropical 51 (2): 935-968

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. Resolución número 192 del 23 de febrero de 2014 "Por la cual se establece el listado de las especies silvestres amenazadas de la diversidad biológica colombiana que se encuentran en el territorio nacional, y se dictan otras disposiciones". Bogotá, Colombia.

Montes-Correa, A., J. Jiménez-Bolaño, D. Vergara-Ríos, Y. Ávila-Silva, L. Saboyá-Acosta y J. Renjifo. 2015. Herpetofauna del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Revista Biodiversidad Neotropical 5(1): 54-63

Naranjo, L. G. y J. D. Amaya (Eds.) 2009. Plan nacional de las especies migratorias. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y WWF Colombia. Bogotá.

Naranjo, L. G., J. D. Amaya, D. Eusse-González y Y. Cifuentes-Sarmiento (Eds.). 2012. Guía de las especies migratorias de la biodiversidad en Colombia. Aves. Vol. 1. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible / WWF Colombia. Bogotá, D.C. Colombia.

Remsen, J. V., Jr., J. I. Areta, C. D. Cadena, A. Jaramillo, M. Nores, J. F. Pacheco, J. Pérez-Emón, M. B. Robbins, F. G. Stiles, D. F. Stotz y K. J. Zimmer. 2015. A classification of the bird species of South America. American Ornithologists' Union. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.html> con acceso 10-I-2015

Roda, J., A. M. Franco, M. P. Baptiste, C. Múnera y D. M. Gómez. 2003. Manual de identificación CITES de aves de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Serie de Manuales de Identificación CITES de Colombia. Bogotá, Colombia.

Rueda-Solano, L. y J. Castellanos-Barliza. 2010. Herpetofauna de Neguanje, Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Acta Biológica Colombiana 15 (1): 195-206

Stotz, D. F., J. W. Fitzpatrick, T. A. Parker y D. K. Moskovits. 1996. Neotropical birds: ecology and conservation. University of Chicago Press, Chicago.

Strewe, R., C. Villa-De León, J. Alzate, J. Beltrán, J. Moya, C. Navarro y G. Utria. 2009. Las aves del campus de la Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Revista Intropica. Vol 4:77-89.

Villarreal, H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y A. M. Umaña. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

biodiversidad. Segunda edición. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.

Vitt, L. y C. Carvalho. 1995. Niche partitioning in a tropical wet season: lizards in the Lavrado area of northern Brazil. *Copeia* 2: 305-329.

DeNicola, D. (1996). Periphyton responses to temperature at different ecological levels. En J. Stevenson, *Algal Ecology* (págs. 150-181). San Diego: Academic Press.

Correl, D. (1998). The role of phosphorous in the eutrophication of receiving water. *A Review of The Journal of Environmental Quality*, 27, 261-266.

Cowardin, L *et al.*, (1979). Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Fish and Wildlife Service, Department of the Interior. 131p

Follet, R. (2001). Nitrogen transformation and transport processes. *Elsevier Science*, 17-44.

Isaure M. P., Laboudigue A., Manceau A., Sarret G. Tiffreau Ch., Trocellier P., Lambie G., Hazemann J y Chateigner D. (2000). Quantitative Zn speciation in a contaminated dredged sediment by μ PIXE, μ SXRF, EXAFS spectroscopy and principal component analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 66 (9): 1549-1567

Palacio, J. (2007). *Ecotoxicología acuática*. (Primera Edición). Medellín Universidad de Antioquia.

Ramírez, J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Roldán, R., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de Limnología Neotropical* (Segunda Edición ed.). Medellín: Universidad de Antioquia.

Semina, H. J. Treatment in a aliquot sample. 1978. In a Sournia (ed), *Phytoplankton manual*. UNESCO, Monographs on Oceanographic Methodology 6:181

SANTAMARIA-DEL-ANGEL, E., R. Millán-Núñez, A. Gonzalez-Silvera, and R. Cajal-Medrano. (2011). Comparison of In Situ and Remotely-Sensed Chl-a Concentrations: A Statistical Examination of the Match-up Approach. *Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Marine Applications, Cases study 17*. Retrieved from http://www.ioccg.org/handbook/casestudy17_angel_etal.pdf

Wedler, E. (1973). Die Hydroiden der Ciénaga de Santa Marta (Kolumbien) an einiges zu ihrer ökologie. *Mitt. Inst. Colombo-Aleman. Inv. Cient.*, 7: 31-39.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

Zaiss, U. (1976). Physiologische and ökologische Untersuchungen zur Regulation der Phosphotoscherung bei *Oscillatoria redeki*, Kiel, Kiel Universität.

Hoyos G., Róssalyn, Urrego G., Ligia Estela, Lema T., Álvaro. Respuesta de la regeneración natural en manglares del Golfo de Urabá (Colombia) a la variabilidad ambiental y climática intra-anual. *Revista de Biología Tropical*. 2013.

Moreno-Cassasola., D.M. Infante M. 2009. Manglares y selvas inundables. Instituto de Ecología A.C. CONAFORT y OIMT. Xalapa, Ver, México. 150pp

ACOFORE. OIMT. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 1998. Manual sobre dinámica de crecimiento, capacidad de regeneración natural y aspectos fenológicos de los manglares. Colombia 10p.

Instituto de Hidráulica y Saneamiento Ambiental- IHSA. (2014). Valoración de los niveles de riesgos ambientales en el Distrito de Cartagena de Indias. Cartagena de Indias: Jefe de sección de publicaciones, Freddy Badrán Padauí.

Alcaldía Mayor de Cartagena-Departamento Administrativo de Valorización Distrital. (s.f.). Obras por Beneficio General. Recuperado de: <http://www.cartagena.gov.co/Cartagena/Valorizacion/Documentos/informacion.pdf>

Álvarez, R. (2010, 08 de mayo). Caño Juan Angola, a merced de la indolencia. *El Universal*. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/cano-juan-angola-merced-de-la-indolencia>

Concejo Distrital de Cartagena. (2008). Acuerdo 016 de 2008.

De Ávila, J. (2014a, 18 de sep.) Avenida del Lago y la Ciénaga de Las Quintas fueron recuperadas. *El Universal*. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/avenida-del-lago-y-la-cienaga-de-las-quintas-fueron-recuperadas-171314>

De Ávila, J. (2014b, 19 de septiembre). Cambuches en la Ciénaga de Las Quintas también están siendo desocupados. *El Universal*. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/cambuches-en-la-cienaga-de-las-quintas-tambien-estan-siendo-desocupados-171430>

El Universal. (2010, 05 de marzo). EPA empieza recuperación de sectores invadidos en el Caño Juan Angola. *El Universal*. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/epa-empieza-recuperacion-de-sectores-invadidos-en-el-cano-juan-angola>

Establecimiento Público Ambiental Cartagena, EPA Cartagena. (2015). EPA avanza por la recuperación de caños y lagunas interiores en la ciudad heroica. Recuperado de:

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
---	--	---

<http://epacartagena.gov.co/epa-cartagena-avanza-por-la-recuperacion-de-canos-y-lagunas-interiores-en-la-ciudad-heroica/>

García, E. (1992, 18 de enero). Cartagena: ciudad futuro. El Tiempo. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-15604>

Hidrotec, Ingenieros Consultores – Fonade – Edurbe. 1984. Proyecto para el mejoramiento del sistema de caños, lagunas y ciénagas.

Meza, M. (2015, 7 de junio). EPA inicia recuperación de caños y lagunas. El Universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/epa-inicia-recuperacion-de-canos-y-lagunas-196264>

Nullvalue. (1992, 04 de marzo). Cartagena: en busca del agua perdida. El Tiempo. Recuperado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-53639>

Therán, A. (2012, 12 de mayo). Avanza recuperación ambiental de la Ciénaga de Las Quintas. El Universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/avanza-recuperacion-ambiental-de-la-cienaga-de-las-quintas-76098>

Tirado, O., Manjarrez, G. & Díaz, C. (2011). Caracterización Ambiental de la Ciénaga de La Quinta Localizada en Cartagena de Indias, Colombia, 2009 – 2010. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 14 (2): 131 – 139. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n2/v14n2a14>

Torres, P. (2012, 27 de septiembre). Relleno enorme y descarado en Manga. El Universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/local/relleno-enorme-y-d Descarado-en-manga-92206>

Torres, P. (2014, 28 de marzo). Estratégico lote de la Cuarta Avenida tiene destinación específica. El Universal. Recuperado de: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/estrategico-lote-de-la-cuarta-avenida-tiene-destinacion-especifica-155532>

Proyectos que impactan a la región (2014). Recuperado de: [http://www.cccartagena.org.co/docs/20140902112903_n_PRECENTACION_CP_\(3\).pdf](http://www.cccartagena.org.co/docs/20140902112903_n_PRECENTACION_CP_(3).pdf)

ARRIETA A. (2005). *Estudio y Diseño de los drenajes pluviales principales del Aeropuerto Rafael Núñez*. Cartagena: Hidroconsultores.

Beltrán, A., & Suárez, L. (2010). *Diagnóstico ambiental de los cuerpos internos de agua de la ciudad de Cartagena de Indias*. Obtenido de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2010b/691/indice.htm>.

	<p>DISEÑO DEL SISTEMA INTELIGENTE DE MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL DEL DISTRITO DE CARTAGENA</p> <p>CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 0133-2015</p>	<p>Revisión: 1</p> <p>Fecha: Dic-2015</p>
--	--	---

- BELTRAN, A & Suarez, L,. (2004). *Diagnostico Ambiental de los Cuerpos internos de agua de la Ciudad de Cartagena de Indias*. . Cartagena: CARDIQUE, Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco.
- Calvo, R., & García, A. (2013). Diagnóstico de amenazas potenciales por movimientos en masa en el cerro de la popa, aplicando la metodología de Zonificación de Ramírez y González en la ciudad de Cartagena. Cartagena.
- CIOH. (2008). *Boletin Meteomarinero Manual de Caribe Colombiano*. Cartagena: Centro de Investigación Oceanográficas e Hidrogeáficas.
- Doria, C., & Mondol, I. (2003). Diagnóstico de la situación del drenaje pluvial del cerro de la popa. Tesis de pregrado no publicada. Cartagena.
- EPA, E. P. (2008-2011). *Plan de Acción*. Cartagena.
- Grupo de Estudios Urbanos. (2010). *Macroproyecto urbano para la recuperación integral del cerro de la popa en la ciudad de Cartagena de Indias*.
- INGEOMINAS, I. d. (2001). *Zonificación geotécnica y aptitud y uso del suelo en el casco urbano de Cartagena*.
- INVEMAR. (2009). *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras Boletines Meteorológicos*. Cartagena: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras.
- Pérez, A., & Reyes, P. (2003). Evaluación de la incidencia del factor antrópico en los procesos de inestabilidad de laderas y taludes en el cerro de la popa, ubicado en el casco urbano de Cartagena. Cartagena.