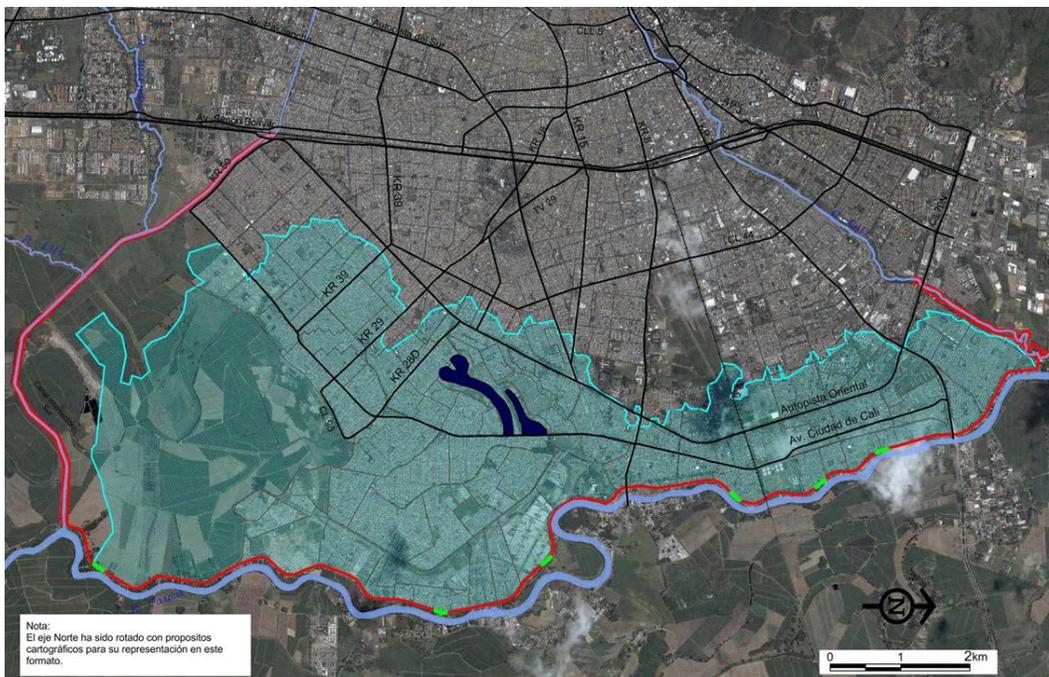


República de Colombia
Ministerio de Hacienda y Crédito Público



INFORME DE AVANCE N° 2
CONTRATO DE CONSULTORÍA N° 101 DE 2012 CELEBRADO ENTRE EL
FONDO ADAPTACIÓN Y CORPORACIÓN OBSERVATORIO SISMOLÓGICO
DEL SUR OCCIDENTE



Corporación OSSO

Una ONG para las ciencias de la Tierra
y la prevención de desastres

Cali, octubre 29 de 2012

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| PRESENTACIÓN | 10 |
| CAPÍTULO I. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN FÍSICA Y ESTABILIDAD GEOTÉCNICA DEL ANILLO DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DE AGUABLANCA..... | 12 |
| 1.1. ESTUDIOS PREVIOS CONSIDERADOS PARA DETERMINAR CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE LOS DIQUES | 12 |
| 1.1.1. Estudio de Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali | 12 |
| 1.1.2. Estudio de Exploración Geotécnica para Refuerzo del Dique Rio Cauca 13 | |
| 1.1.3. Estudio Complementario de Licuación – Ecociudad Navarro | 14 |
| 1.1.4. Estudio Fundación Pacífico Verde..... | 15 |
| 1.1.5. Estudio Potencial Corrimiento Lateral Dique Rio Cauca..... | 16 |
| 1.1.6. Análisis socioeconómico, histórico de la obra y ocupación, de usos del suelo, institucional, normativo, jurídico y físico-técnico de los jarillones La Flora y Aguablanca..... | 16 |
| 1.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES NATURALES Y DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA SOBRE LOS DIQUES..... | 17 |
| 1.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL ANILLO DE PROTECCIÓN DE AGUABLANCA..... | 23 |
| 1.3.1. Estratigrafía Simplificada del en la zona del anillo de Aguablanca | 23 |
| 1.3.2. Metodología de evaluación..... | 35 |
| 1.3.3. Resultados..... | 41 |
| 1.3.4. Conclusiones y recomendaciones | 50 |
| CAPITULO II. MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ESCENARIOS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO DEL RÍO CAUCA | 54 |
| 2.1 ESTUDIOS CONSIDERADOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL RÍO CAUCA | 55 |
| 2.1.1 Estudio hidrológico y modelación matemática hidrodinámica bidimensional del río Cauca para la “Modelación de amenaza por inundaciones en la ciudad de Cali por el río Cauca y tributarios” | 55 |

| | | |
|--|--|-----|
| 2.1.2 | Evaluación hidrológica y modelación hidráulica para el “Diagnóstico del estado actual de los diques del distrito de Aguablanca” | 57 |
| 2.1.3 | Proyecto Modelación del río Cauca – PMC | 58 |
| 2.1.4 | Estudio hidrológico y modelación hidráulica para “Estudio de amenaza por inundación del área con régimen diferido de Navarro y su entorno, vulnerabilidad y de estado de las obras de mitigación existentes” | 59 |
| 2.2 | CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL DIQUE DE PROTECCIÓN DE AGUABLANCA..... | 61 |
| 2.2.1 | El distrito de drenaje de Aguablanca | 61 |
| 2.2.2 | Diseño hidrológico del proyecto de Aguablanca..... | 62 |
| 2.2.3 | Hidrología para el análisis actual..... | 67 |
| 2.2.4 | Eventos esperados para diferentes períodos de retorno | 69 |
| 2.3 | EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA ZONA DEL DIQUE A PARTIR DE INFORMACIÓN HISTÓRICA Y MODELOS HIDRÁULICOS DISPONIBLES Y ACCESIBLES | 72 |
| 2.3.1 | Generalidades | 72 |
| 2.3.2 | Diferencias entre la modelación de Hidro-Occidente S.A. y la modelación de la Corporación OSSO..... | 72 |
| 2.3.3 | Información hidrológica..... | 74 |
| 2.3.4 | Información topográfica y batimétrica | 84 |
| 2.3.5 | Ajuste del modelo matemático hidrodinámico del río Cauca en el sector de la ciudad de Cali..... | 89 |
| 2.3.6 | Escenarios de simulación de inundación en tramos de rotura por desborde..... | 96 |
| CAPÍTULO III. ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACION DEL RÍO CAUCA | | 114 |
| 3.1 | ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE Y ACCESIBLE SOBRE PERSONAS, VIVIENDAS E INFRAESTRUCTURA VITAL EXPUESTAS A LA AMENAZA DE INUNDACIÓN | 114 |
| 3.1.1 | Inventario de elementos expuestos tangibles | 114 |
| 3.1.2 | Inventario de elementos expuestos intangibles | 115 |
| 3.1.3 | Inventario de viviendas y población expuesta a inundación sobre los diques río Cali, Floralia y Río Cali..... | 116 |
| 3.2 | ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN..... | 124 |

| | | |
|-------|---|------------|
| 3.3 | ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD | 127 |
| 3.3.1 | Definición de las funciones de vulnerabilidad frente a inundación para los elementos expuestos considerados en el Estudio | 128 |
| 3.3.2 | Definición de funciones de daño en viviendas para el área de estudio 129 | |
| 3.3.3 | Análisis de vulnerabilidad viviendas sobre los diques río Cauca, Floralia y río Cali..... | 151 |
| 3.3 | ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS..... | 156 |
| 3.3.1 | Estimación de pérdidas directas | 157 |
| 3.3.2 | Estimación de pérdidas indirectas | 164 |
| | ACUEDUCTO | 165 |
| | ALCANTARILLADO | 166 |
| | GAS NATURAL DOMICILIARIO | 166 |
| | ENERGÍA ELÉCTRICA | 170 |
| 3.3.3 | Estimación de pérdidas transitorias | 184 |
| 3.3.4 | Resumen de pérdidas totales | 186 |
| 3.3.5 | Curva de optimización económica | 187 |
| | BIBLOGRAFÍA | 189 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1. Criterios para el inventario de condiciones naturales y/o condiciones antrópicas sobre los diques | 17 |
| Tabla 2. Matriz de calificación de condiciones naturales | 19 |
| Tabla 3. Distribución geométrica diques..... | 37 |
| Tabla 4. Parámetros geotécnicos simplificados..... | 38 |
| Tabla 5. Factores de seguridad mínimos | 41 |
| Tabla 6. Superficies de falla y factores de seguridad para dique de Aguablanca | 42 |
| Tabla 7 Superficies de falla y factores de seguridad para dique en Canal Interceptor | 43 |
| Tabla 8. Superficies de falla y factores de seguridad para el dique | 44 |
| Tabla 9. Zonas equipotenciales en red de flujo permanente | 45 |

| | |
|---|------------|
| Tabla 10. Superficies de falla y factores de seguridad para sección modificada en dique de Aguablanca..... | 47 |
| Tabla 11. Superficies de falla y factores de seguridad para dique con escombros en Canal Interceptor..... | 48 |
| Tabla 12. Superficies de falla y factores de seguridad para dique de Aguablanca con talud húmedo de 1.5:1..... | 50 |
| Tabla 13. Estudios revisados como insumo para determinar las condiciones hidráulicas del río Cauca..... | 55 |
| Tabla 14. Principales obras hidráulicas del proyecto Aguablanca..... | 62 |
| Tabla 15. Proyecto de Aguablanca..... | 64 |
| Tabla 16. Comparación de los parámetros de la modelación hidráulica..... | 74 |
| Tabla 17. Principales características de la estación hidrométrica de Juanchito..... | 75 |
| Tabla 18. Datos de la curva de calibración nivel-caudal..... | 76 |
| Tabla 19. Serie histórica de caudales máximos anuales..... | 78 |
| Tabla 20. Resultados de la prueba de bondad de ajuste con el estadístico K S..... | 79 |
| Tabla 21. Caudales y niveles de agua calculados para diferentes periodos de retorno. Estación hidrométrica de Juanchito..... | 81 |
| Tabla 22. Localización de los tramos con niveles bajos en la corona del dique de protección de Aguablanca..... | 88 |
| Tabla 23. Parámetros numéricos y de simulación del modelo CCHE2D..... | 93 |
| Tabla 24. Algunos diques de Colombia y su longitud de ruptura..... | 96 |
| Tabla 25. Listado de diques que presenta rotura en el Departamento del Valle del Cauca (CVC, 2012)..... | 97 |
| Tabla 24. Localización de puntos de rotura por desbordamiento..... | 101 |
| Tabla 27. Escenarios de roturas por periodo de retorno..... | 101 |
| Tabla 28. Parámetros de la amenaza por inundación para seis escenarios..... | 101 |
| Tabla 29. Tiempos y velocidades de rotura para escenarios con boquetes de 150 metros..... | 103 |
| Tabla 30. Inventario de elementos expuestos tangibles a inundación..... | 114 |
| Tabla 31. Sectorización de los diques..... | 116 |
| Tabla 32. Identificación de familias por vivienda y población por sector, 2012..... | 116 |
| Tabla 33. Porcentaje de viviendas por sector..... | 117 |
| Tabla 34. Materiales de construcción de viviendas..... | 118 |
| Tabla 35. Inventario de viviendas por número de pisos..... | 120 |
| Tabla 36. Estado de las viviendas..... | 121 |
| Tabla 37. Estado, Ocupación y Uso de las viviendas sobre el jarillón..... | 122 |
| Tabla 38. Caracterización de la población por sector..... | 123 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 39. Porcentaje de daño para diferentes tirantes de agua, en el estrato 1 | 133 |
| Tabla 40. Porcentaje de daño para diferentes tirantes de agua, en el estrato 2 | 133 |
| Tabla 40. Porcentaje de daño para diferentes tirantes de agua, en el estrato 3 | 133 |
| Tabla 39. Niveles de severidad de inundaciones por nivel | 151 |
| Tabla 43. Predios y personas verificadas por sector en los diques de protección | 152 |
| Tabla 44. Zonas para análisis de la vulnerabilidad | 154 |
| Tabla 45. Valores de los contenidos por Estrato | 158 |
| Tabla 46. Áreas aproximadas de instituciones educativas | 161 |
| Tabla 47. Cálculo de las áreas | 163 |
| Tabla 48. Tarifas EMCALI, Septiembre 2012 | 165 |
| Tabla 49. Ingreso por servicio de Acueducto | 166 |
| Tabla 50. Ingreso por servicio de Alcantarillado | 166 |
| Tabla 51. Tarifa servicio de Gas natural domiciliario | 167 |
| Tabla 52. Valor del consumo de gas en barrios afectados en un TR 500 años | 167 |
| Tabla 53. Datos de energía | 170 |
| Tabla 54. Valor del consumo de energía eléctrica | 170 |
| Tabla 55. Inversión en Ayudas Humanitarias a barrios con profundidad de agua promedio mayor o igual a 1m | 174 |
| Tabla 56. Costo por transporte masivo | 177 |
| Tabla 57. Estimación de ingresos mensuales en tiendas y panaderías de barrio | 178 |
| Tabla 58. Ingresos Promedio de personal médico | 182 |
| Tabla 59. Recaudo impuesto por Megaobras | 183 |
| Tabla 60. Pérdidas económicas por mes | 184 |
| Tabla 61. Perdidas transitorias | 186 |
| Tabla 62. Costos de los elementos expuestos | 186 |
| Tabla 63. Costos de pérdida | 186 |
| Tabla 64. Costos de inversión | 187 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Sectorización del anillo de Aguablanca | 18 |
| Figura 2. Canal interceptor sur: Tramo A1 inicial | 19 |
| Figura 3. Canal interceptor sur: Tramo A2 Meléndez – Relleno de Navarro | 20 |
| Figura 4. Canal interceptor sur: Tramo A3 Relleno de Navarro-Cascajal..... | 20 |
| Figura 5. Tramo B1 Canal Interceptor – Comuna 21..... | 21 |
| Figura 6. Dique de Aguablanca: Tramo B2 Comuna 21 | 21 |
| Figura 7. Dique de Aguablanca: Tramos B3 y B4 Comuna 7 – Puerto –Mallarino – Pte. Ferrocarril..... | 22 |
| Figura 8. Dique de Aguablanca: Tramos C1 y C2 Puente Paso del Comercio – Planta de bombeo Floralia – Río Cali a Cll. 70..... | 22 |
| Figura 9. Hormigueros sobre la berma y a través del dique en zona de Navarro.. | 27 |
| Figura 10. Arboles localizado en lados húmedo y seco del dique sobre | 27 |
| Figura 11. Ganado caminando sobre dique en zona de Navarro, | 28 |
| Figura 12. Cortes en dique para acomodar estructuras | 28 |
| Figura 13. Árboles sobre el dique de la margen derecha del río Cali | 29 |
| Figura 14. Casas sobre la corona y estructuras sobre el | 29 |
| Figura 15. Inclinación inapropiada de dique sobre la margen izquierda del canal Interceptor Sur..... | 30 |
| Figura 16. Corte y botado de basura en dique sobre el canal Interceptor Sur | 30 |
| Figura 17. Corte vertical evidenciando posterior relleno con basura en dique Canal Interceptor Sur..... | 31 |
| Figura 18. Evidencia de desplazamiento lateral del relleno sanitario de Navarro contra el cauce del canal Interceptor Sur | 31 |
| Figura 19 Corte sobre el dique del canal interceptor Sur | 32 |
| Figura 20. Sobrecarga de dique generada por disposición de escombros sobre el canal Interceptor Sur | 32 |
| Figura 21. Reducción de capacidad hidráulica del canal Interceptor Sur | 33 |
| Figura 22. Desplazamiento lateral del relleno sanitario de Navarro contra el Canal Interceptor Sur..... | 33 |
| Figura 23. Ocupación residencial, industrial, comercial, agrícola, institucional, entre otras, sobre el sistema de diques..... | 34 |
| Figura 24. Ocupación residencial, industrial, comercial,..... | 34 |
| Figura 25. Disposición de escombros dentro de los diques, reduciendo la capacidad hidráulica y alterando en comportamiento hidrodinámico | 35 |
| Figura 26. Modos de falla considerados en el Estudio | 36 |
| Figura 27. Geometría y arreglo estratigráfico dique de río Cauca..... | 37 |
| Figura 28. Geometría y arreglo estratigráfico dique Canal Interceptor Sur | 38 |

Figura 29. Geometría y arreglo estratigráfico dique río Cali..... 38

Figura 30. Sección modificada Canal Interceptor Sur 48

Figura 31. Localización de obras hidráulicas del proyecto Aguablanca 62

Figura 32. Niveles de creciente y corona del dique marginal al río Cauca (1958)..... 65

Figura 33. Perfil longitudinal del dique río Cauca 70

Figura 34. Perfil longitudinal del dique río Cali 70

Figura 35. Perfil longitudinal del dique Canal Interceptor Sur 71

Figura 36. Caudales máximos registrados en la estación Juanchito 79

Figura 37. Funciones de distribución que mejor se ajustan a los datos de caudales máximos en Juanchito 80

Figura 38. Caudales para diferentes periodos de retorno. Funciones de distribución de LogPerson III y Weibull..... 81

Figura 39. Hidrograma base adimensional 82

Figura 40. Hidrogramas de caudales calculados en la estación hidrométrica de Juanchito 83

Figura 41. Hidrogramas de Niveles calculados un kilómetro aguas abajo de la desembocadura del río Cali..... 83

Figura 42. Área definida para el modelamiento hidráulico..... 85

Figura 43. Modelo de elevación digital en el área del anillo de aguablanca..... 86

Figura 44. Localización de las fronteras de entrada y salida 92

Figura 45. Resultados de los niveles de agua calculados en la estación hidrométrica de Juanchito para diferentes valores de rugosidad de Manning..... 95

Figura 46. Longitud de roturas en diques 99

Figura 47. Variabilidad de los datos por percentiles..... 100

Figura 48. Esquema de la localización de las roturas por desbordamiento del río Cauca 102

Figura 49. Escenario 1 – Seis roturas de 30 m de longitud - TR 100 años... 104

Figura 50. Escenario 2 - Seis roturas de 30 m de longitud - TR 250 años.... 105

Figura 51. Escenario 3 - Seis roturas de 30 m de longitud - TR 500 años.... 106

Figura 52. Escenario 4 - Seis roturas de 150 m de longitud - TR 100 años.. 107

Figura 53. Escenario 5 - Seis roturas de 150 m de longitud - TR 250 años.. 108

Figura 54. Escenario 6 - Seis roturas de 150 m de longitud - TR 500 años 109

Figura 55. Escenario de amenaza para TR 100 años/Tramos de desborde de 30 m 110

Figura 56. Escenario de amenaza para TR 250 años/Tramos de desborde de 30 m 110

Figura 57. Escenario de amenaza para TR 500 años/Tramos de desborde de 30 m 111

| | |
|---|-----|
| Figura 58. Escenario de amenaza para TR 100 años/Tramos de desborde de 150 m | 111 |
| Figura 59. Escenario de amenaza para TR 250 años/Tramos de desborde de 150 m | 112 |
| Figura 60. Escenario de amenaza para TR 500 años/Tramos de desborde de 150 m | 112 |
| Figura 61. Procedimiento para modelar los escenarios de amenaza por inundación | 113 |
| Figura 62. Número de viviendas por sector..... | 117 |
| Figura 63. Número de familias por sector..... | 118 |
| Figura 64. Tipo de material de las viviendas (%)..... | 120 |
| Figura 65. Número de pisos en viviendas | 120 |
| Figura 66. Porcentaje de viviendas de 1, 2 y 3 pisos | 121 |
| Figura 67. Estado, ocupación y uso de las viviendas (%) | 123 |
| Figura 68. Escenario de exposición por manzana residencial para TR 100 años | 124 |
| Figura 69. Escenario de exposición por manzana residencial para TR 250 años | 125 |
| Figura 70. Escenario de exposición por manzana residencial para TR 500 años | 125 |
| Figura 71. Escenario de exposición de edificaciones esenciales para TR 100 años | 126 |
| Figura 72. Escenario de exposición de edificaciones esenciales para TR 250 años | 126 |
| Figura 73. Escenario de exposición de edificaciones esenciales para TR 500 años | 127 |
| Figura 74. Concepto básico de una función de vulnerabilidad frente a inundaciones | 130 |
| Figura 75. Elementos típicos de una vivienda | 131 |
| Figura 76. Porcentaje de daño en contenidos para vivienda Estrato 1 | 134 |
| Figura 77. Porcentaje de daño en contenidos para vivienda Estrato 2 | 134 |
| Figura 78. Porcentaje de daño en contenidos para vivienda Estrato 3 | 134 |
| Figura 79. Confrontación de curvas de vulnerabilidad por estrato | 135 |
| Figura 80. Función de vulnerabilidad de contenidos de una vivienda | 135 |
| Figura 81. Funciones de vulnerabilidad – USA | 137 |
| Figura 82. Funciones de vulnerabilidad – ALEMANIA | 138 |
| Figura 83. Funciones de vulnerabilidad del modelo DMS | 139 |
| Figura 84. Funciones de vulnerabilidad - España | 140 |
| Figura 85. Funciones de vulnerabilidad varios países | 142 |
| Figura 86. Función de vulnerabilidad de la construcción | 143 |
| Figura 87. Función de vulnerabilidad de instituciones educativas | 144 |
| Figura 88. Función de vulnerabilidad en la estructura de hospitales | 145 |

Figura 89. Función de vulnerabilidad de estaciones de bombeo..... 146

Figura 90. Función de vulnerabilidad de sub-estaciones eléctricas y telefónicas..... 146

Figura 91. Función de vulnerabilidad de áreas agrícolas 147

Figura 92. Vulnerabilidad en contenidos de viviendas para TR 100 años.... 148

Figura 93. Vulnerabilidad en contenidos de viviendas para TR 250 años.... 148

Figura 94. Vulnerabilidad en contenidos de viviendas para TR 500 años.... 149

Figura 95. Vulnerabilidad en la construcción en viviendas para TR 100 años 149

Figura 96. Vulnerabilidad en la construcción en viviendas para TR 250 años 150

Figura 97. Vulnerabilidad en la construcción en viviendas para TR 500 años 150

Figura 98. Concepto básico de una función de vulnerabilidad frente a inundaciones 152

Figura 99. Imágenes con la sectorización para análisis de vulnerabilidad .. 154

Figura 100. Imágenes con la estimación de daños 156

Figura 101. Perdidas en viviendas por manzana para TR 100 años 159

Figura 102. Perdidas en viviendas por manzana para TR 250 años 160

Figura 103. Perdidas en viviendas por manzana para TR 500 años 160

Figura 104. Distribución de datos de áreas 164

Figura 105. Curva de optimización económica..... 188

PRESENTACIÓN

El anillo de protección contra inundaciones de Aguablanca tiene una longitud aproximada de 26,5 km y está conformado por cuatro diques: dique canal interceptor sur 7,6 km; dique río Cauca 15 km; dique Floralia 1,6 km y dique río Cali con 2,3 km

En el caso de la margen izquierda del dique río Cauca éste fue construido para la protección ante eventos de ocurrencia de 1 en 100 años, sin embargo, a lo largo de los años ha sufrido deterioro por la presencia de hormiga arriera que provoca grandes orificios sobre el cuerpo del dique, así como intervenciones antrópicas caracterizadas por la disposición de escombros, que modifican la geometría tanto del dique como la del río, tanto aguas arriba como aguas abajo; también se presentan construcciones de viviendas, pasos de agua, accesos vehiculares y excavaciones inadecuadas sobre la corona del dique, que lo debilitan.

Esta situación, unida al hecho de que no se realizan inspecciones y mantenimientos periódicos a la estructura del dique, y a la gran cantidad de población y bienes expuestos sobre él, como en su área de influencia (antigua llanura de inundación del río Cauca) han motivado la necesidad de realizar un diagnóstico de las condiciones del mismo, en su paso por la ciudad de Cali, así como los diques canal interceptor sur y río Cali que conforman el anillo de protección contra inundaciones.

En ese orden de ideas y con el objeto de establecer recomendaciones sobre medidas de gestión de riesgos por inundación, asociadas a posibles desbordamientos del río Cauca a su paso por la ciudad de Cali, en el marco del *“Plan Dique y obras complementarias de Aguablanca”* La Alcaldía de Cali y el Fondo Adaptación del gobierno Nacional firmaron un convenio de cooperación para la ejecución de las acciones de PJAOC, entre las cuales esta realizar este

diagnóstico y generar recomendaciones para el dique de Aguablanca. Para el cual se conformó un equipo conjunto de expertos internacionales representados por la firma “Gestión del Agua del Departamento de Ríos, Deltas y Costas de Royal HaskoningDHV” de Holanda; y expertos locales representados por la Corporación OSSO.

El diagnóstico se realiza a partir del análisis de información secundaria, sobre la hidrología e hidráulica del río Cauca, así como de la geotecnia del dique, el modelamiento de la amenaza, el inventario de elementos expuestos y la estimación de daños (vulnerabilidad) y pérdidas (riesgo). Esta revisión de información fue complementada con datos recopilados en recorridos de campo tanto por vía fluvial (río Cauca) como terrestre de los diques que conforman el anillo de protección de Cali.

En el **Capítulo I** (producto 3) de este informe se presentan los resultados del análisis de la condición física y estabilidad geotécnica del anillo de protección contra inundaciones de Aguablanca. En el **Capítulo II** (producto 4) se presentan los resultados del modelamiento hidráulico y escenarios de amenaza por inundación por desbordamiento del río cauca. Por último en el **Capítulo III** (producto 5) se presentan los resultados de la estimación del riesgo por inundación del río cauca.

CAPÍTULO I. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN FÍSICA Y ESTABILIDAD GEOTÉCNICA DEL ANILLO DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DE AGUABLANCA

1.1. ESTUDIOS PREVIOS CONSIDERADOS PARA DETERMINAR CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE LOS DIQUES

El municipio de Santiago de Cali a través de diferentes dependencias, ha contratado diversos estudios de tipo técnico, con el objetivo de analizar las condiciones del subsuelo en diferentes áreas de interés, aledañas a la zona donde se localizan los diques de protección de la ciudad de Cali¹, tanto para condiciones estáticas como dinámicas. Dada su importancia para el análisis de la estabilidad de los diques de protección contra inundaciones de la ciudad, estos se presentan a continuación.

1.1.1. Estudio de Microzonificación Sísmica de Santiago de Cali

La microzonificación sísmica de Santiago de Cali (MZSC) fue realizada mediante convenio entre el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Santiago de Cali (DAGMA) y el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). En él se discute y analiza extensamente aspectos geológicos, geotécnicos y sísmicos, entre otros.

Como insumos importantes para la evaluación del riesgo el Estudio contiene dos aspectos a resaltar: el primero está relacionado con el análisis detallado de las

¹ El alcance de un estudio en particular, trata además muy extensamente un análisis de riesgo sísmico de la ciudad.

fuentes sismogénicas que pueden afectar la ciudad² y el segundo es el análisis del fenómeno de corrimiento lateral³.

En relación con lo anterior y para propósitos del análisis de estabilidad geotécnica de los diques, el Estudio de MZSC ofrece valiosa información sobre las áreas identificadas como potenciales a corrimiento lateral y resultados de muestras recuperadas en zonas aledañas a los diques. Como resultado el Estudio indica que sobre la margen izquierda del Río Cauca existe una franja de aproximadamente 250 metros de ancho que puede ser susceptible a este fenómeno.

1.1.2. Estudio de Exploración Geotécnica para Refuerzo del Dique Rio Cauca

En julio de 2008 el DAGMA contrató un Estudio de exploración geotécnica con la firma Amezquita Naranjo Ingeniería & Cía. S.C.A, que tuvo como objetivo determinar el potencial de licuación de los estratos arenosos encontrados dentro de la estratigrafía en la que se apoya el dique del Rio Cauca en toda su extensión a lo largo de su paso por el municipio de Cali.

Dentro de los alcances del Estudio se realizaron 150 perforaciones a lo largo de una longitud de 10 kilómetros sobre el dique de la margen izquierda del Rio Cauca, entre la entrega del canal Interceptor sur y la planta de Puerto Mallarino. Las perforaciones se llevaron típicamente a una profundidad de 16 metros, identificando claramente la estratigrafía relevante para los análisis de estabilidad mecánica del dique.

² Este análisis se lleva a cabo a través de un método determinístico completo, que estima las magnitudes de los posibles eventos sísmicos que pueden presentarse.

³ sin embargo, este esfuerzo no es tan riguroso como en el tema sísmico y termina proponiendo unas metodologías posibles para estudios posteriores del fenómeno.

Una de las principales conclusiones de este Estudio, es que no existe un potencial generalizado de ocurrencia de licuación en los estratos arenosos y limo-arenosos que componen la zona del dique. Estos resultados concuerdan con la heterogeneidad intrínseca del depósito aluvial en estudio, el cual tiene su génesis a partir de un medio meándrico de depositación de sedimentos en donde, por definición, no se presentan masas sedimentarias uniformes como los generados por procesos de mayor cobertura y uniformidad como son deltas de ríos o zonas de depositación marítima.

Otra conclusión relevante determina que el fenómeno de licuación se presentará en zonas puntuales y recomienda tratamientos a profundidades entre 6 y 10 metros de profundidad.

1.1.3. Estudio Complementario de Licuación – Ecociudad Navarro

El Estudio del potencial de licuación del sitio del proyecto Ecociudad Navarro fue realizado por la firma CI Ambiental Ltda. y tuvo como objetivo determinar el potencial de licuación y capacidad portante de una zona de 67 hectáreas localizadas en la zona de Navarro, al suroriente de la cabecera municipal del Municipio de Santiago de Cali. Cabe anotar que la zona de estudio colinda con la zona sur del área del dique río Cauca.

Dentro del alcance del Estudio se realizaron numerosas pruebas utilizando el piezo-cono sísmico de penetración (sCPTu)⁴. También incluyó la realización de

⁴ Este instrumento permite medir con alta resolución la resistencia en punta a la penetración de una herramienta estandarizada, así como la fricción generada durante el ensayo en un área pre-determinada. El equipo utilizado, además, permite medir las presiones de poros generadas durante la realización del ensayo (dependientes del tipo de material), y eventualmente además es capaz de percibir ondas de corte con las cuales se pueden hacer cálculos de la velocidad de onda a través de los materiales atravesados por la excitación aplicada en superficie. Este ensayo, mediante correlaciones ampliamente difundidas en la literatura geotécnica, permite establecer los tipos de material y sus propiedades geotécnicas más relevantes. Una de las desventajas del ensayo es que no hay recuperación de muestras de suelo que permita realizar una descripción visual/manual del material recuperado.

numerosas pruebas triaxiales cíclicas y estáticas en materiales tanto arcillosos, como arenosos, encontrados también en la estratigrafía definida para la zona del dique de la margen izquierda del Río Cauca.

Como resultado muy relevante en la determinación del potencial de ocurrencia de corrimiento lateral a lo largo del dique y sus zonas aledañas, se destaca que los triaxiales realizados en materiales arenosos, casi sin excepción, muestran un material de comportamiento contractivo al ser sometidos a procesos de corte o cizalla.

1.1.4. Estudio Fundación Pacífico Verde

Con motivo de la temporada invernal experimentada en la ciudad de Cali durante el año 2010, la CVC, a través de la Fundación Pacífico Verde, realizó el Estudio de diagnóstico del estado de los diques del distrito de Aguablanca. Este estudio tuvo por objetivo evaluar el estado y los daños ocasionados por la ola invernal 2010 a la infraestructura de las obras de control de inundaciones marginales al Río Cauca y sus tributarios en la zona plana del Valle del Cauca.

Dentro del alcance del Estudio mencionado, se realizó una investigación geotécnica que incluyó 67 perforaciones localizadas sobre el dique de Aguablanca, sobre la margen izquierda del Río Cauca con una profundidad típica de 6 metros. En adición se llevaron a cabo un total de 30 perforaciones sobre el dique sobre la margen izquierda del Canal Interceptor sur y 10 perforaciones a lo largo del dique sobre la margen derecha del Río Cali, en inmediaciones de su desembocadura al Río Cauca. Estas perforaciones ofrecen valiosa información de verificación de espesores de estratos superiores existentes que tienen especial relevancia en mecanismos de falla del dique.

1.1.5. Estudio Potencial Corrimiento Lateral Dique Rio Cauca

La investigación geotécnica realizada durante el alcance de este Estudio contratado por el DAGMA en convenio con CVC se limitó a la realización de 20 perforaciones a lo largo de un tramo del dique sobre los ríos Cauca y Cali. Dichas perforaciones se realizaron llevando a cabo ensayos de penetración estándar (SPT) de manera continua y realizando ensayos de caracterización de materiales tales como granulometría con caracterización de curvas de distribución de porción fina (ensayos en hidrómetro), límites de Atterberg y contenido de humedad natural.

El Estudio incluye la evaluación de los posibles daños inducidos por el evento sísmico de ocurrencia probable en la ciudad de Cali y presenta las posibles soluciones viables para llevar el riesgo a niveles aceptables. Dicha aceptabilidad es definida subjetivamente como aquella situación en la que las deformaciones inducidas por los eventos analizados, los cuales son de poca probabilidad de incidencia y por ende de un muy largo periodo de retorno, son de tal magnitud que no ocasionarán daños catastróficos en la estructura del dique y no afectarán su capacidad de contención de aguas del Rio Cauca durante periodos de creciente extraordinaria.

1.1.6. Análisis socioeconómico, histórico de la obra y ocupación, de usos del suelo, institucional, normativo, jurídico y físico-técnico de los jarillones La Flora y Aguablanca

Este estudio contratado por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal de Cali fue presentado por Saya Ingeniería y Geotecnia en abril de 1996. El estudio atiende la necesidad de la Administración Municipal del Municipio en la época para definir políticas efectivas para el manejo de los jarillones de la ciudad.

Desde el punto de vista geotécnico, el estudio presenta una evaluación simplificada de la estabilidad de la estructura de dique a lo largo del Río Cali y sobre la margen izquierda del Río Cauca. El estudio presenta además descripciones de tipos de suelo encontrados por perforaciones realizadas en la zona de estudio, junto con resultados del ensayo de penetración estándar y un análisis del potencial de licuación de los materiales que componen el subsuelo.

1.2. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES NATURALES Y DE INTERVENCIÓN ANTRÓPICA SOBRE LOS DIQUES

Este análisis consistió en determinar las situaciones más críticas que presentan los diques frente a condiciones naturales y de intervención antrópica desfavorables en relación con los criterios, a los cuales se les asignó un valor de calificación como aparece en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios para el inventario de condiciones naturales y/o condiciones antrópicas sobre los diques

| CONDICIÓN NATURAL O INTERVENCIÓN | CALIFICACIÓN (criterio experto) |
|---|--|
| GEOLOGÍA: se consideran los cruces con formaciones geológicas superficiales blandas, las cuales se catalogan como críticas | (Valor mínimo 3, valor medio 5, valor máximo 10) |
| CORONA: Hace referencia a los puntos bajos con respecto a niveles de inundación con TR de 100 años | (Valor máximo 10, valor mínimo 0) |
| CERCANÍA AL CAUCE: se consideran los puntos que están cercanos al cauce del río Cauca | (Valor máximo 10, valor medio 5, valor mínimo 0) |
| EROSIÓN: Se refiere a los puntos dónde se evidencian procesos erosivos en la berma u orilla del cauce | (Valor máximo 10 ó valor mínimo 0) |
| INVASIÓN: Considera los puntos dónde los diques ha sido ocupado por viviendas | (Valor mínimo 0, valor medio 5, valor máximo 10) |
| ESCOMBROS: Depósitos de escombros | (Valor mínimo 0, valor medio 5, valor máximo 10) |
| CRUCES DE PALEODRENAJES: drenajes antiguos | (Valor mínimo 0, valor máximo 10) |
| INFRAESTRUCTURA QUE ATRAVIESA LOS DIQUES: Existencia de tuberías y canales que atraviesan los diques. | (Valor mínimo 0, valor máximo 10) |

Este análisis se realizó en tramos en los que se dividió el anillo de la siguiente manera: Dique Canal interceptor sur: Tramo A1 inicial; Tramo A2 Meléndez – Relleno de Navarro; Tramo A3 Relleno de Navarro-Cascajal; Tramo A4 Cascajal – Río Cauca; Dique de río Cauca: Tramo B1 Canal Interceptor – Comuna 21; Tramo B2 Comuna 21; Tramos B3 y B4 Comuna 7 – Puerto –Mallarino – Pte. Ferrocarril; Tramos B5, B6 y B7 PTAR – Comuna 6 y Planta de Bombeo Paso del Comercio; Tramos C1 y C2 Puente Paso del Comercio – Planta de bombeo Floralia – Río Cali a Calle 70. (Ver Figura 1)

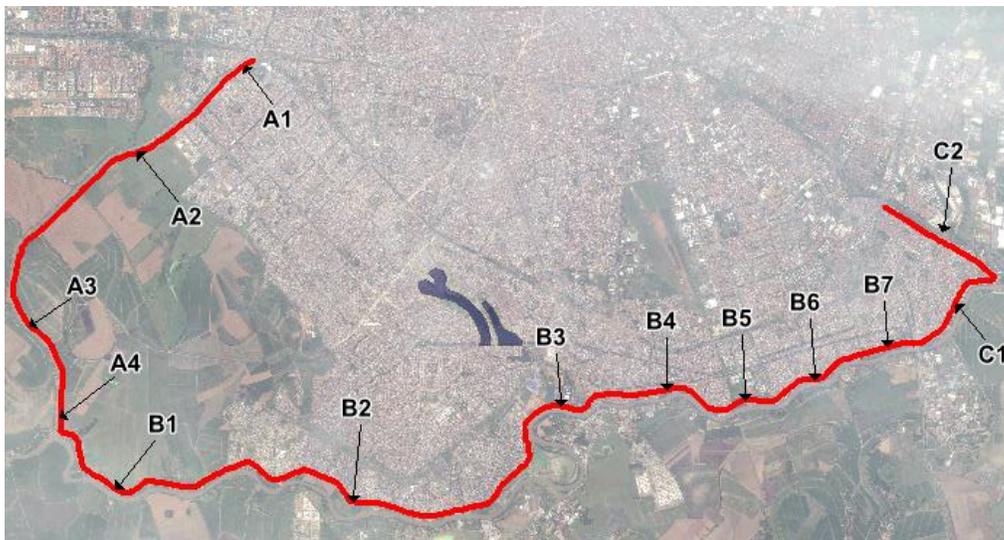


Figura 1. Sectorización del anillo de Aguablanca

Como resultado de este análisis realizado a partir de inspecciones de campo y cruces con información cartográfica, fotografías e imágenes satelitales sobre los diques del anillo de Aguablanca, se encontraron 209 puntos críticos, asociados con 15 cruces de paleodrenajes, 12 cruces de infraestructura vital que atraviesan el dique (principalmente el dique río Cauca), 18 lugares con erosión, 12 lugares de disposición de escombros, 11 cruces con formaciones geológicas superficiales blandas, 7 lugares con distancias menores al cauce; 10 cruces con puentes, 118 rampas para acceso a los diques y 6 puntos bajos de posibles desbordamientos sobre la corona del dique río Cauca. En la Tabla 2, se presentan los resultados de las calificaciones.

Tabla 2. Matriz de calificación de condiciones naturales y/o condiciones antrópicas sobre los diques

| | INFLUENCIA DE /SOBRE | GEOLOGIA Y GEOTECNIA | NIVEL DE CORONA | CERCAÑÍA AL CAUCE | EROSIÓN | INVASIÓN | INFRAESTRUCTURA QUE ATRAVIESA LOS DIQUES | ESCOMBROS | CRUCES PALEODRENAJES | TOTAL | | % | |
|---------------------|----------------------|---|-----------------|-------------------|---------|----------|--|-----------|----------------------|------------|--------------|-----|------|
| CANAL SUR | A1 | INICIO-AV. CIUDAD DE CALI | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 10 | 10 | 145 | 30 | 4,8 |
| | A2 | AV. CIUDAD DE CALI - ENTRADA DEL BASURERO | 5 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 5 | 10 | | 40 | 6,3 |
| | A3 | ENTRADA DEL BASURERO-ENTREGA DE CASCAJAL | 10 | 0 | 0 | 10 | 0 | 10 | 10 | 10 | | 50 | 7,9 |
| | A4 | ENTRADA DE CASCAJAL - ENTREGA | 5 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 25 | 4,0 |
| DIQUE DE AGUABLANCA | B1 | CANAL INTERCEP. COMUNA 21 | 3 | 0 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 366 | 13 | 2,1 |
| | B2 | COMUNA 21 | 3 | 10 | 5 | 10 | 10 | 0 | 5 | 10 | | 53 | 8,4 |
| | B3 | COMUNA 21 - COMUNA 7 (Zona de Puerto Mallarino) | 5 | 10 | 10 | 0 | 5 | 10 | 10 | 10 | | 60 | 9,5 |
| | B4 | COMUNA 7- PUENTE DEL FERROCARRIL | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 0 | 10 | 0 | | 50 | 7,9 |
| | B5 | PTAR (Puente Ferrocarril - Carrera 5) | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | | 65 | 10,3 |
| | B6 | Comuna 6 (cra5 - Cra 1a6) | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | 0 | 10 | 10 | | 65 | 10,3 |
| | B7 | BOMBEO (cra1a6- Puente del comercio) | 10 | 10 | 5 | 10 | 5 | 10 | 0 | 10 | | 60 | 9,5 |
| DIQUE FLORALIA | C1 | Dique Floralía (Río Cauca) (Pte comercio - Estación de bombeo Floralía) | 10 | 10 | 5 | 0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 120 | 65 | 10,3 |
| | C2 | Bombeo Floralía - calle 70 | 10 | 10 | 5 | 0 | 10 | 0 | 10 | 10 | | 55 | 8,7 |
| | | | | | | | | | | 631 | 100,0 | | |
| TOTAL | | | 111 | 110 | 70 | 70 | 100 | | 110 | 110 | | 681 | |
| | | | 16,30 | 16,15 | 10,28 | 10,28 | 14,68 | | 16,15 | 16,15 | | | |

Una vez realizada la valoración, se concluye que el problema es generalizado, sin desconocer puntos clave como Puerto Mallarino, el relleno sanitario de Navarro y la PTAR. En las Figuras siguientes se representan y especializan por sectores cada una de las condiciones críticas encontradas.



Figura 2. Canal interceptor sur: Tramo A1 inicial

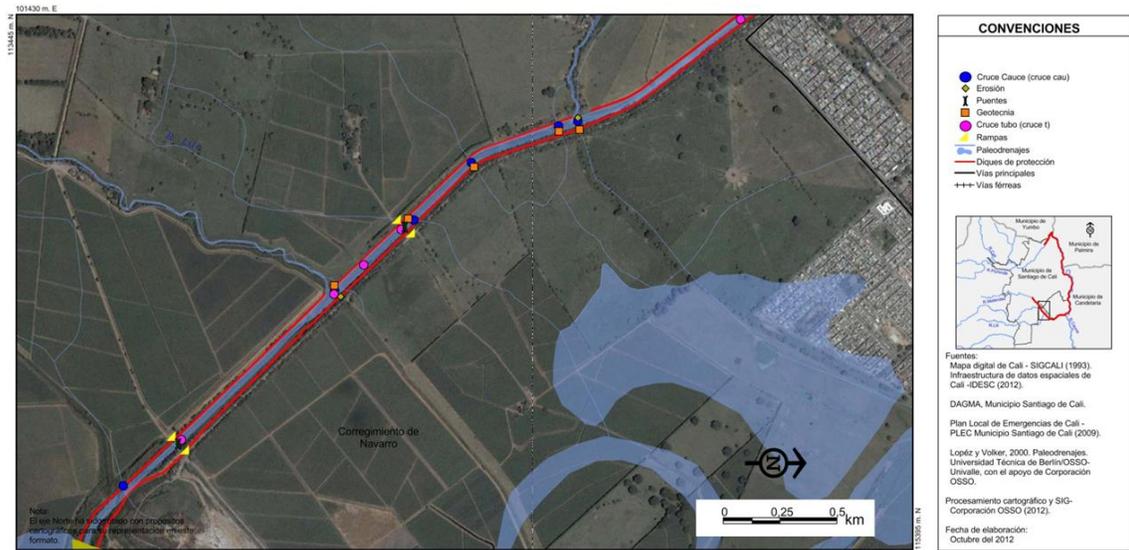


Figura 3. Canal interceptor sur: Tramo A2 Meléndez – Relleno de Navarro

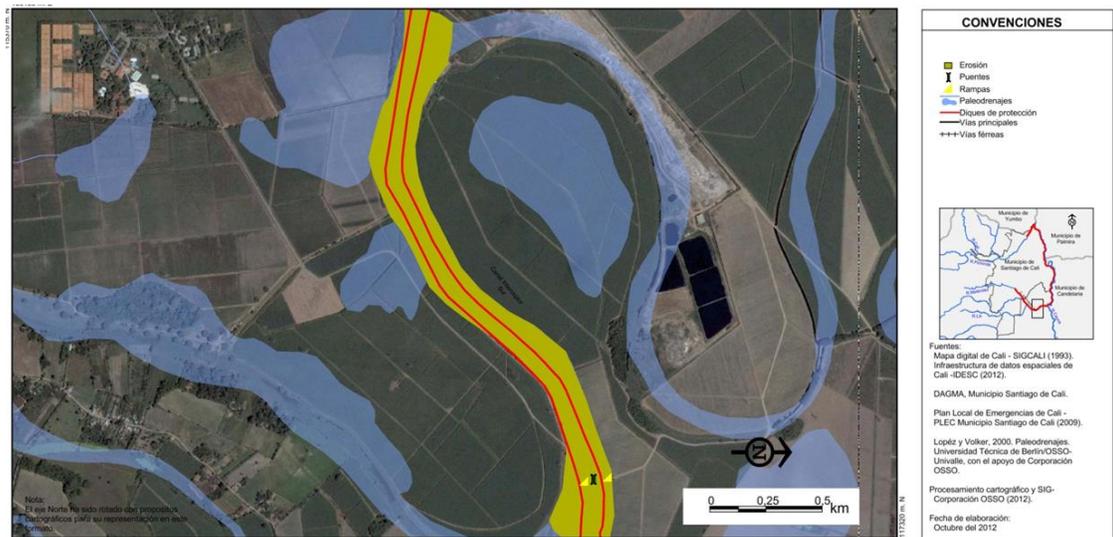


Figura 4. Canal interceptor sur: Tramo A3 Relleno de Navarro-Cascajal

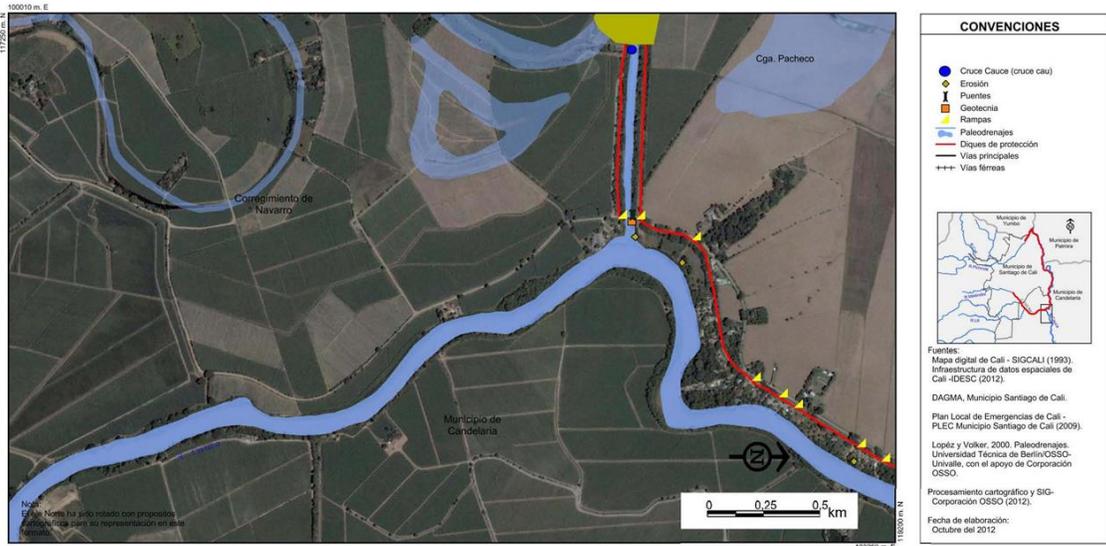


Figura 5. Tramo B1 Canal Interceptor – Comuna 21

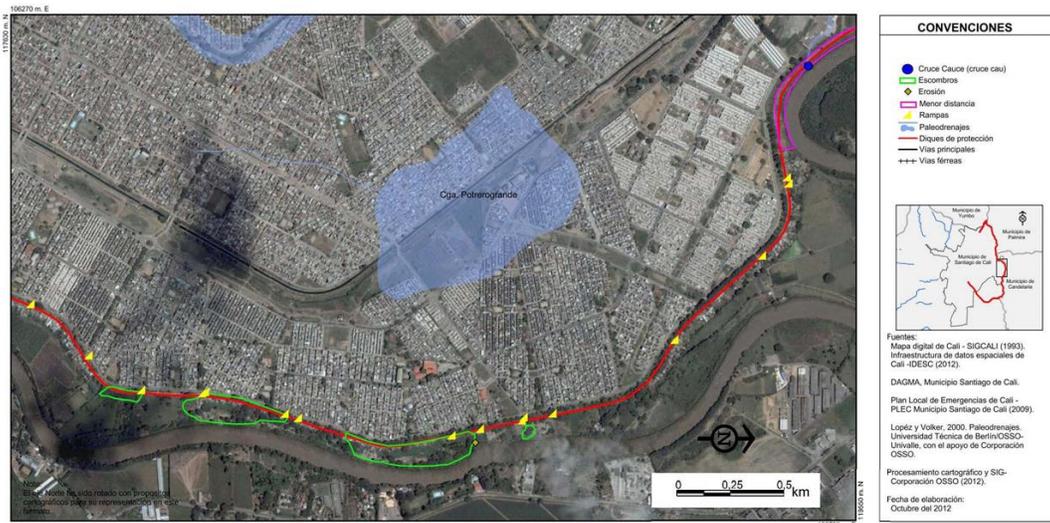


Figura 6. Dique de Aguablanca: Tramo B2 Comuna 21

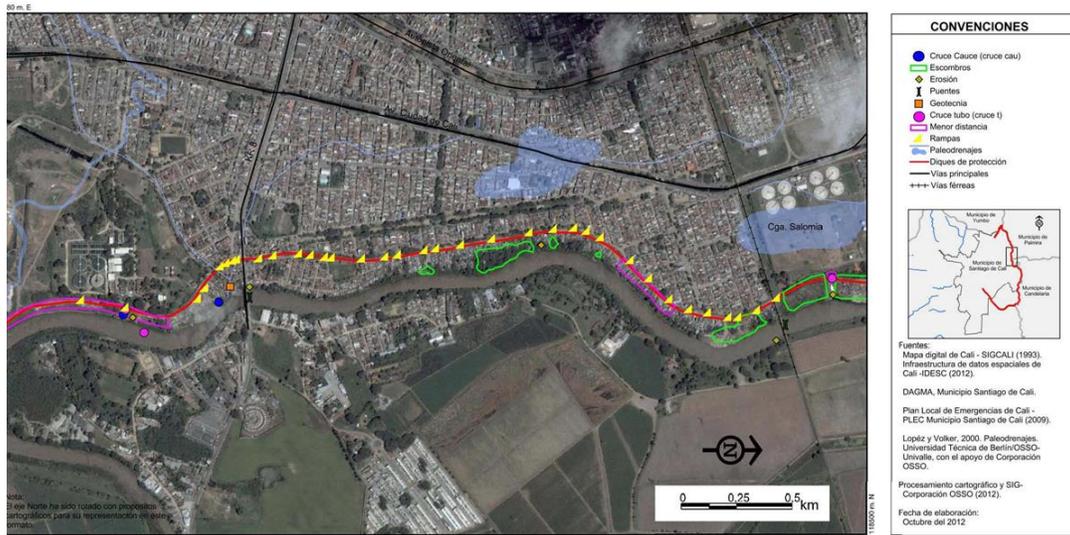


Figura 7. Dique de Aguablanca: Tramos B3 y B4 Comuna 7 – Puerto –Mallarino – Pte. Ferrocarril

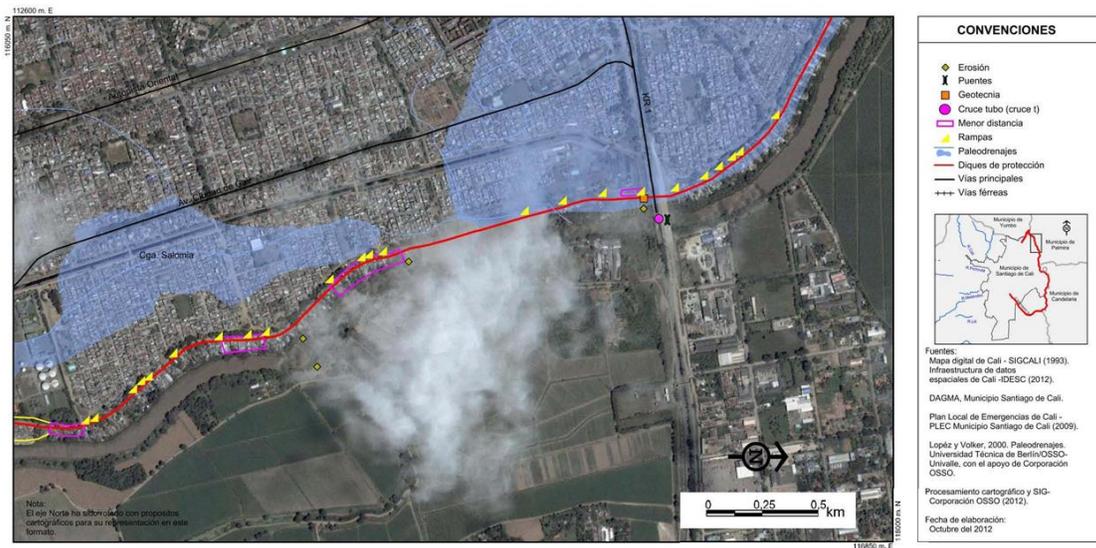


Figura 8. Dique de Aguablanca: Tramos C1 y C2 Puente Paso del Comercio – Planta de bombeo Floralía – Río Cali a Cll. 70

1.3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DEL ANILLO DE PROTECCIÓN DE AGUABLANCA

1.3.1. Estratigrafía Simplificada del en la zona del anillo de Aguablanca

1.3.1.1. Material de los diques

El cuerpo de los jarillones, aunque fueron construidos en épocas diferentes, son similares y están compuestos principalmente por limos arcillosos y arcillas limosas que tienen, excepto algunas instancias aisladas, un grado de compactación adecuado cuando se encuentran en su estado de construcción original. La razón por la cual hay coincidencia en el tipo de materiales que componen los jarillones es porque las actividades de construcción utilizaron materiales de zona préstamo localizada a pie de obra, provenientes del mismo origen de depositación.

Los valores N de ensayos de penetración estándar (SPT) de los materiales que componen el dique se encuentran normalmente entre 5 y 30 golpes por pie (sin corregir).

El estudio de potencial de corrimiento lateral preparado en 2011 (referenciado en el numeral 1.5) y el estudio preparado para el Departamento de Planeación Municipal en 1996, referenciado en el numeral 1.6 describen los resultados de análisis de estabilidad bajo condiciones de carga estáticas y concluyen unánimemente que las estructuras son aptas desde el punto de vista de estabilidad geotécnica bajo dichas condiciones. El estudio preparado para la Fundación Pacífico Verde, sin embargo, establece que los diques deben ser rehabilitados en sitios en donde su condición original ha sido modificada y reforzados para evitar fallas durante eventos sísmicos o eventos de niveles altos en los canales contenidos.

1.3.1.2. Materiales de la cimentación

Los materiales que componen las zonas aledañas a los jarillones que protegen la cabecera municipal de Cali han sido estudiados en diversos estudios contratados por diferentes entidades públicas. Dichos estudios se mencionaron anteriormente y comprendieron los siguientes ensayos que proveen información sobre los suelos relevantes para el análisis del comportamiento mecánico del dique y su estabilidad bajo diferentes condiciones de carga. Entre dichos componentes se encuentran:

- Ensayos CPT
- Ensayos SPT
- Pruebas índice (límites de Atterberg, análisis granulométrico, etc.).
- Ensayos de resistencia al corte (corte directo, ensayos triaxiales estáticos y cíclicos).

De los estudios mencionados se puede concluir que la disposición estratigráfica relevante para el análisis de estabilidad del dique esta generalmente compuesta por las siguientes unidades:

- Relleno - Representado por el material utilizado para construir el dique, generalmente limo arcilloso/arcilla limosa, de compactación y configuración geométrica adecuada en su estado original. Además, dentro de este tipo de material se consideran los escombros de construcción que han sido depositados en la zona del dique ilegalmente a lo largo del borde o la corona del dique en diferentes áreas. Estos escombros fueron depositados después de la construcción y configuración original del dique.
- Arcilla limosa de consistencia rígida a media de baja plasticidad. Esta capa se encuentra generalmente a lo largo de toda la extensión del dique. Su espesor varía entre 4 y 6 metros. Este estrato ofrece una función primordial en la estabilidad del dique al formar una costra de material bien consolidado y de

muy baja permeabilidad en la cimentación de la estructura que ayuda a controlar problemas de tubificación y a minimizar potenciales daños ocasionados por eventos sísmicos.

- Arena suelta o medianamente densa. Esta capa representa el estrato problemático para las condiciones de análisis de estabilidad del dique tanto desde el punto de vista dinámico como estático (condición de flujo permanente). Su espesor varía entre 4 y 8 metros cuando está presente en el perfil estratigráfico. El valor N en el ensayo SPT puede llegar a ser tan bajo como 2 golpes por pie en algunos lentes de material. El material arenoso tiende a desaparecer hacia el norte del área de estudio, a lo largo del dique sobre la margen derecha del Río Cali. Este cambio obedece a una progresión lógica en el ambiente de depositación de los materiales pertenecientes a la llanura aluvial que afecta el área de estudio. La incidencia de la falta de este material en algunas zonas implica una reducción de riesgo de falla de las estructuras bajo cargas sísmicas como se tratará más adelante.
- Arena limosa o grava arenosa densa. Representa un fondo duro a partir del cual las condiciones geotécnicas de los materiales mejoran considerablemente desde el punto de vista de estabilidad global del dique. Este material presenta cierta cohesión que puede atribuirse a su origen geológico.

1.3.1.3. Perturbación de la sección transversal del dique

Como se mencionó anteriormente existen dos factores que afectan la integridad del dique a largo plazo; la inducida por los seres humanos representados en la excavación y eliminación parcial de los taludes, resultando en algunos cortes verticales que se encuentran actualmente expuestos a lo largo de los diques. Estos cortes se hacen típicamente para proveer espacio y acomodar asentamientos subnormales comunes a lo largo de toda la estructura. Además de

esto hay casos en que se han instalado puntos de cruce de tuberías y desagües de servicios públicos a través del cuerpo del dique, generando zonas débiles ocasionadas por posible mala práctica de restablecimiento del relleno a su estado original.

El segundo factor de modificación es la incidencia de hormigueros a lo largo del dique. Este factor representa un peligro inminente a la estabilidad geotécnica de la estructura con casos documentados de falla de estructuras similares a lo largo del río Cauca. Aunque estos casos ocurren seguramente en jarillones que han sido construidos con menos tecnología que el dique de Aguablanca, es un ejemplo de lo que pudiese ocurrir en dicha estructura en caso de atender la problemática ocasionada por los hormigueros discutidos. En el año 2011 se llevó a cabo un estudio utilizando Radar de Penetración Terrestre (GPR por sus siglas en inglés) que tenía por objetivo localizar y cuantificar el impacto de los hormigueros a lo largo del dique del Río Cauca. Este estudio concluyó que podrían existir vacíos dentro del dique con un volumen total de entre 350 y 450 metros cúbicos para la zona estudiada. Se considera, sin embargo, que el volumen de estas cavidades puede alcanzar magnitudes superiores a los 1000 metros cúbicos en la zona de interés. Una cavidad particular puede llegar a tener un volumen de hasta medio metro cúbico. Los problemas potenciales para la estabilidad del dique generados por la ocurrencia de los vacíos son: pérdida de resistencia al corte de la masa de suelo, generación de trayectorias preferenciales de infiltración, pérdida de impermeabilidad, generación del fenómeno de tubificación o hundimientos superficiales que afloran a lo largo de la estructura del dique, entre otros. Los datos del estudio geofísico llevado a cabo a través del ensayo GPR son difíciles de interpretar en esta zona en particular debido a la presencia de escombros y otras anomalías que se encuentran a lo largo del dique.

1.3.1.4. Evidencia de perturbaciones observadas en visitas de campo del sistema de diques de protección del anillo de Aguablanca

A continuación se incluyen fotos tomadas durante las visitas realizadas a la zona de los diques de protección de la ciudad de Cali en donde se resalta la incidencia de factores superficiales que afectan la estabilidad geotécnica del dique.



Figura 9. Hormigueros sobre la berma y a través del dique en zona de Navarro



Figura 10. Arboles localizado en lados húmedo y seco del dique sobre el río Cauca



Figura 11. Ganado caminando sobre dique en zona de Navarro, generando erosión



Figura 12. Cortes en dique para acomodar estructuras



Figura 13. Árboles sobre el dique de la margen derecha del río Cali



Figura 14. Casas sobre la corona y estructuras sobre el talud del dique del río Cali



Figura 15. Inclinación inapropiada de dique sobre la margen izquierda del canal Interceptor Sur



Figura 16. Corte y botado de basura en dique sobre el canal Interceptor Sur



Figura 17. Corte vertical evidenciando posterior relleno con basura en dique Canal Interceptor Sur



Figura 18. Evidencia de desplazamiento lateral del relleno sanitario de Navarro contra el cauce del canal Interceptor Sur



Figura 19 Corte sobre el dique del canal interceptor Sur



Figura 20. Sobrecarga de dique generada por disposición de escombros sobre el canal Interceptor Sur



Figura 21. Reducción de capacidad hidráulica del canal Interceptor Sur

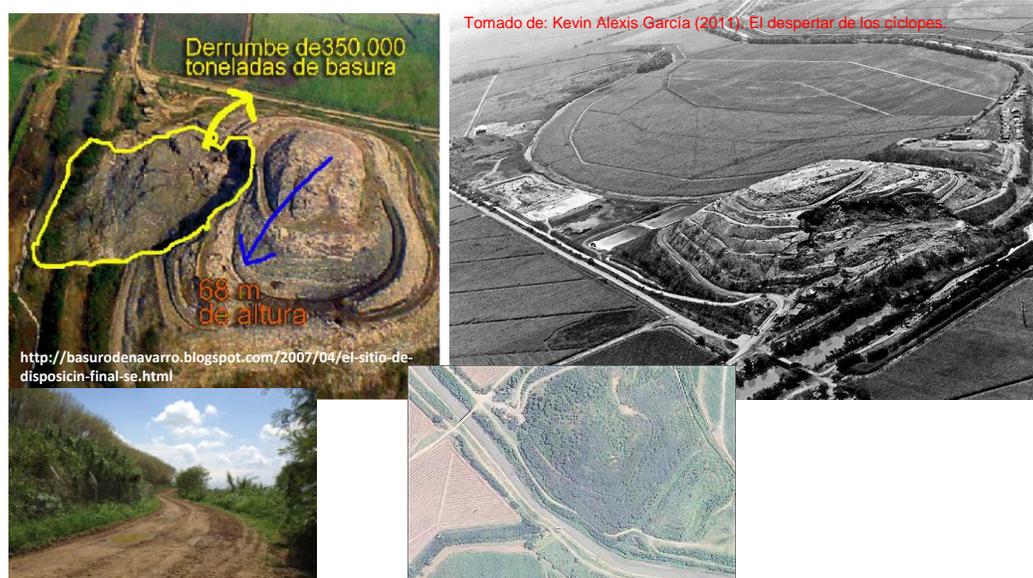


Figura 22. Desplazamiento lateral del relleno sanitario de Navarro contra el Canal Interceptor Sur.



Figura 23. Ocupación residencial, industrial, comercial, agrícola, institucional, entre otras, sobre el sistema de diques



Figura 24. Ocupación residencial, industrial, comercial, agrícola, institucional dique río Cali



Figura 25. Disposición de escombros dentro de los diques, reduciendo la capacidad hidráulica y alterando en comportamiento hidrodinámico

1.3.2. Metodología de evaluación

En este punto se discute los resultados de posibles modos de falla geotécnica para diferentes condiciones de los diques estudiados. La **figura 26** muestra los modos de falla considerados en esta evaluación. De los modos de falla considerados, los más relevantes son el modo de falla del talud del dique (10), falla inducida por tubificación (2 y 8) y las fallas por licuación de la cimentación (7). El riesgo asociado al evento de erosión inducida por excedencia del nivel de agua con respecto al nivel máximo del dique (1a o 1b) es considerado en la evaluación hidráulica en donde se tiene en cuenta los perfiles de flujo de los cuerpos de agua retenidos.

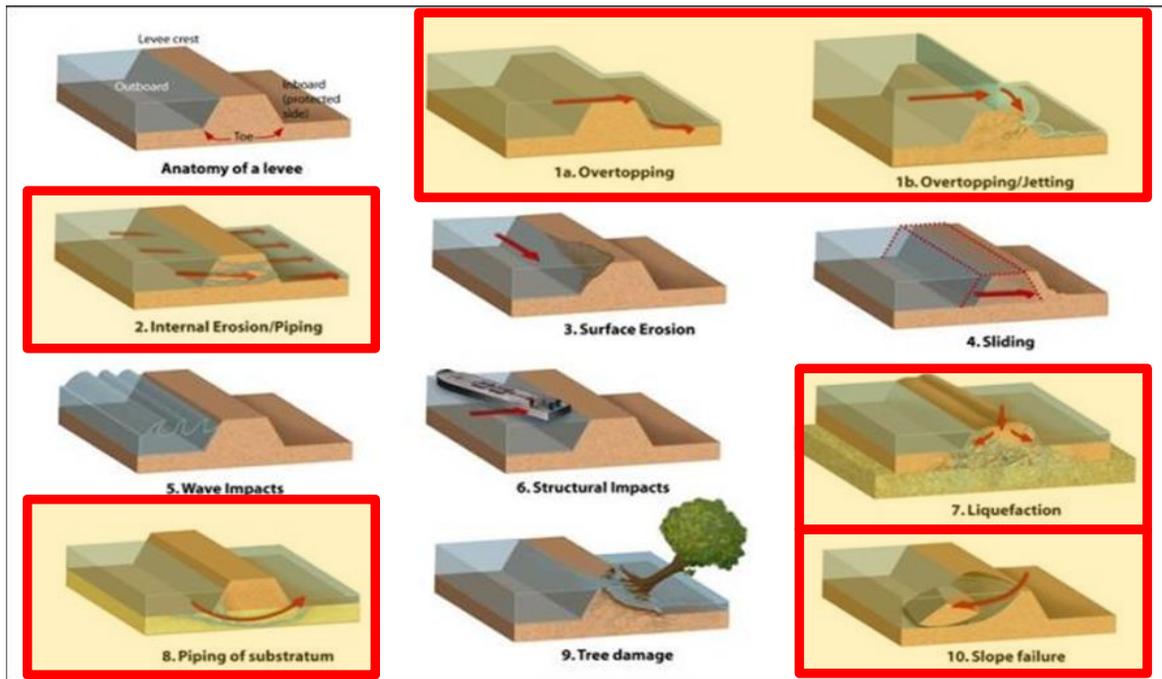


Figura 26. Modos de falla considerados en el Estudio

Las correspondientes evaluaciones se realizan teniendo en cuenta las secciones transversales intactas o restituidas de los diques según su diseño original. Como premisa de esta evaluación, se considera que cualquier modificación inducida por agentes como la hormiga arriera o la ubicación de estructuras instaladas después de la construcción de los diques debe ser corregida en la medida que esto sea posible. Los casos particulares en los que la restitución no se pueda realizar deberán ser evaluados teniendo en cuenta la geometría local particular de cada sitio.

El análisis de estabilidad de los diques se llevó a cabo utilizando el programa computacional PLAXIS 2D (Brinkgreve, 2009) que implementa el método de elementos finitos utilizando modelos constitutivos especialmente diseñados para suelos. Para el análisis de estabilidad de los diques estudiados se tuvieron en cuenta geometrías simplificadas para diferentes secciones. Parámetros

geométricos como la separación del dique del cuerpo de agua y el espesor de estratos superficiales no permeables fueron asumidos de manera conservativa con el objetivo de simplificar los análisis presentados en este informe, los cuales dan una idea clara del nivel de seguridad (o riesgo) que se puede esperar en las estructuras.

La **Tabla 3** indica parámetros geométricos básicos de las dos secciones transversales estudiadas y qué tramo representan. Las **Figuras 27, 28 y 29** muestran las secciones transversales analizadas y la estratigrafía considerada conservativamente para cada caso.

Tabla 3. Distribución geométrica diques

| Dique | Ancho Corona, m | Altura, m | Inclinación Talud Húmedo | Inclinación Talud Seco |
|------------------------|-----------------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|
| Aguablanca - Río Cauca | 6 | 4 | 2:1 2m superiores 2.5:1 <2m | 2:1 3m superiores 2.5:1 <3m |
| Río Cali | 4 | 4 | 2:1 2m superiores 2.5:1 <2m | 2:1 3m superiores 2.5:1 <3m |
| Canal Interceptor Sur | 4 | 3 | 2:1 | 2:1 |

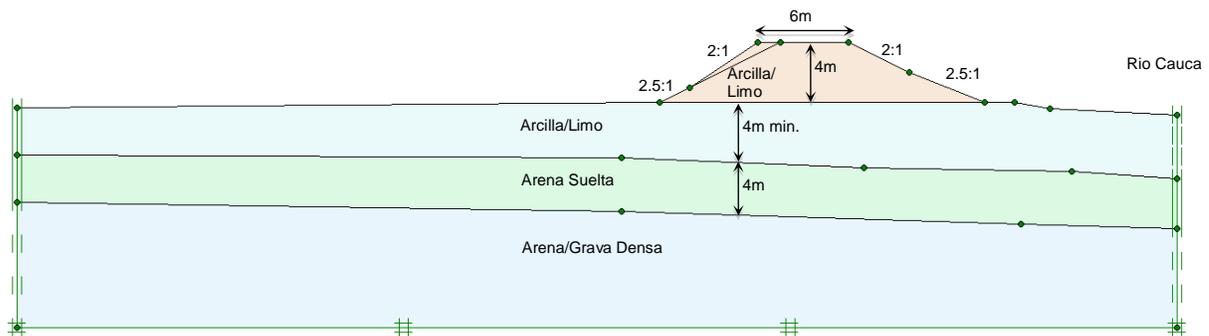


Figura 27. Geometría y arreglo estratigráfico dique de río Cauca

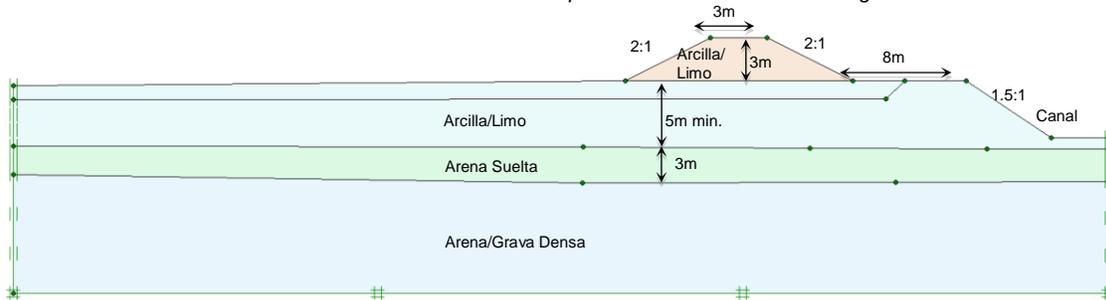


Figura 28. Geometría y arreglo estratigráfico dique Canal Interceptor Sur

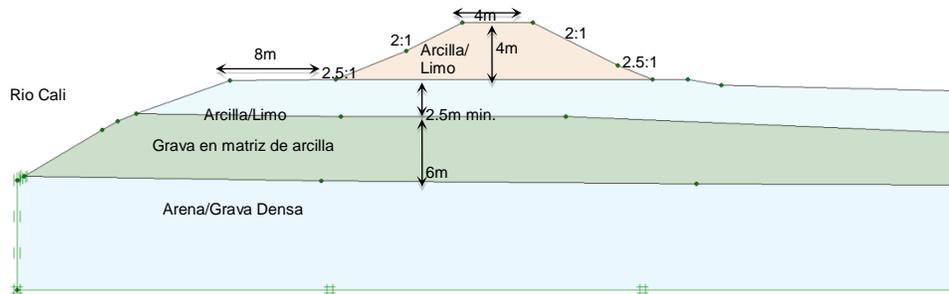


Figura 29. Geometría y arreglo estratigráfico dique río Cali

En la **Tabla 4** se incluyen los parámetros geotécnicos utilizados para los análisis de estabilidad bajo diferentes condiciones de carga.

Tabla 4. Parámetros geotécnicos simplificados

| Estrato | ϕ , grados | c, kPa | S_u , kPa | k, cm/seg |
|----------------------------|-----------------|--------|-------------|----------------------|
| Relleno dique | 31 | 5 | 35 | 5.5×10^{-5} |
| Arcilla/Limo | 21 | 2 | 30 | 5.5×10^{-5} |
| Arena Suelta | 33 | 0 | N/A | 4.0×10^{-3} |
| Grava en matriz de arcilla | 35 | 20 | N/A | 4.0×10^{-3} |
| Arena/Grava densa | 37 | 45 | N/A | 6.0×10^{-4} |

Los parámetros mostrados en la tabla anterior corresponden a valores relativamente conservativos escogidos para efectos de la evaluación de estabilidad de los diques presentada en este informe. Los parámetros ϕ , ángulo de

fricción interna y c , cohesión, definen la resistencia al corte de los materiales según el modelo elástico, perfectamente plástico definido por Mohr-Coulomb. Los valores de dichos parámetros se han escogido con base en los resultados de ensayos de laboratorio contenidos en los informes utilizados como referencia para esta evaluación, en combinación con resultados de ensayos de campo (SPT) y utilizando correlaciones con propiedades índice como son los límites de Atterberg. La resistencia al corte bajo condiciones no drenadas, S_u , se estima con base en ensayos de campo y laboratorio, teniendo en cuenta correlaciones sugeridas en Terzaghi et al (1996). El parámetro de conductividad hidráulica y la modelación de filtraciones a través de los siguen los parámetros del modelo Van Genuchten (1980).

Los diferentes modos de falla analizados se enumeran a continuación:

- ***Estabilidad estática***

Evalúa la estabilidad del sistema geotécnico bajo condiciones de carga estática y condiciones normales de nivel de agua retenida

- ***Condición de flujo permanente (steady-state seepage)***

Se analizaron dos condiciones para cada uno de los diques; una condición de flujo permanente crítico tomando un nivel hidráulico del caudal retenido igual a la altura de la corona de la estructura. La segunda condición asume que los diques trabajarán utilizando un borde libre de 1 metro, por lo tanto el nivel del agua retenida se modeló a un metro por debajo del nivel de corona.

Para los casos de flujo permanente se tuvieron en cuenta dos parámetros en la evaluación de estabilidad, el primero es la evaluación del comportamiento de los gradientes hidráulicos generados por el flujo, directamente asociados según teoría de Terzaghi y Casagrande desarrollada en los años 30s, a problemas de tubificación. El segundo parámetro es la condición de estabilidad de los taludes del dique bajo condiciones saturadas.

- ***Estabilidad pseudo-estática***

El modo de falla evaluado a través de esta evaluación es la estabilidad de los taludes y el sistema adjunto a los diques bajo condiciones de aceleración horizontal extrema. En este método se incluyen fuerzas horizontales asociadas a la masa acelerada por un sismo de diseño. La aceleración utilizada fue de 0.25g, de acuerdo con la norma NSR10. Este modo de falla, aunque considera las fuerzas sísmicas que afectan los diques, no considera la potencial pérdida de resistencia de los materiales de la cimentación, tema discutido a fondo en el informe preparado para el convenio DAGMA-CVC. La aceleración en este caso es impuesta en el modelo en ambas direcciones; hacia la cara seca del dique y hacia el cauce de agua. Dada la velocidad de aplicación de la carga horizontal se considera en este caso que los materiales arcillosos superficiales se comportan de manera no drenada.

- ***Estabilidad durante abatimiento repentino del nivel de agua (rapid drawdown)***

El modo de falla considerado en este caso tiene en cuenta las presiones de poros atrapadas en la masa de suelo, especialmente en el talud húmedo del dique, una vez haya una retracción repentina del nivel de agua retenido por la estructura. La modelación considera una reducción limitada de las presiones de poros generadas por una condición de flujo permanente

- ***Estabilidad de la cimentación bajo eventos sísmicos***

Considera la condición del potencial de corrimiento lateral generado por eventos sísmicos y su influencia en la pérdida, total o parcial, de resistencia al corte de los materiales que componen la cimentación de los diques.

1.3.3. Resultados

Teniendo en cuenta la metodología discutida anteriormente se llevó a cabo la modelación de los diferentes arreglos geométricos bajo las diferentes condiciones de carga analizadas. Los factores de seguridad mínimos aceptables para cada condición de carga depende de factores como el período de retorno de la condición analizada, la probabilidad de ocurrencia, etc. Estos factores se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Factores de seguridad mínimos

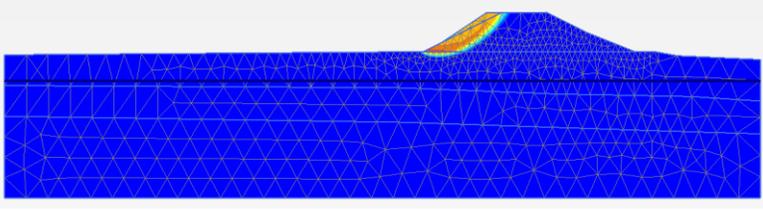
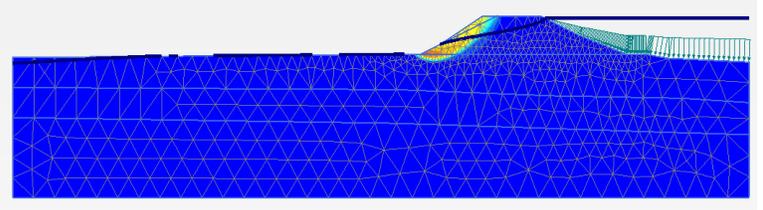
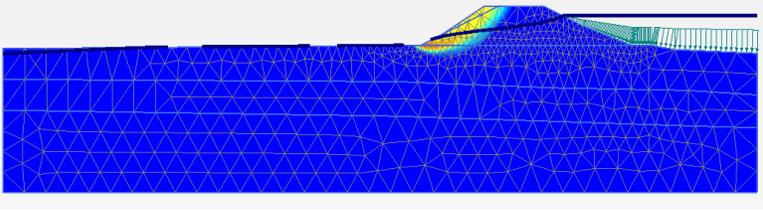
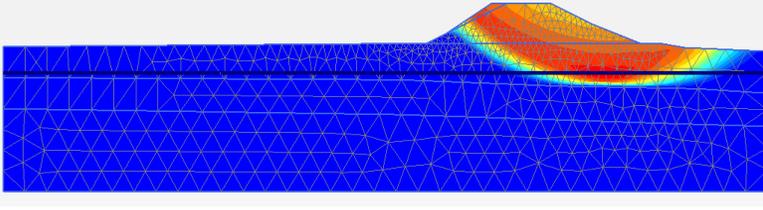
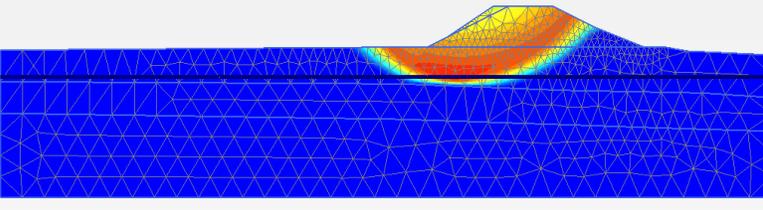
| Condición de Carga | Factor de Seguridad Mínimo |
|---|----------------------------|
| Estática | 1.5 |
| Flujo permanente | 1.2 |
| Pseudo-estático | 1.1 |
| Abatimiento repentino de carga hidráulica | 1.0 |

En adición a los criterios anteriores, también se considera necesario verificar que los gradientes hidráulicos de flujo subterráneo nunca sobrepasen valores mayores a 1.0. Si se tiene en cuenta que los tres diques analizados fueron construidos sobre materiales finos y conformados con materiales muy similares, las condiciones de tubificación que se pudieran presentar en el contacto entre materiales construidos por los seres humanos y suelos naturalmente depositados son bajas. Un gradiente hidráulico de 1.0 es considerado aceptable cuando se dan dichas condiciones. Por otro lado, las condiciones específicas en donde existe contacto entre estructuras rígidas y el cuerpo del dique se deben analizar con criterios diferentes. Dichas condiciones no se incluyen en el alcance de la evaluación presentada en este informe.

Teniendo en cuenta la metodología discutida anteriormente se llevó a cabo la modelación de cada una de las secciones transversales determinadas. Los resultados se sintetizan en las **Tablas 6, 7 y 8** en donde se indica el modo de falla

analizado, se ilustra la superficie de falla esperada y se muestra el factor de seguridad obtenido en la modelación.

Tabla 6. Superficies de falla y factores de seguridad para dique de Aguablanca

| Modo de Falla | Superficie | FS |
|------------------------------|--|-----|
| Estática |  | 1.5 |
| Flujo permanente max. |  | 1.0 |
| Flujo permanente borde libre |  | 1.1 |
| Pseudo-estático |  | 1.3 |
| Pseudo-estático |  | 1.4 |

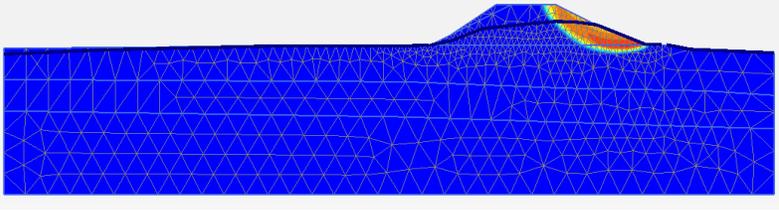
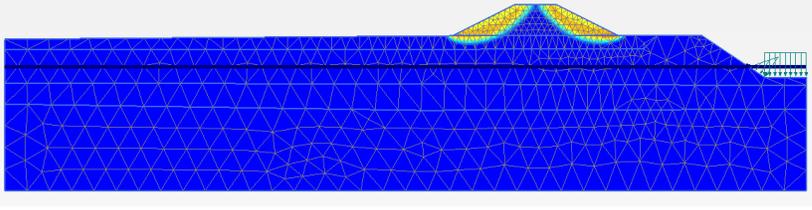
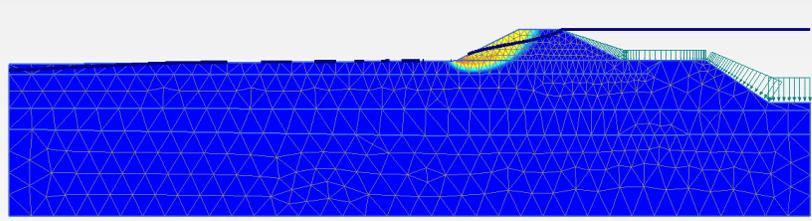
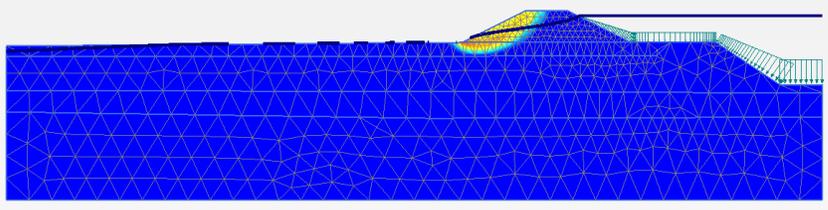
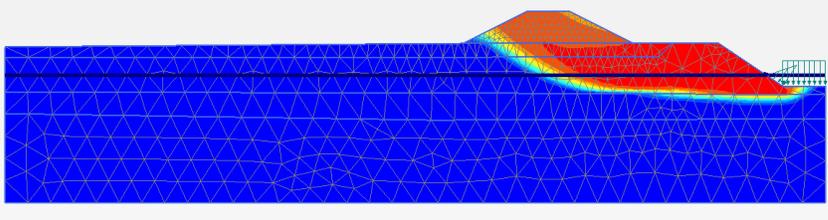
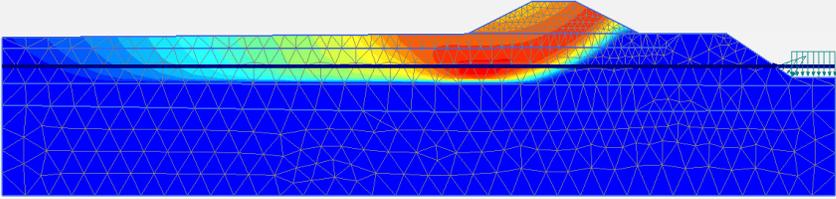
| | | |
|-----------------------|--|-----|
| Abatimiento repentino |  | 1.1 |
|-----------------------|--|-----|

Tabla 7 Superficies de falla y factores de seguridad para dique en Canal Interceptor

| Modo de Falla | Superficie | FS |
|------------------------------|--|-----|
| Estática |  | 1.8 |
| Flujo permanente max. |  | 1.2 |
| Flujo permanente borde libre |  | 1.3 |
| Pseudo-estático |  | 1.2 |
| Pseudo-estático |  | 1.6 |

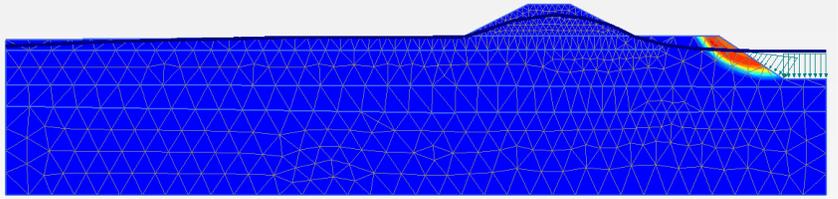
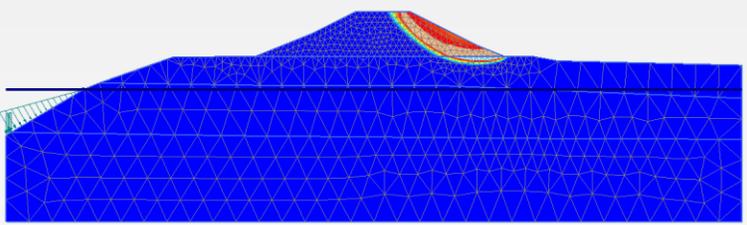
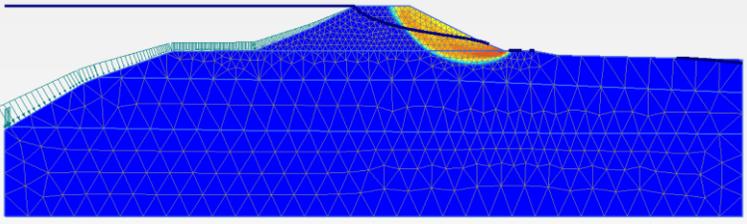
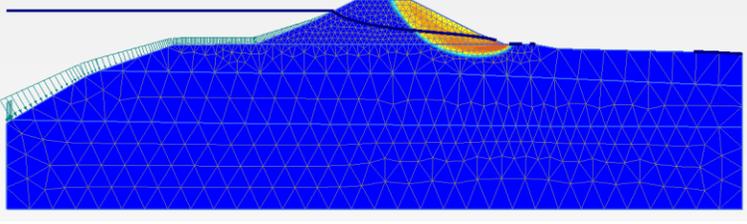
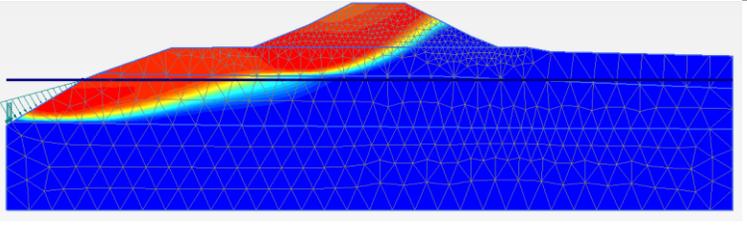
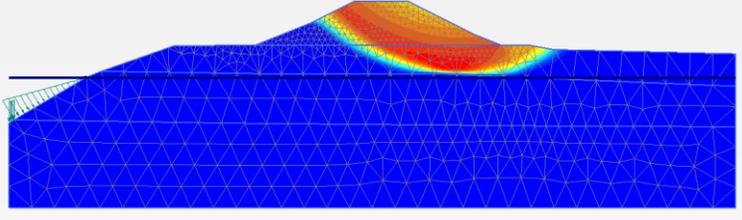
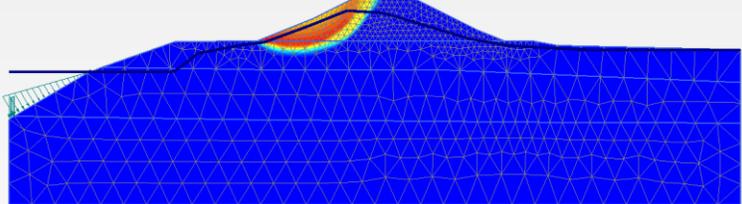
| | | |
|-----------------------|--|-----|
| Abatimiento repentino |  | 1.0 |
|-----------------------|--|-----|

Tabla 8. Superficies de falla y factores de seguridad para el dique sobre el río Cali

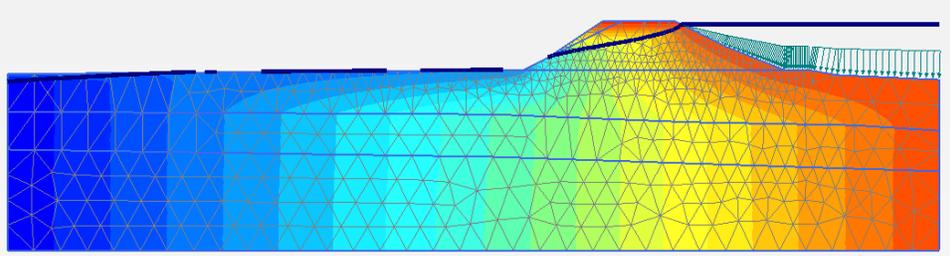
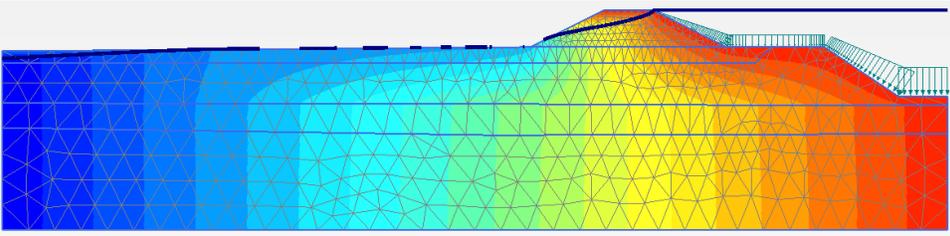
| Modo de Falla | Superficie | FS |
|------------------------------|--|-----|
| Estática |  | 1.7 |
| Flujo permanente max. |  | 1.2 |
| Flujo permanente borde libre |  | 1.3 |
| Pseudo-estático |  | 1.5 |

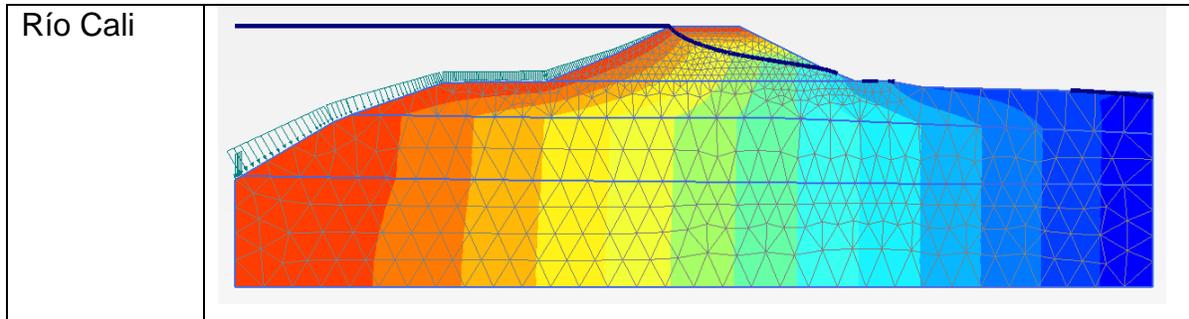
| | | |
|-----------------------|--|-----|
| Pseudo-estático |  | 1.5 |
| Abatimiento repentino |  | 1.1 |

En la

Tabla 9 9 se muestran las zonas equipotenciales en condiciones de flujo para niveles extremos (nivel retenido a altura de corona). De dichos diagramas se deduce que los gradientes hidráulicos no exceden un valor de 1.0.

Tabla 9. Zonas equipotenciales en red de flujo permanente

| Estructura | Red de Flujos |
|-------------------|--|
| Aguablanca |  |
| Canal Interceptor |  |



Comparando los resultados mostrados en las **Tablas 10, 11 y 12**, con los factores de seguridad mínimos establecidos en la **Tabla 5** se concluye que los diques del Canal Interceptor Sur y del río Cali cumplen con la seguridad mínima en todas las condiciones de carga. El dique de Aguablanca, sin embargo, presenta factores de seguridad por debajo del valor sugerido para condiciones de flujo permanente. En otras palabras, el dique no ofrece la protección necesaria cuando los niveles del río Cauca se acercan al nivel de corona del mismo.

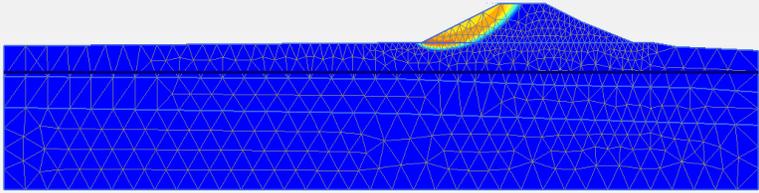
Con base en lo anterior se llevó a cabo la modelación del dique de Aguablanca con una modificación en su sección transversal; el talud seco del dique se uniformiza y se establece con una inclinación de 2.5:1 en toda su extensión a cambio de inclinaciones de 2:1 para los 2 metros superiores de dique y de 2.5:1 para las zonas por debajo de estos dos metros. Esta modificación supone un corte en la sección del dique y una reducción en el ancho de corona de 1.5 metros. Los resultados de la modelación de la sección modificada, presentados en la **Tabla 10** demuestran que los factores de seguridad aumentan hasta alcanzar niveles aceptables para todas las condiciones de carga.

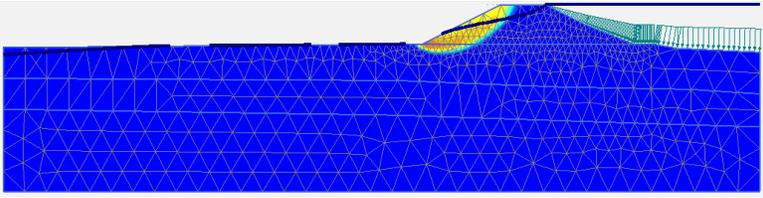
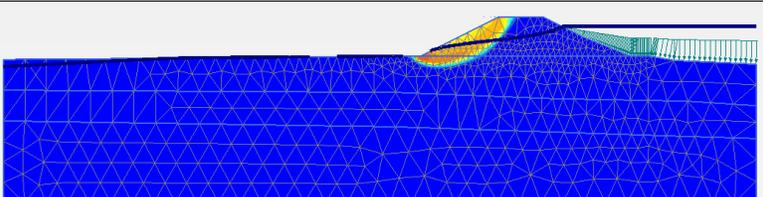
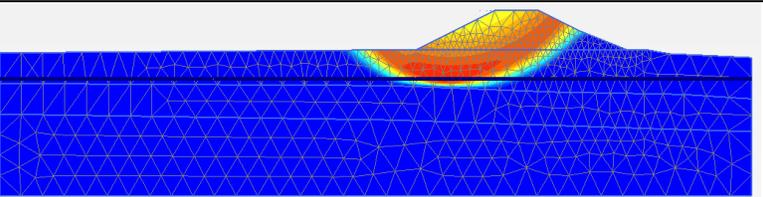
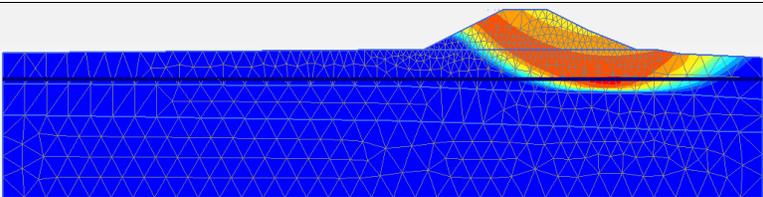
En adición a las modelaciones presentadas, las cuales asumen condiciones de los diques sin ningún tipo de modificación, se llevó a cabo un chequeo del nivel de seguridad del dique sobre el Canal Interceptor Sur a lo largo de un tramo de aproximadamente 200 metros en inmediaciones de la Avenida Simón Bolívar. Este tramo presenta acumulación de escombros sobre la corona del dique. Para evaluar el efecto de dicha acumulación sobre el nivel de seguridad del dique se

modeló una capa de escombros de hasta 1.5 metros sobre la corona de la estructura. La sección transversal modificada se muestra en la **Figura 30** Los resultados de dicho análisis se muestran en la **Tabla 11**.

Además de los modos de falla discutidos, se debe considerar el modo de corrimiento lateral discutido en el informe preparado para el convenio DAGMA-CVC. En dicho informe se presenta un análisis en donde se demuestra que los diques sufrirán deformaciones que comprometen seriamente su capacidad para contener agua en caso de que ocurra el sismo de diseño establecido según la norma NSR10 en la región. El tema de la ocurrencia de licuación es irrelevante para este caso ya que los suelos arenosos como los encontrados principalmente bajo el dique de Aguablanca o el dique sobre el Canal Interceptor Sur sufrirán pérdida considerable de resistencia al corte que compromete seriamente su capacidad para sostener el dique en su lugar (Duncan y Wright, 2005). La evaluación de estabilidad sísmica acertada en el caso de los diques de la ciudad de Cali es considerar el comportamiento de la estructura superior y evaluar su estabilidad bajo este modo de carga y además considerar el efecto que tienen dichos sismos en los materiales que componen la cimentación de las estructuras. Los resultados detallados de todas las modelaciones discutidas en este capítulo se incluyen en el **Anexo 1** de este Estudio.

Tabla 10. Superficies de falla y factores de seguridad para sección modificada en dique de Aguablanca

| Modo de Falla | Superficie | FS |
|---------------|--|-----|
| Estática |  | 1.7 |

| | | |
|------------------------------|---|-----|
| Flujo permanente max. |  | 1.1 |
| Flujo permanente borde libre |  | 1.2 |
| Pseudo-estático |  | 1.4 |
| Pseudo-estático |  | 1.3 |

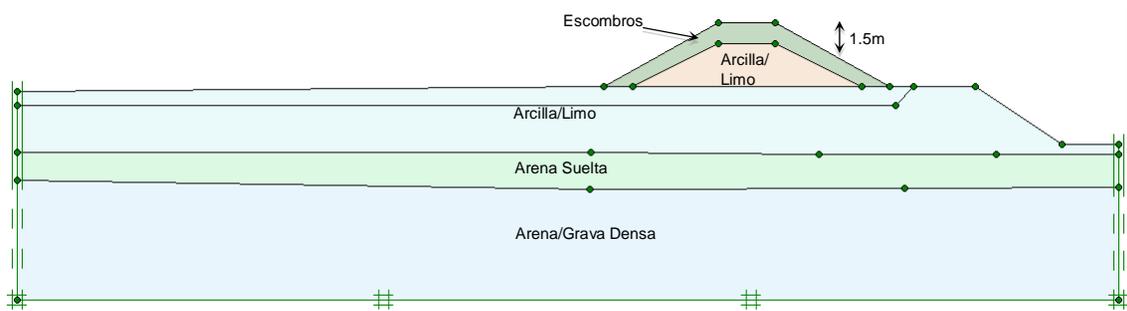
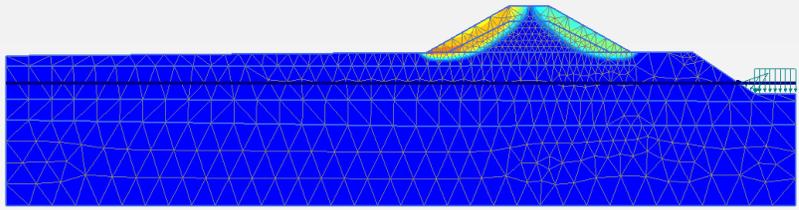
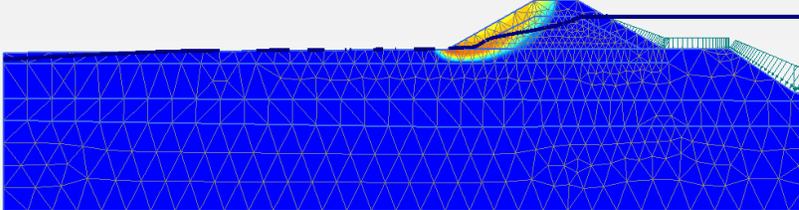
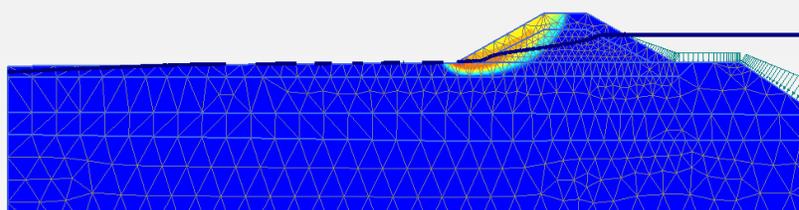
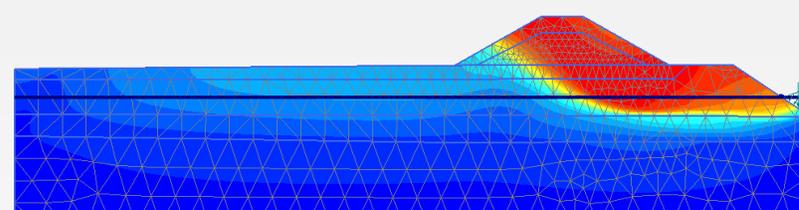
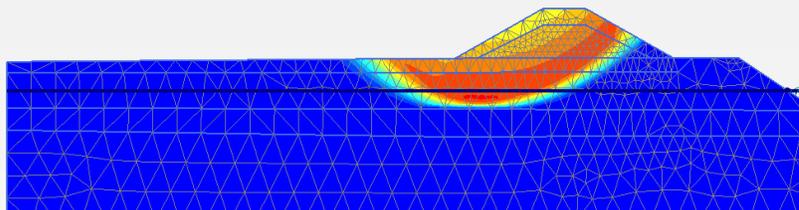
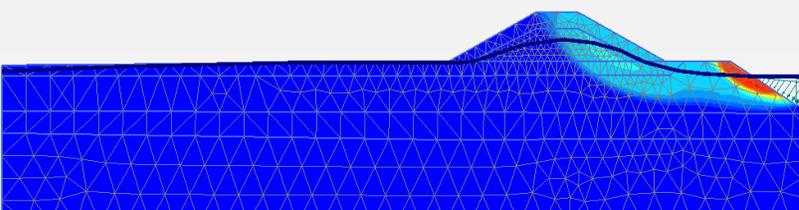


Figura 30. Sección modificada Canal Interceptor Sur

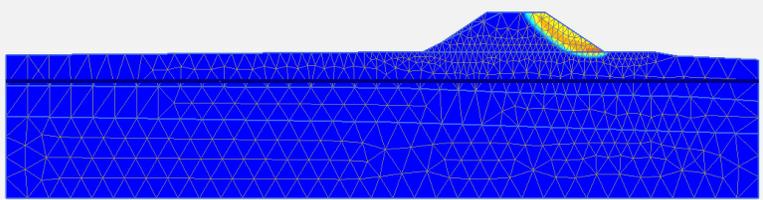
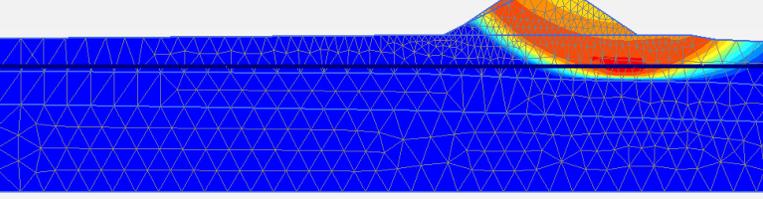
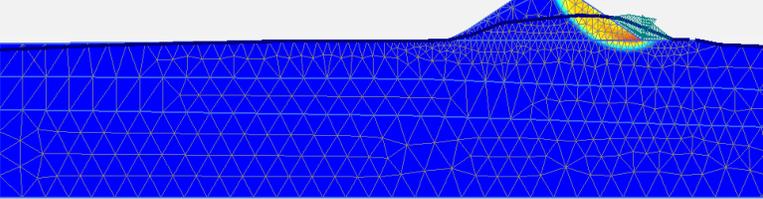
Tabla 11. Superficies de falla y factores de seguridad para dique con escombros en Canal Interceptor

| Modo de Falla | Superficie | FS |
|---------------|------------|----|
|---------------|------------|----|

| Modo de Falla | Superficie | FS |
|------------------------------|--|-----|
| Estática |  | 1.5 |
| Flujo permanente max. |  | 1.1 |
| Flujo permanente borde libre |  | 1.2 |
| Pseudo-estático |  | <1 |
| Pseudo-estático |  | 1.2 |
| Abatimiento repentino |  | 1.0 |

Por último, se presenta un ejercicio orientado a evaluar el efecto de la modificación de la pendiente húmeda del dique. En este caso se modeló el dique de Aguablanca con una pendiente húmeda con una inclinación aumentada a 1.5:1. Los resultados, mostrados en la **Tabla 12** demuestran la reducción inclusive por debajo de niveles mínimos aceptables para la condición estática y la reducción en el nivel de protección para modos de falla asociados al talud húmedo.

Tabla 12. Superficies de falla y factores de seguridad para dique de Aguablanca con talud húmedo de 1.5:1

| Modo de Falla | Superficie | FS |
|-----------------------|--|-----|
| Estática |  | 1.4 |
| Pseudo-estático |  | 1.3 |
| Abatimiento repentino |  | 1.1 |

1.3.4. Conclusiones y recomendaciones

Desde el punto de vista geotécnico y en condiciones de construcción originales los resultados del modelamiento de los modos de falla de los diques del anillo indican que en general estos son estables frente a cargas estáticas. Sin embargo frente a

cargas dinámicas, asociadas al evento sísmico de diseño⁵, los diques del anillo son altamente vulnerables y su cimentación puede sufrir corrimiento lateral.

El Canal Interceptor Sur y el río Cali, cuando se consideran intactos, se encuentran en condiciones suficientes de seguridad bajo ciertas condiciones de carga analizadas. Sin embargo en la realidad, estos diques presentan cierto grado de modificación de su geometría generados principalmente por asentamientos humanos y en algunas zonas por depósitos de escombros así como de residuos sólidos⁶, lo que genera un aumento considerable de cargas sobre los diques que frente a los modos de falla estudiados los hace altamente vulnerables. En general la presencia de cavernas por hormiga arriera en diversos sectores constituye un factor también de reducción de la resistencia al corte de los diques, así como aumento de permeabilidad que pueden generar filtraciones de agua por tubificación⁷ y subsidencia.

De otro lado el dique río Cauca presenta una condición inaceptable bajo condiciones de flujo estable. Esta condición de carga es precisamente la más crítica para una estructura de retención de agua ya que una falla bajo este régimen ocasionaría una ruptura progresiva a lo largo del dique y causaría inundaciones de la zona protegida durante eventos de niveles altos del río Cauca.

De acuerdo con los resultados de los modelamientos en este Estudio, se demuestra como la modificación tanto de la geometría de los diques como la colocación de cargas adicionales, pueden generar reducciones en los factores de seguridad bajo diferentes condiciones de carga. Por ejemplo, la acumulación de escombros sobre los diques en una altura de 1.5 metros por encima de sus niveles

⁵ El sismo de diseño definido por la NSR-10 para Cali es de 0,25g que corresponde a un periodo de retorno de 475 años.

⁶ A la altura del relleno sanitario de Navarro se observa el desplazamiento lateral del contra el Canal Interceptor Sur resultado del derrumbe ocasionado en el año 2001.

de corona (dique canal interceptor sur) o la inclinación del talud húmedo a una inclinación de 1.5:1 (dique río Cauca) hacen que los factores de seguridad bajen a los mínimos aceptables. Cualquier condición que sea más extrema que las analizadas causará que los diques sean estructuras inseguras con potenciales altos de falla. Teniendo en cuenta lo anterior y reconociendo que los diques han sido transformados de unas condiciones iniciales de diseño adecuadas a las condiciones actuales que se encontraron, caracterizadas por una fuerte intervención antrópica, se concluye que los diques del anillo son altamente vulnerables a sufrir alguno de los tipos de falla estudiados.

Como recomendación para reducir la vulnerabilidad de los diques del anillo de Aguablanca frente a posibles fallas asociadas a la inestabilidad geotécnica, se recomienda en primera instancia que las secciones de los diques sean restablecidas a sus configuraciones originales, llevando a cabo un reemplazo total de las secciones removidas con metodologías y materiales apropiados. Además, es imprescindible rellenar todas las cavidades generadas por hormigas arrieras en los diques, su cimentación y en las zonas de berma.

También se debe llevar a cabo un tratamiento adecuado a la cimentación de los diques Aguablanca y Canal Interceptor Sur con el fin de mitigar el potencial de corrimiento lateral. Dado que el evento de diseño que ocasionaría daños considerables a estas estructuras tiene una baja probabilidad de ocurrencia, se debe diseñar un sistema que ofrezca el nivel de protección aceptable tal que si el evento llegase a ocurrir, el dique cumpla con las siguientes premisas: 1. Sea reparable, 2. Su capacidad para retener agua se mantenga y 3. Su nivel de corona, reducido después de haber sufrido asentamientos ocasionados por el evento sísmico, permanezca en un nivel tal que ofrezca protección contra niveles altos del río o canal que correspondan a periodos de retorno razonables que reflejen el tiempo en el que se ejecutaría una reparación de las estructuras. Para esta última premisa se debe tener en cuenta que si el evento sísmico de diseño ocurre, no solamente los diques sufrirán daños, sino que la ciudad de Cali entera

se verá enfrentada a una situación crítica donde será necesario destinar recursos a reparación de infraestructura de más inmediata necesidad, aplazando muy seguramente la eventual reparación de los diques.

Las intervenciones tanto por acumulación de material sobre las estructuras como los cortes realizados para acomodar casas o corrales se deben eliminar, con la respectiva restitución posterior de las secciones transversales originales de las estructuras.

Debido a que las filtraciones a través de los diques no son necesariamente inevitables. Las inspecciones regulares deberán hacer énfasis en identificar sitios de infiltración excesiva o turbia, indicadores de situaciones anómalas que deberán ser atendidas con prontitud. La manera correcta de resolver esta condición es llevando a cabo inyecciones de lechada que logren una impermeabilización de caminos preferenciales de flujo.

Por último se recomienda llevar a cabo un levantamiento topográfico detallado que permita identificar zonas en donde los diques han sido impactados de alguna manera. Esta información además de ser útil para determinar sitios críticos de acción inmediata que permitan resolver situaciones inseguras en los diques, sería el insumo para llevar a cabo los diseños para el reforzamiento de la cimentación de los diques, la recuperación de su geometría original y el elevamiento de la corona para el nivel de protección requerido.

CAPITULO II. MODELAMIENTO HIDRÁULICO Y ESCENARIOS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO DEL RÍO CAUCA

Con relación al diagnóstico de las condiciones hidráulicas del anillo de Aguablanca en este capítulo se presenta la revisión de Estudios asociados a modelamientos hidráulicos existentes sobre el río Cauca, canal interceptor sur y río Cali. De otro lado se presenta el proceso realizado para el modelamiento hidráulico del río Cauca, que contiene la esquematización de la malla de puntos, la información de condiciones iniciales de fronteras (entrada y de salida).

Este modelo fue ajustado y actualizado incorporándole la información hidrológica, hidráulica, topográfica y batimétrica más reciente, para obtener resultados más confiables de los niveles de agua y las velocidades del flujo en el área inundada. La metodología consistió en la revisión de los niveles de la corona del dique de río Cauca y la determinación de los puntos más bajos, en los cuales la estructura puede fallar por desbordamientos en su corona, cuando los niveles de agua en el río son altos con caudales correspondientes a periodos de retorno para TR 100, 250 y 500 años. La modelación permitió obtener información para la construcción de escenarios de amenaza que proveen de información relacionada como el área inundada, las profundidades y velocidades de agua, entre otros; insumos fundamentales para la posterior estimación del riesgo por inundación.

2.1 ESTUDIOS CONSIDERADOS PARA EL ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL RÍO CAUCA

Durante los últimos diez años entidades como la CVC, el DAGMA y la Universidad del Valle, han ejecutado diferentes estudios hidrológicos e hidráulicos del río Cauca en el tramo correspondiente a la ciudad de Cali, con diferentes finalidades. Una de ellas es la de conocer la posible ocurrencia de inundaciones del río Cauca a futuro, que representan una amenaza para la ciudad. De estos estudios, los más representativos e importantes se relacionan en la **Tabla 13**, que se presenta a continuación.

Tabla 13. Estudios revisados como insumo para determinar las condiciones hidráulicas del río Cauca

| Estudio N° | Descripción | Fuente |
|------------|--|--------------------------------------|
| 1 | Estudio hidrológico y modelación matemática hidrodinámica bidimensional del río Cauca para la “Modelación de amenaza por inundaciones en la ciudad de Cali por el río Cauca y tributarios” (2012) | DAGMA/HIDRO-OCCIDENTE |
| 2 | Evaluación hidrológica y modelación hidráulica para el “Diagnóstico del estado actual de los diques del distrito de Aguablanca” (2011) | CVC/FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE |
| 3 | Proyecto Modelación del río Cauca – PMC (2007) | CVC - UNIVALLE |
| 4 | Estudio hidrológico y modelación hidráulica para “Estudio de amenaza por inundación del área con régimen diferido de Navarro y su entorno, de vulnerabilidad y de estado de las obras de mitigación existentes” (2005) | PLANEACIÓN MUNICIPAL/HIDRO-OCCIDENTE |

2.1.1 Estudio hidrológico y modelación matemática hidrodinámica bidimensional del río Cauca para la “Modelación de amenaza por inundaciones en la ciudad de Cali por el río Cauca y tributarios”

La modelación de amenaza por inundaciones en la ciudad de Cali por el río Cauca y tributarios, se realizó en marco del contrato del DAGMA No. 4133.0.26.1.218 de 2011, cuyo objeto era la “Recuperación del Dique del río Cauca en las comunas 6, 7 y 21 y corregimiento de Navarro del municipio de Santiago de Cali”, y cuyo contratista fue el CONSORCIO JARILLONES Y DRAGADOS 2011.

La información contenida en este estudio se relaciona con: la recopilación y análisis de información existente; el levantamiento batimétrico y topográfico del río Cauca y sus afluentes tributarios (canal Interceptor Sur y río Cali); revisión y ajuste a estudios hidrológicos recientes del río Cauca, canal Interceptor Sur y río Cali; modelación matemática hidrodinámica bidimensional del río Cauca y sus afluentes tributarios y la modelación de amenaza por inundación considerando tres sitios de “rotura” de diques en el río Cauca, un sitio de “rotura” en el dique del río Cali y un sitio en el Canal Interceptor Sur, para periodos de retorno de las crecientes en cada cauce de 10, 30 y 100 años.

Finalmente, como producto final del Estudio, se determinaron los posibles mapas de inundación, originadas por las crecientes simultáneas del río Cauca y los tributarios río Cali y canal Interceptor Sur para los períodos de retorno evaluados.

Para la ejecución de la modelación matemática hidrodinámica bidimensional de los escenarios establecidos, se empleó el modelo CCHE2D, elaborado por el National Center for Computational Hydroscience and Engineering (NCCHE) de la University of Mississippi. Con los resultados de esta modelación se definieron niveles de amenaza por inundación en alta, media y baja.

Para el caso del río Cauca, éste Estudio concluye que de presentarse una rotura de la margen izquierda del dique, en los tramos comprendidos entre el canal Interceptor Sur y el puente de Juanchito; o el puente de Juanchito y el puente de la recta Cali-Palmira; o entre este último y la desembocadura del río Cali, las inundaciones afectarían las comunas 21, 14, 13, 12, 7, 6 y 5.

En el caso del río Cali, la modelación matemática hidrodinámica realizada sin rotura de diques, presenta desbordamientos en tres sectores sobre la margen derecha para periodos de retorno de la creciente de 30 y 100 años, y en tres sectores sobre la margen izquierda para periodos de retorno de la creciente de 10,

30 y 100 años, afectando la comuna 6 y parte de la 7, así como el sector aledaño a la margen izquierda del río.

Por último y con relación al canal Interceptor Sur, una rotura del dique existente sobre su margen izquierda, en un sitio cercano a la entrega al río Cauca, en el evento de una creciente del canal o la ocurrencia de un remanso de sus aguas por una creciente del río Cauca, la zona de mayor afectación correspondería a un sector del corregimiento de Navarro.

2.1.2 Evaluación hidrológica y modelación hidráulica para el “Diagnóstico del estado actual de los diques del distrito de Aguablanca”

A raíz de los efectos generados por la temporada invernal de finales del año 2010, que ocasiono el rompimiento de algunos diques e inundaciones de áreas extensas⁸ en el Valle del Cauca, la CVC y la FUNDACIÓN PACÍFICO VERDE firmaron un convenio de asociación para realizar el diagnóstico del estado de los diques del Distrito de Aguablanca.

Entre los alcances del Estudio estaba conocer el estado de los diques construidos dentro de los proyectos de adecuación de tierras de los años 60's, 70's y 80's, sobre la margen izquierda del canal Interceptor Sur y el río Cauca.

Para realizar el diagnóstico, previamente se llevó a cabo la evaluación hidrológica y modelación hidráulica del canal Interceptor Sur y el río Cauca, para periodos de retorno de las crecientes de una vez en 10, 20, 30, 50 y 100 años. Para esta modelación se empleó el modelo de tránsito hidráulico unidimensional HEC-RAS.

⁸ En la cuenca del Cauca Alto se presentaron registros promedios diarios superiores a 600 m³/s entrando en la represa de Salvajina, obligando a realizar descargas entre 300 y 345 m³/s promedio diario durante 26 días, con niveles máximos históricos en las estaciones hidroclimatológicas de Juanchito y Mediacanoa, provocando rompimiento de diques sobre el río Fraile y el río Palmira, como también inundaciones en la Zona Franca de Palmaseca y en el casco urbano del municipio de La Victoria, entre otros sectores.

De los resultados de las modelaciones hidráulicas realizadas, se concluyó que en el canal Interceptor Sur para el nivel de creciente con periodo de retorno de una vez en 100 años con remanso del río Cauca, tiene bordes libres entre 0.17 m y 1.39 m; los cuales están por debajo de los 1.5 m del diseño original.

En lo correspondiente al río Cauca el nivel de creciente para una frecuencia de una vez en 100 años, genera desbordamientos sobre la corona del dique, por lo que se recomienda realizar el realce el dique del río Cauca hasta lograr un nivel de protección óptimo, entre el canal Interceptor Sur y el puente de Juanchito, así como otras acciones para mitigar los impactos de futuras inundaciones.

2.1.3 Proyecto Modelación del río Cauca – PMC

Entre los años de 1997 y 2007 la CVC en convenio con la Universidad del Valle desarrollaron el Proyecto de Modelación del río Cauca – PMC, en el cual se adelantaron los estudios necesarios para la implementación de un complejo sistema de modelación matemática del río Cauca y sus tributarios en el tramo Represa de Salvajina – la Virginia, con la finalidad de analizar aspectos técnicos relacionados con las características hidráulicas, sedimentológicas, geológicas, geomorfológicas y de calidad de agua.

En este Estudio se empleó el modelo matemático MIKE 11, el cual permite la simulación de los procesos hidrodinámicos, morfológicos y de calidad de agua, a partir de lo cual se pueden analizar y evaluar las diferentes intervenciones y obras proyectadas, orientando la planificación y la toma de decisiones sobre el control, el aprovechamiento y la recuperación del recurso hídrico. La modelación se realizó para la condición actual y futura incluyendo los diques marginales, considerando cuatro escenarios de crecientes correspondientes a periodos de retorno de la creciente de una vez en 10, 25, 100 y 500 años. En este estudio no se consideró

el área urbana de Cali. Con base en los resultados obtenidos se generaron mapas de inundación, que muestran las áreas inundadas.

Este estudio logro recopilar, clasificar y analizar la información disponible en CVC, como resultado de los programas de monitoreo que esta Corporación ha realizado desde hace más de 50 años, en las diferentes estaciones hidrométricas y de calidad del agua del río Cauca y tributarios y otros aspectos ambientales, naturales y antrópicos de la región. Adicionalmente se efectuaron diferentes programas de campo para complementar y actualizar la información disponible, como el uso de una red geodésica de alta precisión, levantamientos topo-batimétricos, muestreos sedimentológicos y estratigráficos, muestreos de calidad de agua, etc. En desarrollo de este Estudio se realizó un análisis tendiente a establecer el comportamiento que presentaría el río Cauca al construir varios kilómetros de diques para control de inundaciones.

2.1.4 Estudio hidrológico y modelación hidráulica para “Estudio de amenaza por inundación del área con régimen diferido de Navarro y su entorno, vulnerabilidad y de estado de las obras de mitigación existentes”

En el año 2005 el Departamento Administrativo de Planeación Municipal de la ciudad de Santiago de Cali contrató con Hidro-Occidente la ejecución de este Estudio, como requerimiento para la reclasificación del uso del suelo en el área del corregimiento de Navarro declarada como de régimen diferido y en la cual se proyectaba un desarrollo de vivienda para la ciudad.

Este Estudio hizo una revisión y actualización de los estudios hidrológicos realizados por la CVC en 1958 para el diseño de las obras del “Proyecto de Aguablanca”, con base en los registros históricos de caudales y niveles de agua del río Cauca en las estaciones hidrométricas de Hormiguero y Juanchito; con lo cual se determinaron los niveles de agua máximos del río Cauca para diferentes

periodos de retorno, ordenando la serie de registros en tres grupos, así: 1) Desde la iniciación de registros hasta el año de entrada en operación de Salvajina (1986); 2) Desde la puesta en operación de Salvajina hasta el año 2004; y 3) Todo el registro histórico, desde su iniciación hasta el año 2004. Los periodos de retorno evaluados de la creciente fueron de una vez en 3, 5, 10, 20, 30, 50 y 100 años.

Los modelos utilizados para las evaluaciones hidrológicas e hidráulicas fueron el modelo SMADA Versión 6.46 y el modelo HEC.RAS. Versión 3.1.3. Los resultados obtenidos del modelamiento indican que la corona del dique está a 2.5 m por encima del nivel de agua del periodo de retorno de 10 años calculado por la CVC en 1958, el cual, a su vez, es similar al nivel de 50 años actual. También se hace referencia a que en aquella época se estimaba que el nivel de aguas de crecida de frecuencia de una vez en 100 años estaría a 1.0 m por encima del de 10 años y se proponía, para el dique, un borde libre de 1.5 m por encima del perfil líquido de 100 años; y que el análisis realizado el nivel de aguas de 100 años en el canal Interceptor Sur es 0.59 m más bajo que el estimado en 1958 y en la Urbanización Suerte 90 es de 0.70 m más bajo que el estimado en 1958, o sea que el inicio del dique del río Cauca en el sector de Navarro (canal Interceptor Sur) tenía un borde libre de 2.09 m por encima del nivel de crecida de 100 años calculado en este estudio, y un borde libre al final del tramo (Urbanización Suerte 90) de 2.2 m por encima del nivel de crecida de 100 años.

Como resultado de este Estudio se concluye que si llegara a presentar una crecida del río Cauca incluso superior al periodo de retorno de 100 años, los diques de protección agrícola serían rebasados y el exceso de la hidrógrafa de crecida pasaría a inundar las zonas agrícolas hasta ese momento protegidas, dando regulación a la crecida, alejándose así la probabilidad de que el dique de protección llegue a ser rebasado por aguas de crecida del río Cauca y, que el área de Navarro pueda sufrir anegamientos por dicha eventualidad.

2.2 CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL DIQUE DE PROTECCIÓN DE AGUABLANCA

2.2.1 El distrito de drenaje de Aguablanca

Aunque desde la construcción el dique río Cauca, este se ha comportado adecuadamente durante muchas crecientes, la preocupación, en relación con su estabilidad y consecuente confiabilidad, debida a una serie de amenazas antrópicas y naturales, se hizo más evidente a raíz de las precipitaciones y crecientes de los ríos tributarios del Cauca originadas por un prolongado evento de “La Niña” entre 2010 y 2012, que no solo afectó la región sur-occidental del país, sino que causó grandes inundaciones y daños colaterales en la parte norte del país.

La CVC operó el Distrito desde su terminación hasta el año 1987, año en que fue entregado a las Empresas Municipales de Cali (EMCALI), teniendo en cuenta que el desarrollo de la ciudad hacia el área del Distrito, implicaba grandes cambios de las obras internas, tanto en el sistema de drenaje como en la evacuación de las aguas de escorrentía pluvial mediante bombeo. La CVC se reservó el dique del río Cauca y del canal interceptor, responsabilidad que mantiene hasta ahora.

Por considerarlo importante, se anexa copia de un informe de la CVC preparado por el ingeniero Jorge Llanos en febrero de 1975, donde se dan más detalle del proyecto y de las conversaciones adelantadas con EMCALI para la transferencia de las obras (**Anexo 1**⁹ a este Informe).

En la **Tabla 14** y la **Figura 31** respectivamente, se muestran las obras principales del Proyecto, de acuerdo con el diseño y construcción inicial, las cuales se dividen así:

⁹ Orígenes y desarrollo del distrito de drenaje de Aguablanca en Cali

Tabla 14. Principales obras hidráulicas del proyecto Aguablanca

| | |
|----|---|
| 1. | Un canal interceptor de los ríos Cañaveralejo, Meléndez y Lili con entrega libre al río Cauca en el punto de Navarro, con una longitud de 9.0 Km |
| 2. | Un dique marginal al río Cauca de 15.1 Km de longitud, comprendido entre el sitio denominado Paso del Comercio y la entrega del canal interceptor en el sitio de Navarro. |
| 3. | Un dique marginal izquierdo al canal interceptor antes indicado. |
| 4. | Un dique paralelo por el costado norte a la carretera al Paso del Comercio (hoy Cra. 1ª) de 2.0 Km de longitud. |
| 5. | Un canal principal de drenaje de 11.3 Km de longitud que recorre la parte más baja del área (hoy canal oriental). |
| 6. | Un canal secundario de drenaje de 2.4 Km de longitud que entrega sus aguas al canal principal. |
| 7. | Una estación de bombeo en el Paso del Comercio, integrada por cinco (5) bombas de 1.7 m ³ /s cada una. |
| 8. | Dos lagunas reguladoras de crecientes del canal principal de drenaje. |

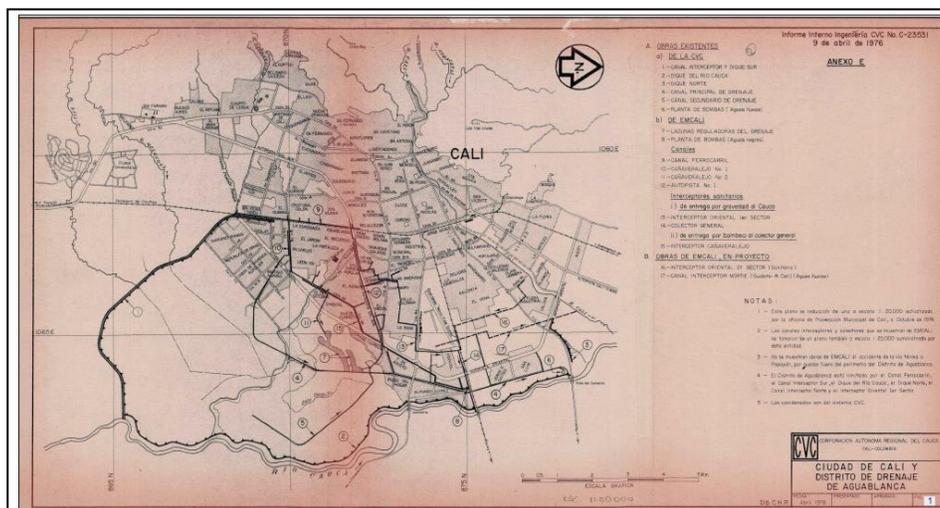


Figura 31. Localización de obras hidráulicas del proyecto Aguablanca

2.2.2 Diseño hidrológico del proyecto de Aguablanca

Para el año de 1958 se contaba con información hidrológica en Salvajina y Juanchito; en este último sitio, aunque la estación se instaló en 1938, no tuvo buen funcionamiento durante los primeros años de existencia, lo que obligó a los consultores a utilizar solamente datos confiables registrados a partir de 1946; o

sea que el dimensionamiento de las obras y en particular para la determinación de los niveles de corona de los diques, solamente se contó con solo 11 años de información.

Por considerarlo de interés, a continuación se transcribe una parte del Reporte C-797 de noviembre 18 de 1958 elaborado por los ingenieros Kirpich y Hadjiloukas pertenecientes al Board de Consultores y encargados de los estudios hidrológicos e hidráulicos del proyecto.

a) Hydrology: *Available records of Cauca River stages, from gaging stations operated by CVC and by others, give the profiles in Fig. 2 showing Cauca River levels for durations of 10 to 100 percent and during floods of 1 to 10-year frequency. The 10-year flood practically coincides with the maximum flood of record (February 1950). For more unusual floods, the available records permit only approximate estimates. Extrapolation of the frequency curves drawn for the Cauca levels at Juanchito and Paso de Navarro show that a water level one meter higher than the 1950 flood corresponds to frequency of about 150 years; to be conservative; this frequency has been taken as 100 years.*

The design-flood profile, which is 1 meter higher than that observed in 1950, is referred to from now on as the 100-year flood. An analysis has not been possible of what the frequency of the same flood profile would be after completion of the Timba reservoir and the canal improvements from Cali to la Balsa. For the present, it is guessed that such a flood would have a frequency of once in 200 year.

b) Hydraulics. *The effect of the proposed level on Cauca River flows and on adjacent areas was described in memorandum C-590 of January 28, 1958.*

c) Construction. *A freeboard of 1.5 meters above the 100 year flood has been adopted in setting the top of the Cauca River level. Other characteristics of the*

levee are: top-width, 6.0m; side-slope, river side, 1 on 2 for the upper 2 m and 1 on 2½ below this level; land-side slope, 1 on 1½ for the upper 3 m and 1 on 2 below this level.

Los diseñadores del sistema de Aguablanca, tal como se anota en la parte trascrita del reporte y se observa en el perfil hidráulico, calcularon niveles de agua para crecientes de una vez en 10 años y estimaron, además, que el dique de protección con un nivel de corona de un (1,0) metro por encima del nivel de creciente de uno en diez (10) años, podría manejar un evento de uno (1) en cien (100) años. Sin embargo, tal como se indica en el literal c) de la transcripción parcial del Reporte C-797, para la construcción se decidió incrementar en 1.5 m el borde libre sobre el nivel de uno (1) en cien (100) años; es decir, que la corona del dique finalmente construido quedó con un borde libre de 2.50 m con relación a la creciente de uno (1) en diez (10) años.

Lo anterior se comprobó con el análisis o revisión de los planos de construcción (as built) que, por fortuna, existen en la planoteca de la CVC. Para mayor claridad a continuación, en la **Tabla 4**, se indican los datos de niveles de agua para uno (1) en diez (10) años deducidos de la **Figura 32** (perfil hidráulico en 1958), además de los niveles de corona del dique construido. Todos los datos están referidos al sistema de elevaciones de la CVC de esa época.

**Tabla 15. Proyecto de Aguablanca
Niveles de creciente y corona del dique marginal al río Cauca (1958),
según los estudios, diseños y planos de construcción**

| ABSCISA | NIVEL DE AGUA TR=10 | NIVEL DE CORONA DIQUE (msnm) | BORDE LIBRE | OBSERVACIONES |
|---------|------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------------|
| K0+000 | 954,2 | 957,00 | 2,80 | Puente Paso del Comercio |
| K1+000 | 954,41 | 957,24 | 2,83 | |
| K2+000 | 954,62 | 957,48 | 2,86 | |
| K3+000 | 954,83 | 957,72 | 2,89 | |

| ABSCISA | NIVEL DE AGUA TR=10 | NIVEL DE CORONA DIQUE (msnm) | BORDE LIBRE | OBSERVACIONES |
|---------|------------------------|------------------------------------|----------------|---|
| K4+000 | 955,05 | 957,96 | 2,91 | |
| K5+000 | 955,26 | 958,20 | 2,94 | |
| K5+200 | 955,3 | 958,25 | 2,95 | Juanchito |
| K6+000 | 955,53 | 958,43 | 2,90 | |
| K7+000 | 955,83 | 958,76 | 2,93 | |
| K8+000 | 956,12 | 959,00 | 2,88 | |
| K9+000 | 956,41 | 959,32 | 2,91 | |
| K10+000 | 956,71 | 959,60 | 2,89 | |
| K11+000 | 957,00 | 959,88 | 2,88 | |
| K12+000 | 957,29 | 960,20 | 2,91 | |
| K13+000 | 957,58 | 960,44 | 2,86 | |
| K14+000 | 957,88 | 960,70 | 2,82 | |
| K15+000 | 958,17 | 961,00 | 2,83 | |
| K15+100 | 958,2 | 961,03 | 2,83 | Entrega Canal Interceptor o Canal Navarro |

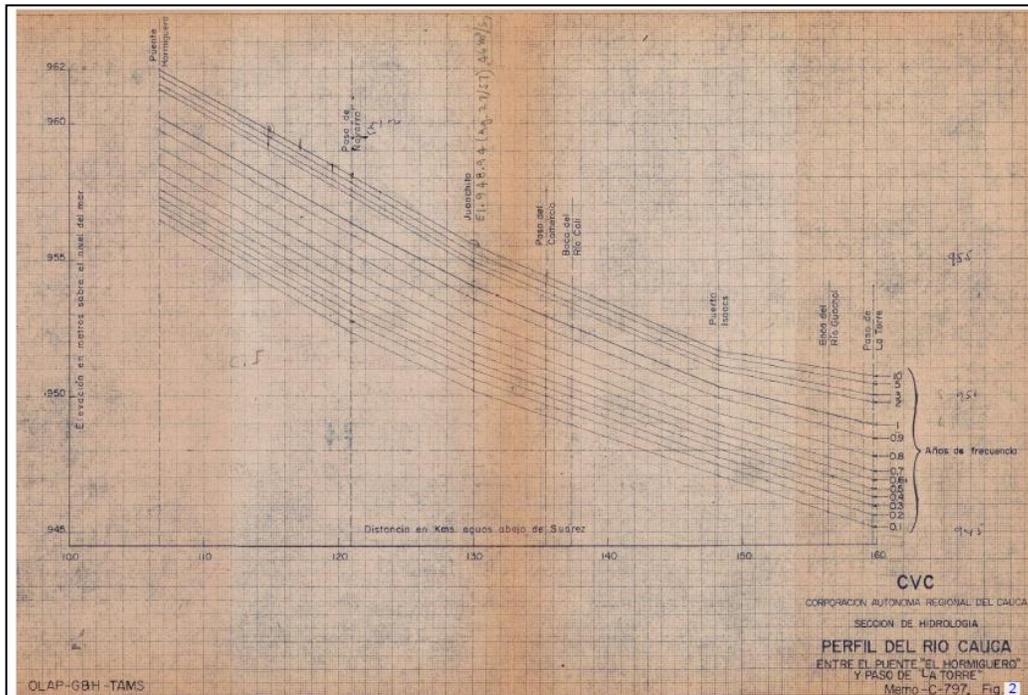


Figura 32. Niveles de creciente y corona del dique marginal al rio Cauca (1958)

Notas referidas a la Tabla y Figura anterior:

1. Los niveles o cotas indicados corresponden al sistema de elevaciones implementados por la CVC desde esa época. Su equivalencia con el sistema IGAC o CMT es: $IGAC = CVC - 5.955$ (msnm).
2. Para trabajos actuales, la CVC realizó ajustes basándose en sistemas geodésicos globales resultando para el sitio de Juanchito que el nuevo sistema de elevaciones IGAC (CMT) = $CVC - 5.85$; o sea que existe actualmente una diferencia de 10.5 cm con relación a las equivalencias anteriores.
3. Se debe tener en cuenta que el abscisado, medido por el eje de un dique, no siempre corresponde al abscisado por el eje del río adjunto. En este caso, la longitud del dique entre Paso del Comercio y Canal Navarro es de 15.100 m, mientras que la distancia por el río entre estos dos puntos es de 18.576 m.
4. Como datos de referencia para el diseño en 1958, se tomó el siguiente valor de la creciente de 1950: 955.90 msnm.

Los datos citados anteriormente confirman los niveles de seguridad o bordes libres adoptados finalmente en la construcción del dique marginal del río Cauca en el área de Aguablanca, hacia donde se extendió la ciudad. Se reitera que tales medidas de seguridad fueron adoptadas, no solo por la poca información existente en la época de los diseños y obras, sino porque desde esa época se considerada inminente el desarrollo de la ciudad hacia Aguablanca y, en tal caso, era necesario aumentar el factor de seguridad en lo que a nivel de corona del dique se refiere, además de incrementar considerablemente las dimensiones de esa estructura, las cuales quedaron así:

| | |
|---------------------------|---|
| Ancho de corona: | 6.0 m |
| Talud cara mojada: | 2.0:1.0 en los dos (2) metros superiores y 2.5:1.0 en el tramo inferior |
| Talud cara seca: | 1.5: 1.0 en los tres (3) metros superiores y 2.0:1.0 en la parte inferior |

Estas dimensiones, que dan un volumen de dique por metro lineal más de cuatro veces superior a las dimensiones usadas regularmente en el Valle del Cauca para protección de áreas agrícolas, unidas a las rigurosas especificaciones de construcción, han garantizado hasta hoy la protección frente a las crecientes del río Cauca.

2.2.3 Hidrología para el análisis actual

Producto de las discusiones técnicas entre los expertos internacionales y locales¹⁰ se acordó que para la evaluación del comportamiento del dique marginal al río Cauca se usaría la serie de caudales y niveles registrados en la estación de Juanchito posterior a la entrada en operación del embalse regulador de Salvajina (1985). Así se contó con una información hidrológica de 27 años, entre los cuales se destacan, por su magnitud, las crecientes de los años 1988, 1999, 2008, 2010, 2011.

Se consideró que esta información hidrológica de la estación Juanchito sería suficiente para efectos de realizar estudios probabilísticos-estadísticos con el fin de determinar los caudales y niveles que podrían esperarse para períodos de retorno de 100 años y mayores.

El equipo de ingenieros locales entregó a los especialistas holandeses información hidrológica¹¹ que contenía la serie de caudales diarios de la estación Juanchito, la

¹⁰ Fondo Adaptación, Alcaldía de Cali, Royal HaskoningDHV, DAGMA, CVC, EMCALI y Corporación OSSO.

¹¹ La información hidrológica fue suministrada por la CVC

curva de calibración caudal-nivel de esta estación y el abscisado más recientes del eje del río Cauca desde Salvajina.

Acerca de la serie de caudales parciales (post-Salvajina) en Juanchito es conveniente destacar algunos temas que fueron objeto de análisis conjunto por parte de los especialistas en hidrología:

1. En estricto rigor, la serie seleccionada no es un conjunto de eventos aleatorios o estocásticos a los que se podría aplicar las teorías de las probabilidades, ya que incluye datos determinísticos correspondientes a las descargas controladas del embalse de Salvajina.
2. Por las mismas razones anteriores no era viable trabajar con toda la serie de registros en Juanchito que datan del año 1946.
3. Otra opción que se consideró fue utilizar una serie parcial desde 1945 hasta 1985 época en que se cerraron las compuertas de descarga de fondo del embalse de Salvajina. A propósito de este embalse, se comentó la característica especial de la cuenca del río Cauca, desde su nacimiento hasta terminar el valle geográfico; su forma alargada y a pesar de que hay una diferencia en latitud de menos de un grado entre la parte más alta de la cuenca y la parte del valle que recibe grandes ríos tributarios, implica que haya una diferencia sensible en los efectos de la Zona Intertropical de Convergencia de los vientos alisios (ZCI) que se traduce en un desfase, en tiempo, de los eventos de caudales¹².

¹² Entre los hidrólogos es común oír que fue una "creciente del río Cauca" refiriéndose a que el río entró con niveles y caudales altos al valle geográfico; y en otras oportunidades se hace referencia a "crecientes de los tributarios", caso en el cual, los mayores caudales registrados a lo largo de las estaciones localizadas en el valle geográfico, corresponden a aportes de los tributarios y, en menor proporción al río Cauca cuando entra al valle. Las crecientes de los años 1949-50-51 y las recientes de 2010-11-12, son típicas de las llamadas "crecientes de tributarios".

4. Por lo indicado antes, haciendo abstracción de la condición determinística, se decidió usar la serie post-Salvajina, lo que, además, representa desde hace 27 años y hacia el futuro, la situación real de eventos de crecientes que pueden afectar las obras de Aguablanca.

2.2.4 Eventos esperados para diferentes períodos de retorno

Los consultores holandeses junto con los especialistas locales, después de considerar la característica de la serie post-Salvajina, consideraron que la mejor opción de trabajo y proyección para períodos de retornos altos, era usar la citada serie, haciendo abstracción del aspecto determinístico.

Para cumplir con lo anterior usaron varias distribuciones de probabilidad encontrando que la distribución de valores extremos de Gumbell tenía una tendencia a dar valores demasiado altos, comparada con otras distribuciones usuales en hidrología. Después de analizar conjuntamente los resultados, se optó por aplicar la distribución de Pearson III que se ajustaba mucho mejor a la información existente, representada por los caudales máximos anuales de la estación Juanchito.

Una vez calculados los caudales esperados para períodos de retorno de 10, 25, 100, 250 y 500 años, con apoyo en la curva o tabla de calibración de la estación Juanchito se determinaron los niveles de agua probables para los citados períodos de retorno. A partir de los niveles en Juanchito y con base en la información de pendientes hidráulicas y abscisados suministrados por la CVC, calculados con base en los estudios realizados para el proyecto de Modelación del río Cauca (PMC) por la Universidad del Valle en el año 2007.

Una vez definidos los perfiles hidráulicos entre la desembocadura del río Cali y la entrega del Canal Interceptor o Canal Sur, se procedió a comparar niveles de

agua con el nivel del dique río Cauca¹³. En la **Figura 33** se presenta el perfil del dique río Cauca con los niveles de agua para los periodos de retorno considerados. En las **Figuras 34 y 35** se presentan los perfiles de los diques río Cali y canal interceptor sur respectivamente.

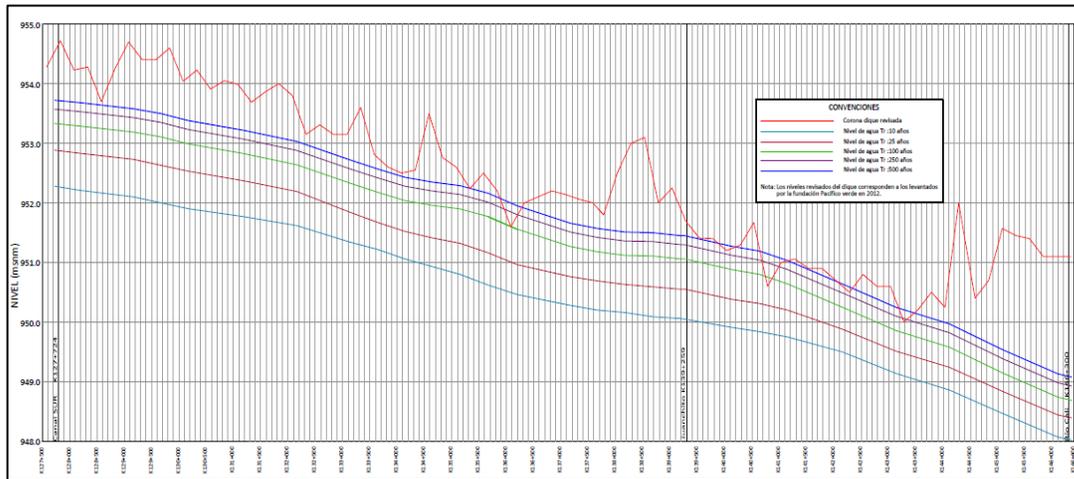


Figura 33. Perfil longitudinal del dique río Cauca

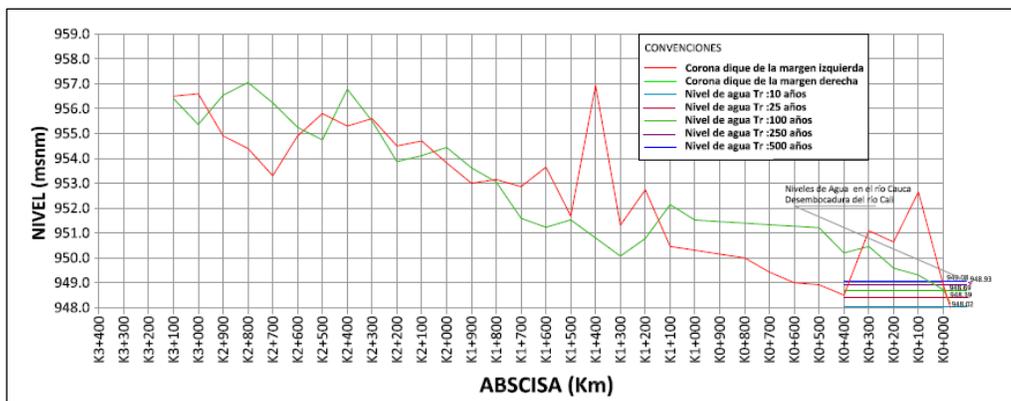


Figura 34. Perfil longitudinal del dique río Cali

¹³ Para la definición del perfil del dique se utilizó la información suministrada por el DAGMA

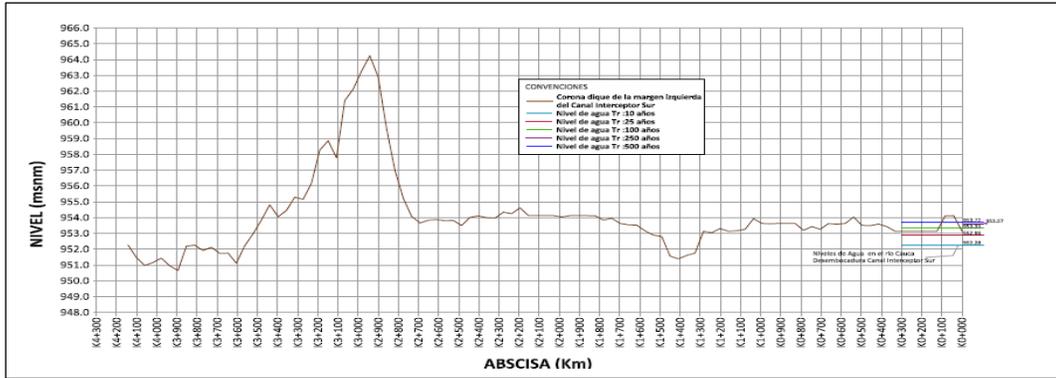


Figura 35. Perfil longitudinal del dique Canal Interceptor Sur

2.3 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA ZONA DEL DIQUE A PARTIR DE INFORMACIÓN HISTÓRICA Y MODELOS HIDRÁULICOS DISPONIBLES Y ACCESIBLES

2.3.1 Generalidades

La modelación hidráulica y la construcción de escenarios de amenaza por inundación correspondiente al tramo del río Cauca localizado frente a la ciudad de Cali, se elaboró a partir de información topográfica, batimétrica e hidrológica disponible y accesible, suministrada principalmente por el DAGMA y la CVC¹⁴. Para propósitos de modelamiento asociado a desbordamiento del río Cauca la corona del dique en planta fue corona verificada en campo.

2.3.2 Diferencias entre la modelación de Hidro-Occidente S.A. y la modelación de la Corporación OSSO

Para la evaluación de la amenaza por inundación se planteó inicialmente utilizar los resultados de la modelación bidimensional que se realizó en el proyecto denominado “Estudio hidrológico y modelación matemática hidrodinámica bidimensional del río Cauca para la modelación de amenaza por inundaciones en la ciudad de Cali por el río Cauca y tributarios”¹⁵. Los resultados principales de este Estudio fueron los mapas de inundaciones para el Municipio de Santiago de Cali, originadas por roturas y crecientes simultáneas del río Cauca y los tributarios río Cali y canal Interceptor Sur para los períodos de retorno de 10, 30 y 100 años.

¹⁴ La información topográfica fue suministrada por DAGMA y la CVC de proyectos ejecutados en los 2 últimos años por las organizaciones Hidro-Occidente y Pacifico Verde. La información hidrológica fue proporcionada por la CVC y complementada con el informe denominado “Modelación de amenaza por inundaciones en la ciudad de Cali por el río Cauca y tributarios” el cual incluye mapa de riesgos, batimetría y topografía en ambos costados” elaborado por Hidro-Occidente para el DAGMA.

¹⁵ Este Estudio fue desarrollado por la firma Hidro-Occidente S.A. para el DAGMA.

El equipo holandés revisó la información hidrológica aplicada en este y con la información básica de caudales máximos multianuales registrados en la estación Juanchito, decidió realizar un nuevo análisis estadístico de los eventos extremos para determinar los caudales para diferentes periodos de retorno hasta los 500 años

Los resultados obtenidos del análisis estadístico de eventos extremos dieron valores de caudales y niveles de agua un poco más bajos que los calculados por Hidro-Occidente S.A. (79 cm por debajo) por lo cual se tomó la decisión de ajustar los parámetros hidrológicos del modelo realizado por Hidro-Occidente S.A. y hacer nuevas corridas para calibrar el modelo con los nuevos resultados del análisis de frecuencia.

Además de lo anterior se requirieron nuevas corridas para eventos de 250 y 500 años para realizar los cálculos de los daños provocados por estas inundaciones y así poder determinar la mejor relación costo –beneficio del nivel de protección del dique de Aguablanca.

En la **Tabla 16** se presentan las principales características y asunciones realizadas para comparar la modelación de Hidro-Occidente S.A y la Corporación OSSO en conjunto con Royal HaskoningDHV

Tabla 16. Comparación de los parámetros de la modelación hidráulica

| Características y asunciones | Hidro-Occidente S.A.S | COSSO – Royal HaskoningDHV |
|---|----------------------------------|--|
| Caudal TR 100 (Estación Juanchito) | 1285.58 | 1206 |
| Caudal TR 250 (Estación Juanchito) | - | 1255 |
| Caudal TR 500 (Estación Juanchito) | - | 1286 |
| Nivel de agua TR 100 (Estación Juanchito) | 951.32 | 951.05 |
| Nivel de agua TR 250 (Estación Juanchito) | - | 951.29 |
| Nivel de agua TR 500 (Estación Juanchito) | - | 951.44 |
| La margen derecha con una protección similar | Si | Si |
| Rugosidad constante en el cauce | 0.028 (s/m ^{1/3}) | 0.030 (s/m ^{1/3}) |
| Rugosidad constante en la Planicie | 0.09 (s/m ^{1/3}) | 0.09 (s/m ^{1/3}) |
| En el tramo del río Cauca simulado no existen entradas ni salidas de agua. Los caudales del canal interceptor Se encuentran implícitos en los registros de la estación de Juanchito | Si | Si |
| Se incluyen flujos con sedimentos | No | No |
| Criterio para la definición de las roturas | Geotécnico | Por desbordamiento en los puntos bajos del dique y por corrimiento lateral del dique (sismo de diseño) |

El modelo topográfico digital de la zona inundable (DEM) que utilizó Hidro-Occidente es el mismo en la modelación ejecutada por equipo colombo holandés representado por la firma Royal HaskoningDHV y la Corporación OSSO.

2.3.3 Información hidrológica

La información hidrológica del río Cauca en el tramo de la ciudad de Cali se recopiló en la estación hidrométrica Juanchito, esta estación pertenece a la red de monitoreo de la CVC, se encuentra en la parte media del tramo evaluado y cuenta

con un registro continuo de niveles de agua. En la **Tabla 17** se presenta las principales características de esta estación.

Tabla 17. Principales características de la estación hidrométrica de Juanchito¹⁶

| Código CVC | Abscisa ⁽¹⁾ | Coordenada | | Tipo | Fecha de inicio | Cero de mira (msnm). Vigencia desde 01/03/1999 |
|------------|------------------------|------------|----------|------|-----------------|--|
| | | Este | Norte | | | |
| 2610000401 | K139+259 | 1.066.958 | 873.335. | LG | 01/01/34 | 942.572 |

Considerando que en Enero de 1985 entró en operación la represa de Salvajina, el análisis hidrológico y la determinación de los caudales de diseño se realizó utilizando la serie de registros medidos en el período 1985 - 2011.

2.3.3.1 Curva de Calibración

Las curvas de calibración Nivel-Caudal para un cauce son determinadas con base en la información de campo de los aforos, los cuales permiten obtener el caudal o la descarga en una estación hidrométrica para un determinado nivel de agua. Como las condiciones hidráulicas en una sección están en continuo cambio debido a los procesos de erosión y sedimentación del lecho del río, la CVC realiza continuamente aforos líquidos que sirven para establecer los periodos de vigencia de cada curva. En la **Tabla 18**, se presentan los datos de la curva de calibración vigente en la estación hidrométrica Juanchito. En esta curva se presentan los niveles de agua hasta 2 decimales y la determinación del caudal correspondiente se explica con el siguiente ejemplo: Para un nivel de agua igual a 0.14 m el caudal que le corresponde se encuentra en la fila del 0.1 y la columna 0.04, ósea que es igual a 53.4 m³/s.

¹⁶ Abscisado por el eje del río. La abscisa K0+000 corresponde al eje de la represa Salvajina.

**Tabla 18. Datos de la curva de calibración nivel-caudal.
Estación hidrométrica de Juanchito**

| H (m) | Caudal (m ³ /s) | | | | | | | | | |
|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.0 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
| 0.1 | 53.0 | 53.1 | 53.2 | 53.3 | 53.4 | 53.5 | 53.6 | 53.7 | 53.8 | 53.9 |
| 0.2 | 54.0 | 54.4 | 54.8 | 55.2 | 55.6 | 56.0 | 56.4 | 56.8 | 57.2 | 57.6 |
| 0.3 | 58.0 | 58.7 | 59.4 | 60.0 | 60.7 | 61.4 | 62.1 | 62.8 | 63.4 | 64.1 |
| 0.4 | 64.8 | 65.6 | 66.4 | 67.2 | 68.0 | 68.9 | 69.7 | 70.5 | 71.3 | 72.1 |
| 0.5 | 72.9 | 73.8 | 74.7 | 75.6 | 76.5 | 77.5 | 78.4 | 79.3 | 80.2 | 81.1 |
| 0.6 | 82.0 | 82.8 | 83.6 | 84.4 | 85.2 | 86.0 | 86.8 | 87.6 | 88.4 | 89.2 |
| 0.7 | 90.0 | 90.8 | 91.6 | 92.4 | 93.2 | 94.0 | 94.8 | 95.6 | 96.4 | 97.2 |
| 0.8 | 98.0 | 99.0 | 100.0 | 101.0 | 102.0 | 103.0 | 104.0 | 105.0 | 106.0 | 107.0 |
| 0.9 | 108.0 | 109.0 | 110.0 | 111.0 | 112.0 | 113.0 | 114.0 | 115.0 | 116.0 | 117.0 |
| 1 | 118.0 | 118.9 | 119.8 | 120.7 | 121.6 | 122.5 | 123.4 | 124.3 | 125.2 | 126.1 |
| 1.1 | 127.0 | 127.9 | 128.8 | 129.7 | 130.6 | 131.5 | 132.4 | 133.3 | 134.2 | 135.1 |
| 1.2 | 136.0 | 136.9 | 137.8 | 138.7 | 139.6 | 140.5 | 141.4 | 142.3 | 143.2 | 144.1 |
| 1.3 | 145.0 | 145.9 | 146.8 | 147.7 | 148.6 | 149.5 | 150.4 | 151.3 | 152.2 | 153.1 |
| 1.4 | 154.0 | 155.1 | 156.2 | 157.3 | 158.4 | 159.5 | 160.6 | 161.7 | 162.8 | 163.9 |
| 1.5 | 165.0 | 165.9 | 166.8 | 167.7 | 168.6 | 169.5 | 170.4 | 171.3 | 172.2 | 173.1 |
| 1.6 | 174.0 | 175.0 | 176.0 | 177.0 | 178.0 | 179.0 | 180.0 | 181.0 | 182.0 | 183.0 |
| 1.7 | 184.0 | 185.0 | 186.0 | 187.0 | 188.0 | 189.0 | 190.0 | 191.0 | 192.0 | 193.0 |
| 1.8 | 194.0 | 195.1 | 196.2 | 197.3 | 198.4 | 199.5 | 200.6 | 201.7 | 202.8 | 203.9 |
| 1.9 | 205.0 | 206.0 | 207.0 | 208.0 | 209.0 | 210.0 | 211.0 | 212.0 | 213.0 | 214.0 |
| 2 | 215.0 | 216.4 | 217.8 | 219.2 | 220.6 | 222.0 | 223.4 | 224.8 | 226.2 | 227.6 |
| 2.1 | 229.0 | 230.0 | 231.0 | 232.0 | 233.0 | 234.0 | 235.0 | 236.0 | 237.0 | 238.0 |
| 2.2 | 239.0 | 240.1 | 241.2 | 242.3 | 243.4 | 244.5 | 245.6 | 246.7 | 247.8 | 248.9 |
| 2.3 | 250.0 | 251.0 | 252.0 | 253.0 | 254.0 | 255.0 | 256.0 | 257.0 | 258.0 | 259.0 |
| 2.4 | 260.0 | 261.0 | 262.0 | 263.0 | 264.0 | 265.0 | 266.0 | 267.0 | 268.0 | 269.0 |
| 2.5 | 270.0 | 271.3 | 272.6 | 273.9 | 275.2 | 276.5 | 277.8 | 279.1 | 280.4 | 281.7 |
| 2.6 | 283.0 | 283.7 | 284.4 | 285.1 | 285.8 | 286.5 | 287.2 | 287.9 | 288.6 | 289.3 |
| 2.7 | 290.0 | 291.5 | 293.0 | 294.5 | 296.0 | 297.5 | 299.0 | 300.5 | 302.0 | 303.5 |
| 2.8 | 305.0 | 306.4 | 307.8 | 309.2 | 310.6 | 312.0 | 313.4 | 314.8 | 316.2 | 317.6 |
| 2.9 | 319.0 | 320.1 | 321.2 | 322.3 | 323.4 | 324.5 | 325.6 | 326.7 | 327.8 | 328.9 |
| 3 | 330.0 | 331.1 | 332.2 | 333.3 | 334.4 | 335.5 | 336.6 | 337.7 | 338.8 | 339.9 |
| 3.1 | 341.0 | 342.1 | 343.2 | 344.3 | 345.4 | 346.5 | 347.6 | 348.7 | 349.8 | 350.9 |
| 3.2 | 352.0 | 353.6 | 355.2 | 356.8 | 358.4 | 360.0 | 361.6 | 363.2 | 364.8 | 366.4 |
| 3.3 | 368.0 | 369.0 | 370.0 | 371.0 | 372.0 | 373.0 | 374.0 | 375.0 | 376.0 | 377.0 |
| 3.4 | 378.0 | 379.0 | 380.0 | 381.0 | 382.0 | 383.0 | 384.0 | 385.0 | 386.0 | 387.0 |
| 3.5 | 388.0 | 389.4 | 390.8 | 392.2 | 393.6 | 395.0 | 396.4 | 397.8 | 399.2 | 400.6 |
| 3.6 | 402.0 | 402.6 | 403.2 | 403.8 | 404.4 | 405.0 | 405.6 | 406.2 | 406.8 | 407.4 |
| 3.7 | 408.0 | 410.0 | 412.0 | 414.0 | 416.0 | 418.0 | 420.0 | 422.0 | 424.0 | 426.0 |
| 3.8 | 428.0 | 429.2 | 430.4 | 431.6 | 432.8 | 434.0 | 435.2 | 436.4 | 437.6 | 438.8 |
| 3.9 | 440.0 | 441.8 | 443.6 | 445.4 | 447.2 | 449.0 | 450.8 | 452.6 | 454.4 | 456.2 |
| 4 | 458.0 | 459.7 | 461.4 | 463.1 | 464.8 | 466.5 | 468.2 | 469.9 | 471.6 | 473.3 |
| 4.1 | 475.0 | 476.0 | 477.0 | 478.0 | 479.0 | 480.0 | 481.0 | 482.0 | 483.0 | 484.0 |
| 4.2 | 485.0 | 486.5 | 488.0 | 489.5 | 491.0 | 492.5 | 494.0 | 495.5 | 497.0 | 498.5 |
| 4.3 | 500.0 | 501.0 | 502.0 | 503.0 | 504.0 | 505.0 | 506.0 | 507.0 | 508.0 | 509.0 |
| 4.4 | 510.0 | 511.8 | 513.6 | 515.4 | 517.2 | 519.0 | 520.8 | 522.6 | 524.4 | 526.2 |
| 4.5 | 528.0 | 529.3 | 530.6 | 531.9 | 533.2 | 534.5 | 535.8 | 537.1 | 538.4 | 539.7 |
| 4.6 | 541.0 | 541.9 | 542.8 | 543.7 | 544.6 | 545.5 | 546.4 | 547.3 | 548.2 | 549.1 |
| 4.7 | 550.0 | 552.0 | 554.0 | 556.0 | 558.0 | 560.0 | 562.0 | 564.0 | 566.0 | 568.0 |
| 4.8 | 570.0 | 572.0 | 574.0 | 576.0 | 578.0 | 580.0 | 582.0 | 584.0 | 586.0 | 588.0 |
| 4.9 | 590.0 | 591.4 | 592.8 | 594.2 | 595.6 | 597.0 | 598.4 | 599.8 | 601.2 | 602.6 |
| 5 | 604.0 | 605.6 | 607.2 | 608.8 | 610.4 | 612.0 | 613.6 | 615.2 | 616.8 | 618.4 |
| 5.1 | 620.0 | 621.0 | 622.0 | 623.0 | 624.0 | 625.0 | 626.0 | 627.0 | 628.0 | 629.0 |
| 5.2 | 630.0 | 632.0 | 634.0 | 636.0 | 638.0 | 640.0 | 642.0 | 644.0 | 646.0 | 648.0 |
| 5.3 | 650.0 | 650.9 | 651.8 | 652.7 | 653.6 | 654.5 | 655.4 | 656.3 | 657.2 | 658.1 |
| 5.4 | 659.0 | 661.1 | 663.2 | 665.3 | 667.4 | 669.5 | 671.6 | 673.7 | 675.8 | 677.9 |

| H (m) | Caudal (m ³ /s) | | | | | | | | | |
|-------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 0.0 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
| 5.5 | 680.0 | 681.8 | 683.6 | 685.4 | 687.2 | 689.0 | 690.8 | 692.6 | 694.4 | 696.2 |
| 5.6 | 698.0 | 699.2 | 700.4 | 701.6 | 702.8 | 704.0 | 705.2 | 706.4 | 707.6 | 708.8 |
| 5.7 | 710.0 | 712.0 | 714.0 | 716.0 | 718.0 | 720.0 | 722.0 | 724.0 | 726.0 | 728.0 |
| 5.8 | 730.0 | 731.0 | 732.0 | 733.0 | 734.0 | 735.0 | 736.0 | 737.0 | 738.0 | 739.0 |
| 5.9 | 740.0 | 741.9 | 743.8 | 745.7 | 747.6 | 749.5 | 751.4 | 753.3 | 755.2 | 757.1 |
| 6 | 759.0 | 761.1 | 763.2 | 765.3 | 767.4 | 769.5 | 771.6 | 773.7 | 775.8 | 777.9 |
| 6.1 | 780.0 | 781.0 | 782.0 | 783.0 | 784.0 | 785.0 | 786.0 | 787.0 | 788.0 | 789.0 |
| 6.2 | 790.0 | 791.2 | 792.4 | 793.6 | 794.8 | 796.0 | 797.2 | 798.4 | 799.6 | 800.8 |
| 6.3 | 802.0 | 804.3 | 806.6 | 808.9 | 811.2 | 813.5 | 815.8 | 818.1 | 820.4 | 822.7 |
| 6.4 | 825.0 | 826.5 | 828.0 | 829.5 | 831.0 | 832.5 | 834.0 | 835.5 | 837.0 | 838.5 |
| 6.5 | 840.0 | 841.8 | 843.6 | 845.4 | 847.2 | 849.0 | 850.8 | 852.6 | 854.4 | 856.2 |
| 6.6 | 858.0 | 860.2 | 862.4 | 864.6 | 866.8 | 869.0 | 871.2 | 873.4 | 875.6 | 877.8 |
| 6.7 | 880.0 | 881.8 | 883.6 | 885.4 | 887.2 | 889.0 | 890.8 | 892.6 | 894.4 | 896.2 |
| 6.8 | 898.0 | 899.2 | 900.4 | 901.6 | 902.8 | 904.0 | 905.2 | 906.4 | 907.6 | 908.8 |
| 6.9 | 910.0 | 912.0 | 914.0 | 916.0 | 918.0 | 920.0 | 922.0 | 924.0 | 926.0 | 928.0 |
| 7 | 930.0 | 932.0 | 934.0 | 936.0 | 938.0 | 940.0 | 942.0 | 944.0 | 946.0 | 948.0 |
| 7.1 | 950.0 | 951.0 | 952.0 | 953.0 | 954.0 | 955.0 | 956.0 | 957.0 | 958.0 | 959.0 |
| 7.2 | 960.0 | 961.0 | 962.0 | 963.0 | 964.0 | 965.0 | 966.0 | 967.0 | 968.0 | 969.0 |
| 7.3 | 970.0 | 972.8 | 975.6 | 978.4 | 981.2 | 984.0 | 986.8 | 989.6 | 992.4 | 995.2 |
| 7.4 | 998.4 | 999.6 | 1000.8 | 1001.0 | 1002.2 | 1004.4 | 1005.6 | 1006.8 | 1007.0 | 1008.0 |
| 7.5 | 1010.0 | 1012.0 | 1014.0 | 1016.0 | 1018.0 | 1020.0 | 1022.0 | 1024.0 | 1026.0 | 1028.0 |
| 7.6 | 1030.0 | 1032.5 | 1035.0 | 1037.5 | 1040.0 | 1042.5 | 1045.0 | 1047.5 | 1050.0 | 1052.5 |
| 7.7 | 1055.0 | 1057.5 | 1060.0 | 1062.5 | 1065.0 | 1067.5 | 1070.0 | 1072.5 | 1075.0 | 1077.5 |
| 7.8 | 1080.0 | 1082.5 | 1085.0 | 1087.5 | 1090.0 | 1092.5 | 1095.0 | 1097.5 | 1100.0 | 1102.5 |
| 7.9 | 1105.0 | 1107.5 | 1110.0 | 1112.5 | 1115.0 | 1117.5 | 1120.0 | 1122.5 | 1125.0 | 1127.5 |
| 8 | 1130.0 | 1131.0 | 1132.0 | 1133.0 | 1134.0 | 1135.0 | 1136.0 | 1137.0 | 1138.0 | 1139.0 |
| 8.1 | 1140.0 | 1141.0 | 1142.0 | 1143.0 | 1144.0 | 1145.0 | 1146.0 | 1147.0 | 1148.0 | 1149.0 |
| 8.2 | 1150.0 | 1152.0 | 1154.0 | 1156.0 | 1158.0 | 1160.0 | 1162.0 | 1164.0 | 1166.0 | 1168.0 |
| 8.3 | 1170.0 | 1172.0 | 1174.0 | 1176.0 | 1178.0 | 1180.0 | 1182.0 | 1184.0 | 1186.0 | 1188.0 |
| 8.4 | 1190.0 | 1192.0 | 1194.0 | 1196.0 | 1198.0 | 1200.0 | 1202.0 | 1204.0 | 1206.0 | 1208.0 |
| 8.5 | 1210.0 | 1212.0 | 1214.0 | 1216.0 | 1218.0 | 1220.0 | 1222.0 | 1224.0 | 1226.0 | 1228.0 |
| 8.6 | 1230.0 | 1232.0 | 1234.0 | 1236.0 | 1238.0 | 1240.0 | 1242.0 | 1244.0 | 1246.0 | 1248.0 |
| 8.7 | 1250.0 | 1252.0 | 1254.0 | 1256.0 | 1258.0 | 1260.0 | 1262.0 | 1264.0 | 1266.0 | 1268.0 |
| 8.8 | 1270.0 | 1272.0 | 1274.0 | 1276.0 | 1278.0 | 1280.0 | 1282.0 | 1284.0 | 1286.0 | 1288.0 |
| 8.9 | 1290.0 | 1292.0 | 1294.0 | 1296.0 | 1298.0 | 1300.0 | 1302.0 | 1304.0 | 1306.0 | 1308.0 |
| 9 | 1310.0 | | | | | | | | | |

2.3.3.2 Análisis de Eventos Extremos

Este análisis permite estimar las magnitudes de los eventos para diferentes períodos de retorno mediante procedimientos estadísticos basados en distribuciones de frecuencias como son: Distribución Normal, Distribución Log-Normal de 2 Parámetros, Distribución Log-Pearson III, Distribución Gumbell, Distribución de Weibull, etc. Para efectuar el análisis de distribución de frecuencias se utilizó un programa en Excel, desarrollado en Visual Basic por el Ingeniero Hans Leenen del equipo Holandés, el cual ha implementado y verificado en muchos ríos a nivel internacional.

Los caudales máximos anuales registrados en la estación hidrométrica Juanchito para el periodo 1985-2011 se presentan en la **Tabla 19** y en la **Figura 36**. En esta figura se aprecia como en el año 1992 se registran caudales menores a 318.4 m³/s, mientras que en el año 2011 ocurre el mayor valor de caudal registrado con 1148 m³/s.

**Tabla 19. Serie histórica de caudales máximos anuales.
 Estación hidrométrica de Juanchito – río Cauca**

| Año | Caudal máximo (m ³ /s) |
|------|-----------------------------------|
| 1985 | 619.0 |
| 1986 | 619.0 |
| 1987 | 506.4 |
| 1988 | 943.0 |
| 1989 | 743.2 |
| 1990 | 560.6 |
| 1991 | 428.0 |
| 1992 | 318.4 |
| 1993 | 760.5 |
| 1994 | 769.5 |
| 1995 | 574.6 |
| 1996 | 726.0 |
| 1997 | 974.2 |
| 1998 | 818.5 |
| 1999 | 991.0 |
| 2000 | 887.2 |
| 2001 | 568.0 |
| 2002 | 694.4 |
| 2003 | 530.6 |
| 2004 | 574.0 |
| 2005 | 636.0 |
| 2006 | 902.8 |
| 2007 | 954.0 |
| 2008 | 1022.0 |
| 2009 | 786.0 |
| 2010 | 1007.6 |
| 2011 | 1148.0 |

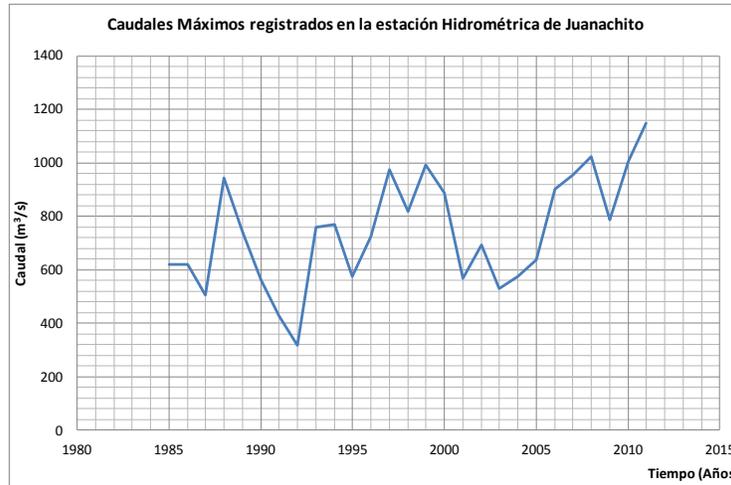


Figura 36. Caudales máximos registrados en la estación Juanchito

Para el análisis de distribución de frecuencias se evaluaron varios métodos probabilísticos y se concluyó que las funciones de distribución que ofrecen un mejor ajuste según la Prueba de Bondad de Kolmogorov-Smirnov (K S) son las distribuciones de LogPearson III y Weibull.

Los resultados de la Prueba de bondad de ajuste K S se utilizan para probar hipótesis acerca de la distribución de unos determinados datos (K S, 2012) en este caso los resultados de esta prueba para las diferentes distribuciones se presentan en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Resultados de la prueba de bondad de ajuste con el estadístico K S

| Función de Distribución | Estadístico K S |
|--------------------------------|------------------------|
| LogPerson III | 0.093 |
| Gumbell | 0.128 |
| Weibull | 0.099 |
| Normal | 0.105 |
| LogNormal II | 0.117 |
| Gamma | 0.106 |
| Logistic | 0.126 |
| LogNormal III | 0.105 |

La función de distribución de Gumbell es la que menos se ajusta a los registros de caudales máximos en la estación de Juanchito con un K S igual a 0.128, mientras que la función de distribución de LogPerson III presenta el menor valor de K S con 0.093 muy cercano a la función de Weibull (K S = 0.099), por lo tanto, estas dos funciones representan mucho mejor el comportamiento de los caudales máximos en la estación.

En la **Figura 37** se presentan las curvas de distribución con los métodos de LogPerson III y Weibull y en la **Figura 38** se muestran los caudales para los diferentes periodos de retorno calculados con estas dos funciones. En la **Tabla 21** se presentan los valores de caudales y sus respectivos niveles de agua estimados para diferentes periodos de retorno según la función de distribución de LogPerson III, los resultados muestran la relativa poca diferencia entre los valores calculados de los periodos de retorno de 100 años y 500 años, la diferencia de caudales entre TR 100 y 500 años es de 40 m³/s mientras que la diferencia de niveles es de 39 cm.

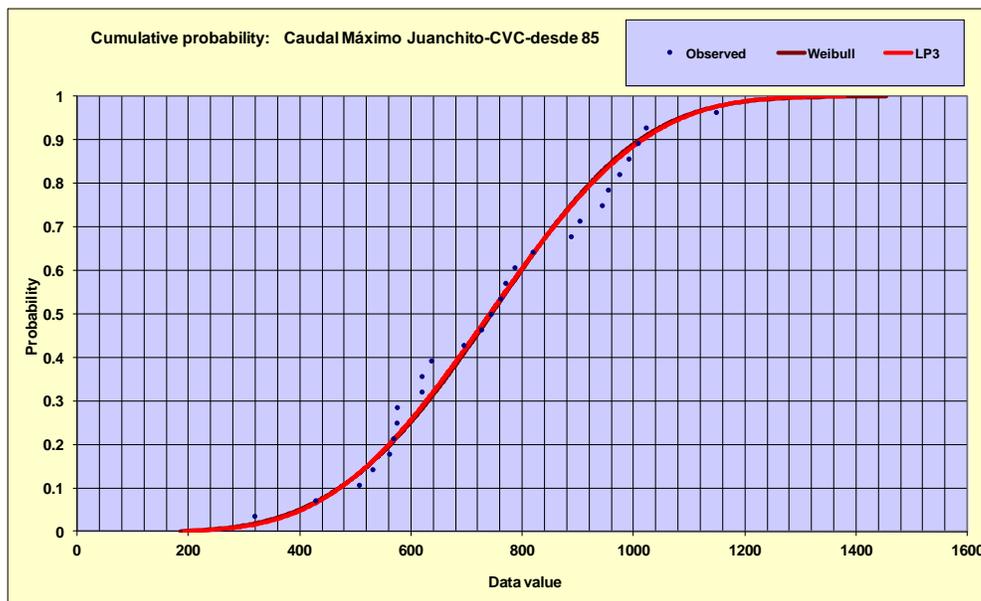


Figura 37. Funciones de distribución que mejor se ajustan a los datos de caudales máximos en Juanchito

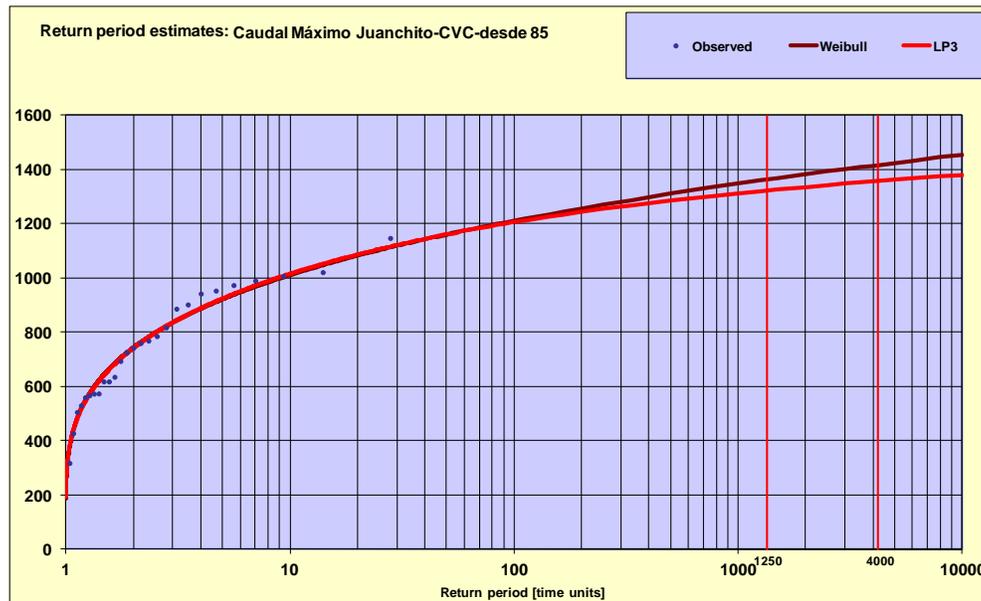


Figura 38. Caudales para diferentes periodos de retorno. Funciones de distribución de LogPerson III y Weibull

Tabla 21. Caudales y niveles de agua calculados para diferentes periodos de retorno. Estación hidrométrica de Juanchito

| Periodo de retorno | Caudal [m ³ /s] | Nivel [msnm] |
|--------------------|----------------------------|--------------|
| 10 | 1016 | 950.05 |
| 20 | 1087 | 950.43 |
| 25 | 1107 | 950.54 |
| 50 | 1161 | 950.82 |
| 100 | 1206 | 951.05 |
| 200 | 1244 | 951.24 |
| 250 | 1255 | 951.29 |
| 500 | 1286 | 951.44 |

2.3.3.3 Hidrogramas de Niveles y Caudales

Los hidrogramas de niveles y caudales que serán utilizados en las fronteras externas del modelo se generaron a partir del hidrograma base adimensional elaborado por Hidro-Occidente. Ver **Figura 39**.

El hidrograma base adimensional se determinó a partir del análisis de un hidrograma medido en la estación de Juanchito correspondiente a la creciente de noviembre del 2011. A partir de estos datos, se tomó un sector del hidrograma en el cual era evidente el paso de la creciente y se elaboró un hidrograma base, dividiendo cada ordenada del hidrograma entre el Caudal Pico. El Hidrograma adimensional se multiplica por los caudales para diferentes tiempos de retorno y se obtiene el hidrograma para cada uno de los tiempos de retorno evaluados. El hidrograma de niveles de agua calculado es trasladado hasta la sección ubicada un kilómetro aguas arriba de la desembocadura del Canal Interceptor Sur., teniendo en cuenta la pendiente longitudinal del fondo del río Cauca en este tramo y la distancia hasta esa sección del río.

Figura 40 En la **Figura 40** se presentan los hidrogramas de Caudales máximos para los periodos de retorno de 100, 250 y 500 años obtenidos en la estación de medición de Juanchito y la **Figura 41** se presentan los hidrogramas de niveles de agua calculados para una sección localizada un (1) km aguas abajo de la desembocadura del río Cali.

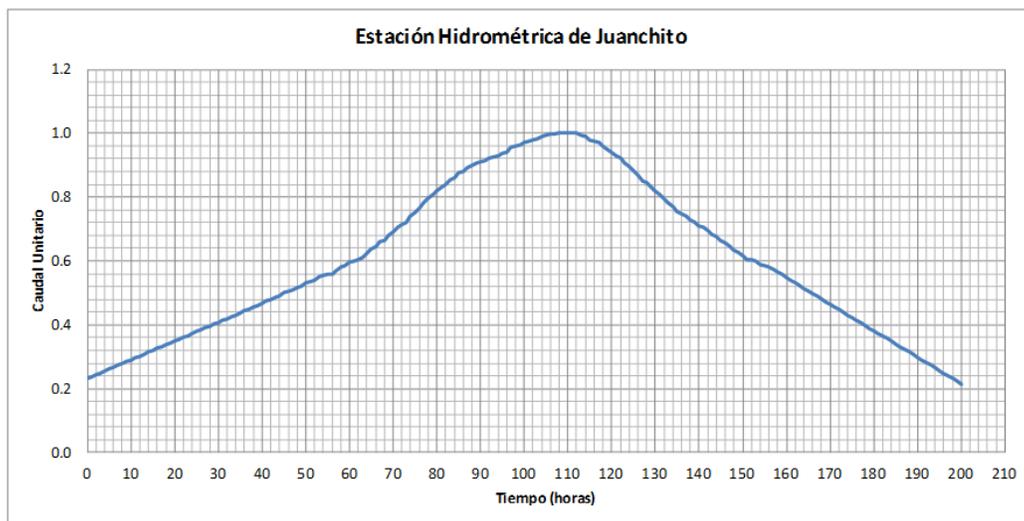


Figura 39. Hidrograma base adimensional

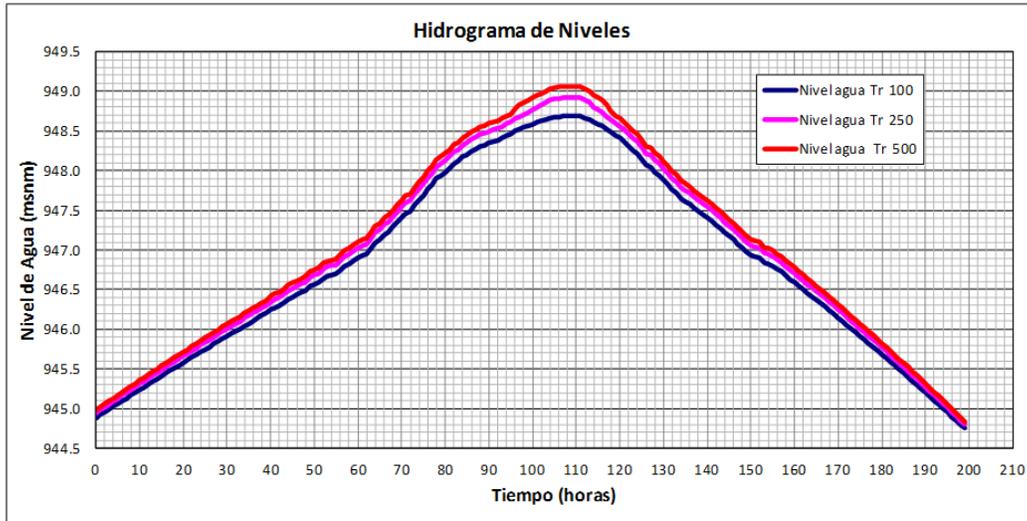


Figura 40. Hidrogramas de caudales calculados en la estación hidrométrica de Juanchito

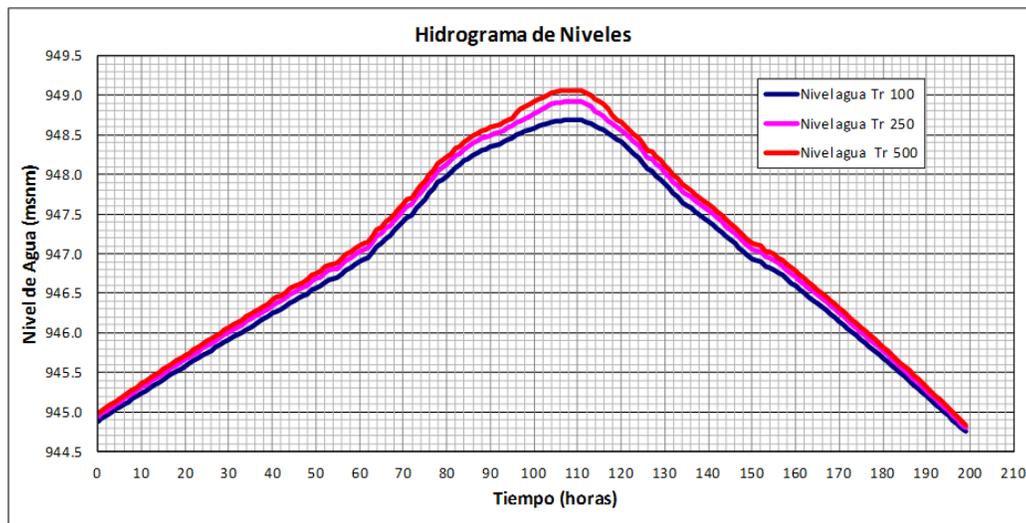


Figura 41. Hidrogramas de Niveles calculados un kilómetro aguas abajo de la desembocadura del río Cali

Los resultados obtenidos del análisis estadístico de eventos extremos dieron valores de caudales y niveles de agua para el periodo de retorno de 1/100 años un poco más bajos que los calculados en análisis realizados por Hidro-Occidente S.A. (79 cm por debajo), esta es una de las razones principales de que se considerara ajustar el modelo hidrodinámico bidimensional a los nuevos caudales y niveles de agua calculados.

2.3.4 Información topográfica y batimétrica

Toda la información de topografía y batimetría del río Cauca, el dique de protección y la planicie de inundación fueron suministrados por el DAGMA de un proyecto ejecutado por Hidro-Occidente¹⁷. Ésta cartografía fue ajustada al sistema de coordenadas de la red geodésica levantada entre la CVC y la Universidad del Valle. Vale la pena mencionar que la base (información topográfica y batimétrica) del DEM utilizado para el presente Estudio, es el resultado de la integración de diversas fuentes. Estas se mencionan a continuación:

1. La topografía de la llanura inundable (ciudad de Cali) suministrada por EMCALI, sobre el cual se elaboró curvas de nivel a partir de los puntos topográficos de las tapas de las alcantarillas de la ciudad.
2. Topografía existente de la berma y dique de la margen izquierda del río Cauca, dentro del tramo en estudio, ejecutada dentro del Convenio de Asociación CVC No. 241 de 2010.
3. Levantamiento batimétrico del río Cauca realizado a principios del 2012, entre la desembocadura del canal Interceptor Sur y la desembocadura del río Cali.
4. levantamiento batimétrico del fondo y planimétrico y altimétrico incluyendo la berma y el dique de protección existente, desde la desembocadura del río Lili hasta su desembocadura en el río Cauca, para una longitud aproximada de 4.2 Km.
5. Levantamiento batimétrico del fondo y planimétrico y altimétrico de ambas márgenes del cauce del río Cali, incluyendo las bermas y los diques de protección existentes, hasta una distancia mínima de 10 m después de la pata

¹⁷ La base cartográfica del modelo digital utilizado por Hidro-Occidente fue suministrada por el DAGMA y tiene origen de distintas fuentes, recopilados de proyectos realizados por la CVC en el 2010 y el DAGMA en el 2007.

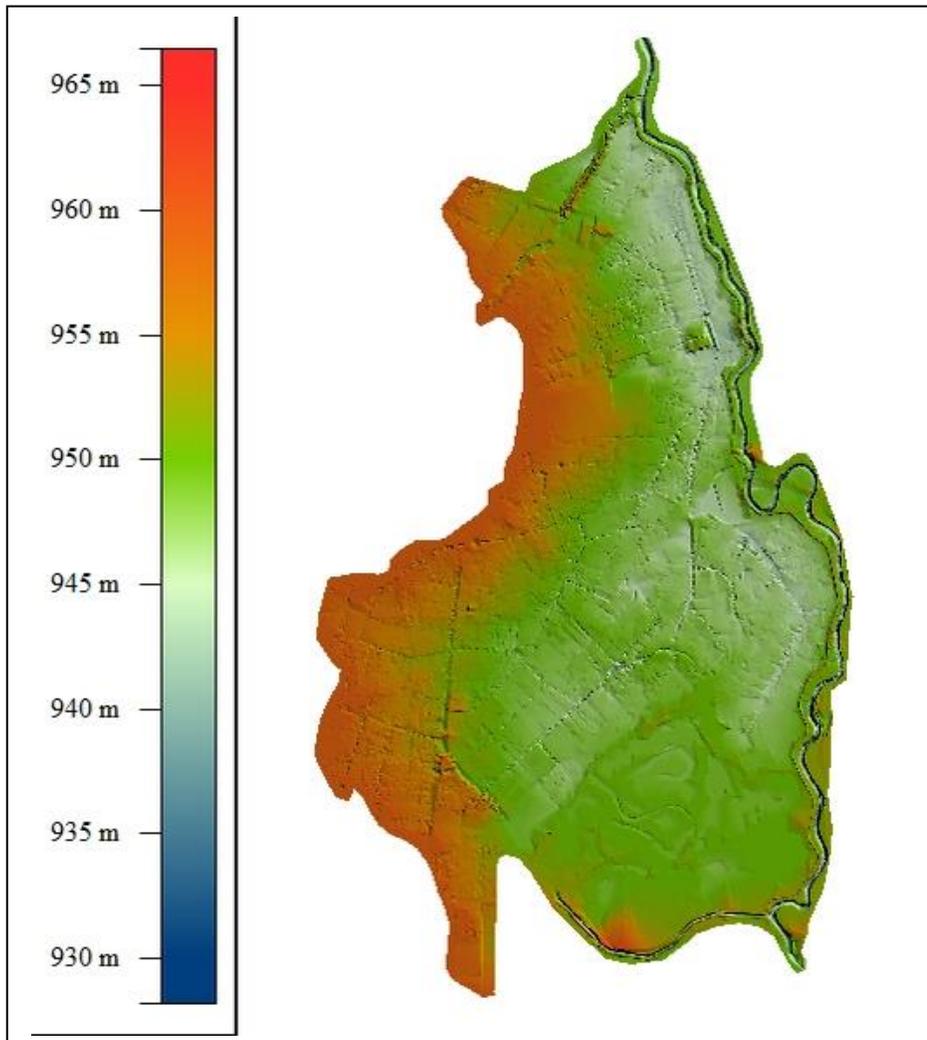


Figura 43. Modelo de elevación digital en el área del anillo de aguablanca

A partir del modelo digital de elevación de terreno (MDE) se determinó el perfil longitudinal de la corona del dique de protección en los 17 km del tramo de Aguablanca, luego de una revisión detallada de los resultados obtenidos, comparando las alturas determinadas desde el DEM con los puntos sobre el dique registrados en la topografía, se llegó a la conclusión de que el modelo no estaba representando adecuadamente la elevación del dique, con diferencias entre 0.15m y 2 m entre la altura del dique del DEM y el dique real, esta situación se presenta debido a dos condiciones específicas:

1. los puntos altos a la izquierda del río Cauca no necesariamente se encontraban sobre la corona, en algunas ocasiones se ubicaban encima de rellenos de escombros, este escenario puede crear un falso sentimiento de seguridad, porque al existir lugares altos al lado del río Cauca no significa que esos sectores se encuentren más protegidos, al contrario, los rellenos son construidos con material no uniforme y sin las especificaciones técnicas de los diques de protección.

2. La escasez de información existente sobre el dique. Los puntos topográficos levantados están muy separados en algunos sectores, y al realizar la interpolación para generar el DEM, se promedian puntos bajos con puntos altos que se encuentran alrededor de la corona del dique, por lo tanto, los puntos interpolados son mucho más bajos y no representan adecuadamente la estructura.

Teniendo en cuenta lo anterior, para determinar el perfil longitudinal del dique de la margen izquierda del río Cauca se planteó la siguiente metodología:

- (1) **Definir la localización en planta de la corona del dique**, en este paso se verificó la información topográfica del dique en planta, a partir de un recorrido con GPS realizado en el marco de este proyecto.

- (2) **Con la corona se determinó la elevación del dique en cada abscisa** (Abscisado COSSO cada 250 m desde la desembocadura del Canal Interceptor Sur hasta la desembocadura del río Cali, con el K0+000 en el eje de la represa de Salvajina). La elevación de la corona se determinó a partir de la observación de los puntos topográficos que se encontraban más cercanos al punto de interés.

De esta manera se asegura que se está obteniendo un perfil longitudinal de la corona del dique más cercano a la realidad.

Para futuros estudios de inundaciones y chequeos de las elevaciones de la corona de los diques, es conveniente y más preciso realizar los perfiles a partir de la información base, no se deben realizar los perfiles a partir de superficies interpoladas porque se puede incurrir en errores y en diagnósticos de baja calidad. Para determinar el nivel de protección de los diques se dibujaron los niveles de agua en el río Cauca, calculados para diferentes periodos de retorno, tanto para el dique de Aguablanca, como el canal interceptor sur y río Cali. Los perfiles se presentan en los **Anexos 2, 3 y 4** donde se muestra la localización en planta y los perfiles determinados.

El perfil longitudinal de la corona del dique de la margen izquierda del río Cauca muestra algunos sectores que están muy cercanos al nivel de agua para un tiempo de retorno de 100 años, por lo tanto, en estos sectores no existe el borde libre de 1 m según las recomendaciones de CVC que se presentan en el Acuerdo 052 del 2011.

Estos puntos bajos se pueden deber a asentamientos naturales de la corona o también a posibles intervenciones humanas sobre el dique, realizadas para conformar pasos carreteables hacia la berma del río, en la **Tabla 22** se presenta la ubicación de estos tramos.

Tabla 22. Localización de los tramos con niveles bajos en la corona del dique de protección de Aguablanca

| Punto No. | Abscisa | Nivel de la corona | Nivel de agua | | |
|-----------|----------|--------------------|---------------|--------|--------|
| | | | Tr 100 | Tr 250 | Tr 500 |
| 1 | k128+581 | 953.7 | 953.25 | 953.49 | 953.64 |
| 2 | K134+581 | 952.5 | 952.06 | 952.30 | 952.45 |
| 3 | K136+081 | 951.6 | 951.61 | 951.85 | 952.00 |
| 4 | K140+781 | 950.6 | 950.76 | 951.00 | 951.15 |
| 5 | K142+281 | 950.5 | 950.20 | 950.44 | 950.59 |
| 6 | K143+281 | 950 | 949.82 | 950.06 | 950.21 |

2.3.5 Ajuste del modelo matemático hidrodinámico del río Cauca en el sector de la ciudad de Cali

2.3.5.1 Modelo matemático CCHE2D

El modelo hidrodinámico implementado fue el CCHE2D v3.0, creado por el Centro Nacional de Hidrociencia e Ingeniería Computacional (NCCHE) de la Universidad de Mississippi (EEUU), es un modelo computacional bidimensional (integrado en la profundidad) que resuelve las ecuaciones de conservación que gobiernan los fluidos a lámina libre. Este paquete cuenta con una interfaz gráfica para la entrada de datos y visualización e impresión de resultados, el motor de cálculo para simulaciones hidrodinámicas y sedimentológicas basado en el Método Eficiente de Elementos Finitos y una herramienta para generación de mallas no estructuradas para la discretización del prototipo.

El modelo CCHE2D es un paquete de análisis de última generación para la modelación bidimensional, en régimen no permanente, de flujos turbulentos de ríos, transporte de sedimentos y evaluación de la calidad del agua. El modelo fue diseñado para aplicaciones en las áreas de predicción de erosión del lecho y bancas de ríos tanto para sedimentos uniformes como heterogéneos, migración de meandros y calidad del agua. El modelo puede ser usado para evaluar el efecto de estructuras hidráulicas tales como diques u otras de protección, en aspectos tanto morfológicos como de calidad del agua de hábitats fluviales (Zhang, 2006).

2.3.5.2 Esquematización del sistema a modelar

El proceso de esquematización de un sistema de modelación es uno de los pasos más importantes y uno de los que toma mayor tiempo de ejecución, al principio de este proyecto, se decidió realizar el análisis del riesgo de inundación a partir de los resultados de la modelación que se realizó en un proyecto anterior para el DAGMA por la firma Hidro-Occidente, pero debido a cambios en la información

hidrológica se consideró que era viable realizar nuevas simulaciones para ajustarse a la nueva información hidrológica. Por lo tanto las nuevas simulaciones se realizaron con la esquematización del sistema río Cauca – Planicie inundable (ciudad de Cali) entregado por el DAGMA a este proyecto, con la información hidrológica ajustada según el criterio de la firma Royal HaskoningDHV.

La esquematización realizada consiste en elementos cuadrangulares de una malla no estructurada de 66 x 399 nodos (26334 nodos) ajustada y suavizada a la compleja morfología del río Cauca en algunos de sus tramos (como por ejemplo, la curva de Los Córdoba).

2.3.5.3 Rugosidad

La resistencia al flujo o rugosidad depende de varios factores, entre los que se mencionan: la geometría del canal, la meandricidad, el material y las formas del fondo, la vegetación, etc. En el modelo CCHE2D el valor de esta parámetro se puede plantear como un valor constante en todo el dominio computacional o de forma variable de nodo a nodo, en este caso se partió del modelo entregado por Hidro-Occidente, con valor de rugosidad de Manning de $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ en el canal (río Cauca y de 0.09 en la Planicie).

2.3.5.4 Condiciones iniciales y de frontera

La solución de las ecuaciones de flujo de un sistema de modelamiento requieren que se definan unos determinados parámetros de entrada (condiciones iniciales y de frontera) que permitan ajustar estas ecuaciones a una situación específica conocida.

CONDICIONES INICIALES. Éstas corresponden a los valores de nivel de agua existente en todo el dominio computacional, estos datos son requeridos por el modelo para resolver el sistema de ecuaciones. En todos los escenarios el nivel

inicial de agua sobre el río Cauca fue interpolado entre los niveles determinados para cada escenario entre la desembocadura del Canal Interceptor Sur y la desembocadura del río Cali.

CONDICIONES DE FRONTERA. El esquema de modelación se realizó con 2 fronteras (ver **Figura 44**), una frontera de entrada localizada aguas arriba y una frontera de salida localizadas aguas abajo, las dos fronteras se ubican sobre el río Cauca.

Frontera Aguas arriba

Se localiza en el tramo sur de la zona de estudio, existen dos opciones para representar esta frontera: (1) Serie de tiempo de Caudales, y (2) un caudal constante. Para nuestro estudio se optó por caudal constante para la calibración del modelo y se utilizó la serie de caudales para la simulación de los escenarios de crecientes con diferentes periodos de retorno.

Frontera Aguas abajo

Se localiza en tramo norte de la zona de estudio, el modelo CCHE2D permite cuatro (4) formas de representar esta frontera: (1) la curva de calibración, (2) la hidrógrafa de niveles, (3) nivel de agua constante y (4) una frontera abierta en la cual el modelo calcula estos niveles en la frontera definida como de salida. En nuestro caso se utilizó un nivel de agua conocido para las simulaciones de calibración y una hidrógrafa de niveles de agua para los diferentes escenarios de crecientes con diferentes periodos de retorno.

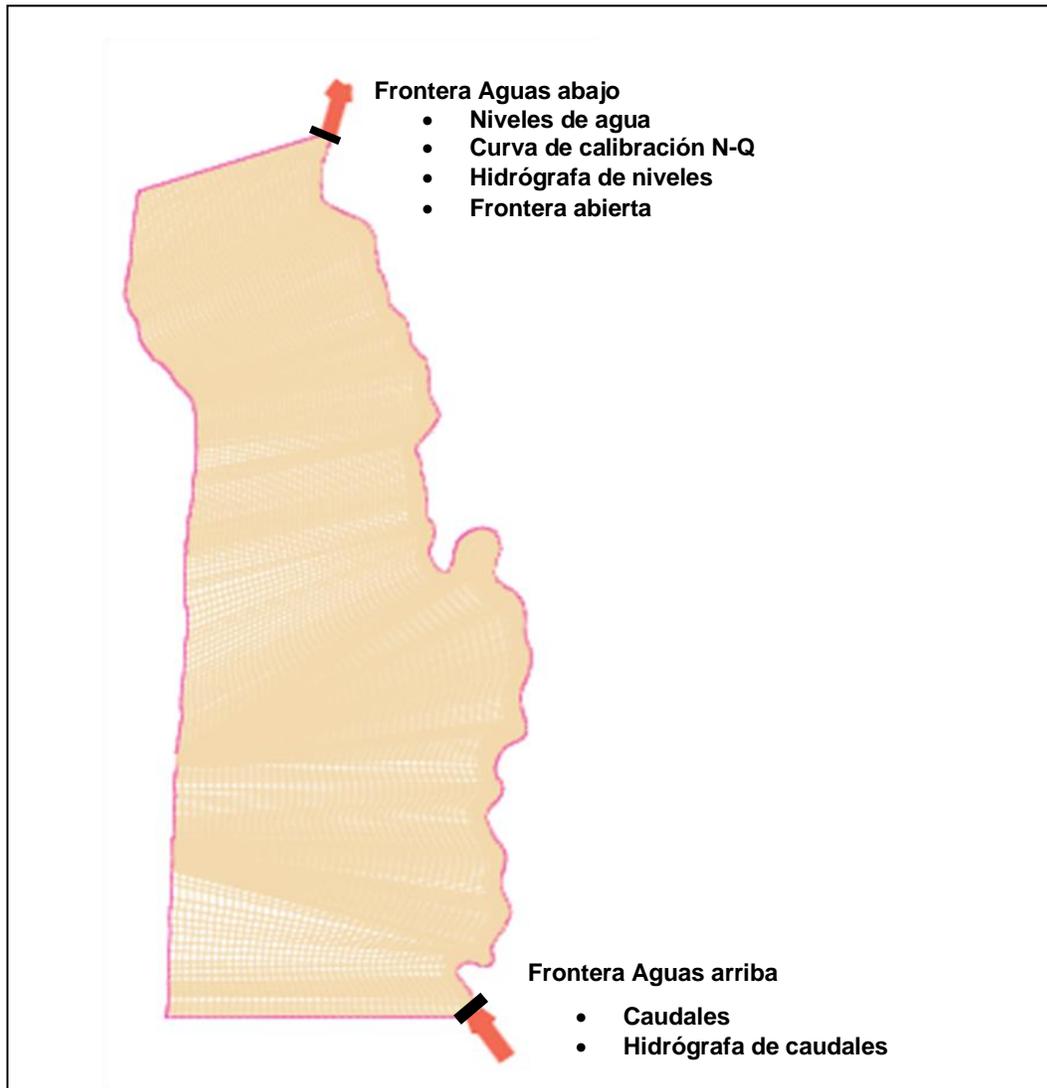


Figura 44. Localización de las fronteras de entrada y salida

2.3.5.5 Parámetros generales de la modelación

Los parámetros generales de entrada al modelo son: el coeficiente de fuerza de Coriolis (valor por defecto es cero); la aceleración de la gravedad (valor por defecto 9,81672 m/s²); la constante de von Karman (valor por defecto 0.41); y, la viscosidad cinemática del flujo (valor por defecto 10⁻⁶ m²/s).

2.3.5.6 Parámetros numéricos

Entre los parámetros numéricos que se deben definir previamente al inicio de una simulación se encuentran: (1) el periodo de simulación (en segundos); (2) el intervalo de tiempo computacional, es decir el lapso de tiempo (naturaleza) para el cual se determinan caudales y niveles del flujo; (3) el coeficiente de deslizamiento de muro, el cual define la condición de no-flujo en fronteras sólidas; (4) el coeficiente de viscosidad turbulenta, para considerar los efectos de disipación de energía de la turbulencia; (5) la profundidad de secado, con la cual se define la profundidad mínima de agua para que un nodo se considere sumergido; y (6) el control de iteraciones, para especificar si el número de iteraciones en cada intervalo de tiempo computacional debe ser pequeño, medio o alto (Zhang, 2006).

2.3.5.7 Parámetros de simulación

Son cuatro los parámetros de simulación que se deben especificar: intervalo de tiempo para guardar archivos intermedios, intervalo de tiempo para convergencia de resultados, intervalo de tiempo para los resultados en puntos de monitoreo e intervalo de tiempo para el archivo de historia de la simulación. Adicionalmente se debe especificar el modelo de turbulencia (modelo parabólico de viscosidad de remolino) y la opción de realizar una simulación cuasi – permanente. Los valores de los parámetros numéricos y de simulación se presentan en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Parámetros numéricos y de simulación del modelo CCHE2D

| Parámetro | Valor |
|--|--------------------|
| Coeficiente de fuerza de Coriolis | 0 |
| Viscosidad Cinemática (m ² /s) | 1*10 ⁻⁶ |
| Constante de Von Karman | 0,41 |
| Coeficiente de deslizamiento de paredes | 1.0 |
| Coeficiente de viscosidad turbulenta | 1,0 |
| Profundidad para considerar un nodo seco (m) | 0,04 |
| Parámetro de control de iteraciones | 2 |
| Rugosidad (s/m ^{1/3}) | Rio Cauca= 0.028 |
| | Planicie=0.09 |

| Parámetro | Valor |
|---|--------|
| Periodo de simulación (seg) | 741600 |
| Intervalos de tiempo Δt (seg.) | 5 |
| Intervalos de tiempo para guardar archivos intermedios | 360 |
| Intervalos de tiempo para convergencia de resultados | 10 |
| Intervalos de tiempo de los resultados en los puntos de monitoreo | 360 |
| Intervalos de tiempo para el archivo de historia de resultados | 360 |

2.3.5.8 Calibración del modelo

La calibración en un proceso de modelación hidrodinámica consiste en modificar los parámetros empíricos de las ecuaciones (dentro de rangos físicamente aceptables) hasta lograr un ajuste razonable entre los valores de los niveles de agua medidos en campo y los obtenidos en el modelo (CVC-UNIVALLE, 2005). En este estudio se compararon los niveles de agua determinados con los registros en la estación Hidrométrica de Juanchito para el periodo de retorno de 100 años, con los niveles de agua calculados por el modelo en un punto de monitoreo localizado en la sección de Juanchito para el escenario con tiempo de retorno de 100 años.

Asimismo, hay que tener en cuenta, que no es posible obtener un ajuste perfecto entre la información medida de campo y los datos arrojados por el modelo, porque el modelo matemático realiza simplificaciones de las ecuaciones gobernantes de flujo para el análisis de condiciones físicas (donde no se incluyen procesos de infiltración, transporte de sedimentos, cambios de rugosidad espacial y temporal, etc.), también se realizan simplificaciones en la esquematización del modelo (ejemplo: no se incluye la margen derecha del río Cauca y los vertimientos de aguas después de la desembocadura del canal Interceptor Sur), en este caso la simplificación de la esquematización se efectúa por falta de información. A estas dos circunstancias se les suma la incertidumbre asociada a un proceso normal de recolección de datos topográficos e hidrológicos (datos de entrada del modelo). Por lo tanto la precisión en los resultados puede variar y depende en gran medida de la calidad de la información de entrada del modelo.

En la modelación efectuada se estableció como parámetro de calibración la rugosidad, como punto de partida se tomaron los datos de rugosidad obtenidos en la calibración desarrollada por la firma Hidro-Occidente (Rugosidad de Manning=0.03 s/m^{1/3}), los resultados en un punto de monitoreo en Juanchito muestran que los niveles de agua se encuentran 0.11 m por encima del nivel determinado para el periodo de retorno de 100 años. Por lo tanto se realizaron con valores de rugosidad en el canal de 0.025 y 0.028 s/m^{1/3}.

En la **Figura 45** se presenta los resultados de la calibración alcanzada (niveles de agua en la estación Juanchito). Como puede apreciarse, existe un ajuste bastante aceptable entre los niveles de agua determinados en Juanchito y los resultados arrojados por el modelo. Las diferencias son de 4.0 centímetros, lo cual es considerado como aceptable.

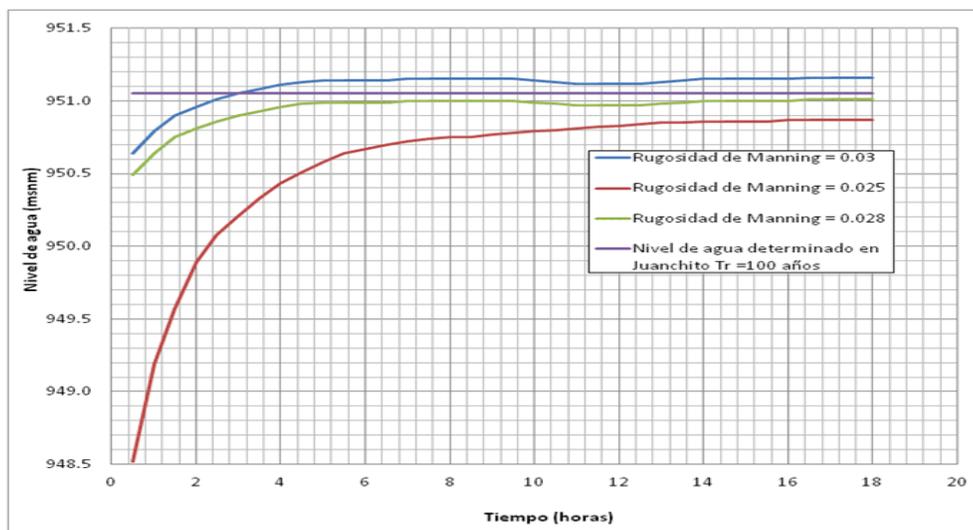


Figura 45. Resultados de los niveles de agua calculados en la estación hidrométrica de Juanchito para diferentes valores de rugosidad de Manning

2.3.6 Escenarios de simulación de inundación en tramos de rotura por desborde

Para la evaluación de los escenarios de riesgo por inundación asociada a posibles roturas en tramos de desborde en el dique río Cauca, se utiliza el modelo matemático hidrodinámico calibrado y se simulan varios escenarios para distintos periodos de retorno.

La localización y dimensionamiento de los tramos de rotura por desborde se plantearon teniendo en cuenta dos criterios. El primer criterio (**localización**) está asociado a los puntos identificados como más bajos en la corona del dique y por donde podría generarse un desbordamiento, identificándose cinco en total.

El segundo criterio (**dimensionamiento**) fue definido a partir de la observación de fallas en otros diques en Colombia y en el Valle del Cauca. En las **Tablas 24 y 25**, se presenta una relación de dimensiones de longitudes roturas observadas y en la **Figura 46** se grafican.

Tabla 24. Algunos diques de Colombia y su longitud de ruptura

| DIQUE | FECHA | LONGITUD DE RUPTURA | OBSEVACIONES | FUENTE |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Canal del dique | 3 de diciembre de 1985 | 100 metros | En el punto del "El Chorro" | Revista Cromos #3496. Rafael Banea, enviado especial. 1985 |
| Canal del dique | 30 de noviembre de 2010 | 238 metros | En el sector de Soplaviento, San Cristóbal, Arenal. | Problemática y soluciones de mitigación al impacto de la ola invernal en el canal del dique – jurisdicción de Cardique" Cardique, agosto de 2011. |
| La Mojana | 12 de abril de 2010 | 15 metros que pasó a tener 500 metros | Boquete de Santa Anita | Periódico El Meridiano de Córdoba (publicado en Mayo 2 de 2012) |
| Universidad de La Sabana | 13 de mayo de 2011 | 20 metros | Segunda ruptura por creciente del río Bogotá que rompió el dique ubicado en la parte posterior de la Universidad de la Sabana | Revista Semana (publicado en Mayo 20 de 2011) |
| Mosquera | 17 de noviembre | 25 metros | Se desbordó el río Bogotá | El Tiempo, 22 de noviembre de 2010; Caracol Radio, |

| DIQUE | FECHA | LONGITUD DE RUPTURA | OBSEVACIONES | FUENTE |
|-------------|------------------------|--|--|--|
| | de 2010 | | | Noviembre 28 de 2010 |
| La Victoria | 9 de noviembre de 2010 | Las dimensiones de la ruptura fueron 35 metros de largo x 20 metros de ancho y 8 metros de profundidad | | Periódico Cartago noticias 1 |
| La Victoria | Marzo 18 de 1999 | Boquete de 20 metros | | Presentación de María Clemencia Sandoval de CVC, titulada La protección contra inundaciones en el Valle del Cauca Historia y nuevo paradigma. Gestión Integral de Inundaciones |
| Zona Franca | 21 de diciembre | 50 metros | En la finca La Argelia, en el dique llamado Rozo | Informe a Gobernación de la CVC del 23 de marzo de 2012 |

Tabla 25. Listado de diques que presenta rotura en el Departamento del Valle del Cauca (CVC, 2012)¹⁸

| MUNICIPIO | CORREGIMIENTO/VEREDA/SECTOR | RÍO | DESCRIPCIÓN | DIMENSIÓN DE LA ROTURA (metros) |
|--------------|---------------------------------------|-----------------|--|---------------------------------|
| Andalucía | Corregimiento el Salto | R. Morales | Dos rupturas | 30 |
| | Humedal El Pital y Hda Graciela | R. Cauca | Dique que protege el humedal del río Cauca | 15 |
| Bugalagrande | Corregimiento de San Antonio | R. Cauca | Sector La Luisa | 300 |
| | Corregimiento El Overo. Humedal Mateo | R. Cauca | Riopaila | 60 |
| | Vereda Caramanta | R. Cauca | Sector Venecia | 12 |
| | Vereda Lourdes. | R. Bugalagrande | Sector El salado | 30 |
| | Corregimiento Paila Arriba. | R. La Paila | Sector san Pablo | 70 |
| Riofrío | Corregimiento de Salónica. | R. Lindo | Barrio Entrerios | 6 |
| | Vereda Madrigal | R. Cauca | Sector de El Porce | 50 |
| | Sector de El Jardín | R. Cauca | Humedal El Madrigal | 150 |
| Sevilla | Vía a Sevilla - Chorreras | R. San Marcos | | 100 |

¹⁸ Tabla elaborada a partir del informe enviado por CVC al Gobernador del Valle del Cauca, Circular N°. 0009 – 2012- asunto: Medidas a implementar en relación a los predios y áreas afectadas o vulnerables para atender la temporada de lluvias 2012.

| MUNICIPIO | CORREGIMIENTO/VEREDA/ SECTOR | RÍO | DESCRIPCIÓN | DIMENSIÓN DE LA ROTURA (metros) |
|-----------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Tuluá | Corregimiento Nariño | Zanjón Burrigá | Sector La Floresta | 40 |
| | Corregimiento Bocas de Tuluá | R. Morales | Sector El Nilo | 200 |
| | Corregimiento Bocas de Tuluá | R. Morales | Sector La Rafaela | 100 |
| | Vereda Zabaletas | R. Morales | Sector Aguaclara (Dos rupturas) | 40 |
| Palmira | Corregimiento Matapalo | Zanjón Rozo | Hacienda La Argelia | 50 |
| Guacarí | Vereda Guabas | R. Cauca | Sector La Esperanza | 4 |
| | Vereda Guabas | R. Cauca | Sector La Esperanza | 60 |
| | Corregimiento de Sonso | R. Cauca | Sector La Palma | 50 |
| Buga | Vereda El Porvenir | R. Cauca | Sector La Marina | 70 |
| | Vereda El Porvenir | R. Cauca | Sector La Marina | 60 |
| | Vereda El Porvenir | R. Cauca | Sector La Marina | 80 |
| | Vereda El Porvenir | R. Cauca | Sector Las Marianas | 6 |
| Obando | Corregimiento Molina | R. Cauca | Sector El Golgo y San José | 40 |
| | Corregimiento Molina | R. Cauca | Sector Brasilia - Samarcanda | 200 |
| | Vereda Guare | R. Cauca | Sector La Peña | 75 |
| | Vereda Guare | R. Cauca | Predio Ciro Caicedo | 10 |
| | Vereda Guare | R. Cauca | Madrevieja | 5 |
| | Vereda Guare | R. Cauca | Madrevieja | 10 |
| | Vereda Guare | R. Cauca | Madrevieja | 20 |
| | Vereda Guare | R. Pescador | Sector riverero | 25 |
| | Vereda Guare | R. Pescador | Sector riverero | 35 |
| | Corregimiento San Fernando | R. Cauca | Sector de Brasilar | 55 |
| | Corregimiento San Fernando | R. Cauca | Sector El Cairo | 25 |
| | Corregimiento San Fernando | R. Cauca | Sector El Cairo | 30 |
| | Cartago | Barrio Guayacán | R. La Vieja | |
| Yumbo | Sector Platanares | R. Cauca | | 5 |
| | Sector Platanares | R. Cauca | | 3 |
| | Sector Platanares | R. Cauca | | 1 |
| | Sector de la Arenera Cencar | R. Cauca | | 7 |
| | Vía Cencar - Yumbo | R. Cauca | | 3 |

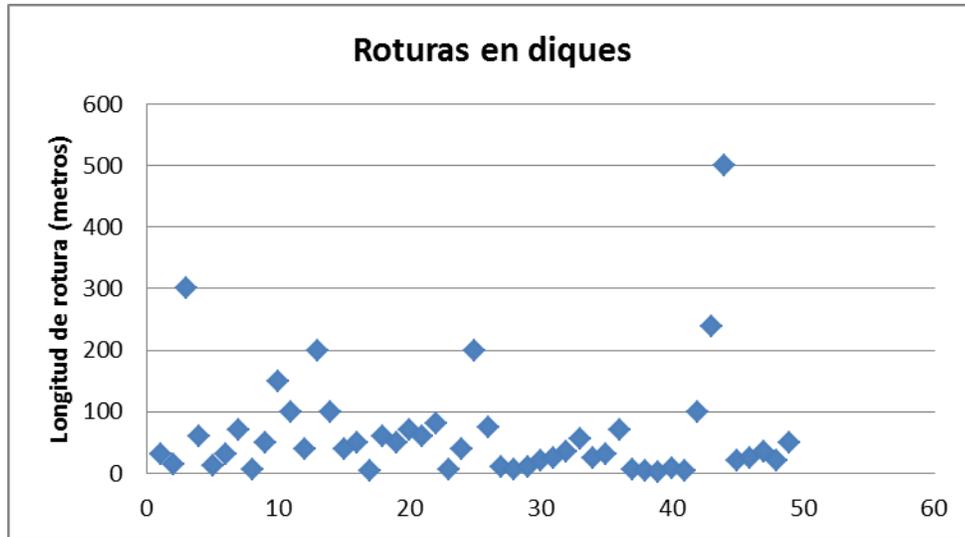
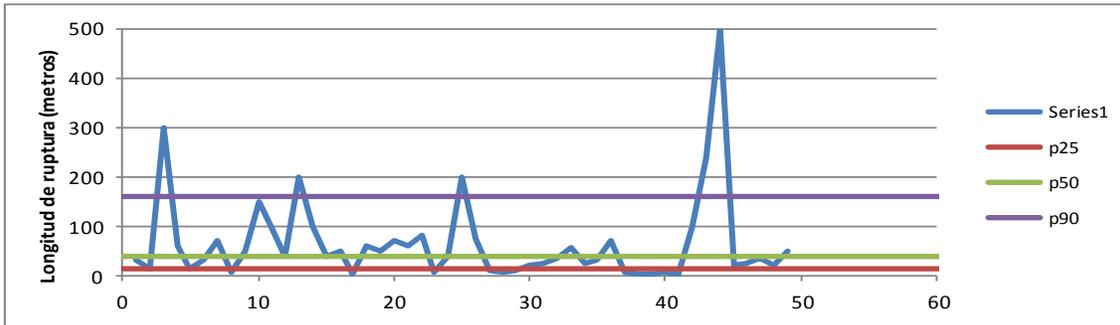


Figura 46. Longitud de roturas en diques

Como se observa en la figura anterior las roturas van desde 1 m hasta 300 y 500 m, por lo que existe una gran variabilidad las cuales dependen de diversos factores, los más importantes son la geometría del dique, los materiales de su cuerpo y la calidad de su construcción, así como su geometría, fallas técnicas y asociadas a intervenciones antrópicas, deterioro, etc. Otros factores dependen de las condiciones hidráulicas a las que se ve sometido, dinámica de los niveles, principalmente duración de los niveles altos, patrones de flujo.

En general, la dimensión de la rotura es un aspecto difícil de determinar si no se cuenta, por lo menos, con información o modelamientos físicos de roturas en diques con características similares, por lo tanto, se consensó y determinó realizar roturas de acuerdo al conocimiento de antecedentes de roturas de diques en la región, como por ejemplo el del rompimiento del dique en el municipio de La Victoria y del Distrito de riego RUT ocurridos en el 2011 y 2010, entre otros. Lo anterior plantea muchas incertidumbres para definir la longitud de ruptura adecuada para el modelamiento hidráulico asociado a falla por desbordamiento.

En la Figura 49 se presenta un análisis de la variabilidad de los datos por percentiles.



| Máximo | Mínimo | Percentil 25 | Percentil 50 | Percentil 75 | Percentil 90 | Promedio Si P50 | Promedio Si P75 | Promedio si P90 |
|--------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 0,9 | | | |
| 1 | 500 | 15 | 40 | 70 | 160,00 | 15,92 | 26,77 | 39,82 |

Figura 47. Variabilidad de los datos por percentiles

Teniendo en cuenta lo anterior y para propósitos de modelamiento hidráulico, se escogieron dos valores de rotura, uno mínimo de **30 metros** y uno máximo de **150 metros**, localizados en los puntos más bajos de la corona del dique de protección de Aguablanca.

La profundidad de la rotura fue determinada a partir de las recomendaciones del equipo técnico holandés, que a partir de la revisión del perfil de la corona del dique propusieron que el fondo de cada rotura estuviera a 1.5 m por debajo del perfil de agua para el periodo de retorno de 100 años.

Para identificar los tramos de desbordamiento del dique, se revisó el perfil longitudinal y los niveles de agua determinados para los periodos de retorno de 100, 250 y 500 años. En la **Tabla 26** se presenta la localización de los seis lugares de rotura.

Tabla 26. Localización de puntos de rotura por desbordamiento

| Boquete | Localización |
|---------|--|
| 1 | Corregimiento de Navarro |
| 2 | Barrio Decepaz |
| 3 | Barrio Valle Grande |
| 4 | Barrio Alfonso López 1 |
| 5 | Barrio Petecuy 1 |
| 6 | Entre los barrios Urbanización Calimio y Petecuy 2 |

En la **Tabla 27** y en la **Figura 48** se presentan los seis escenarios para las roturas que se modelaron con los periodos de retorno TR =100, 250 y 500 años. Solo se corrieron las seis roturas simultáneas para los escenarios de 150 m por considerarse el escenario más crítico que se requiere para la valoración del riesgo.

Tabla 27. Escenarios de roturas por periodo de retorno

| Escenario | Periodo de retorno (TR) | Tipo de roturas |
|-----------|-------------------------|--|
| 1 | 100 | Roturas de la 2 a la 6 de 30 m de longitud |
| 2 | 250 | Roturas de la 2 a la 6 de 30 m de longitud |
| 3 | 500 | Roturas de la 2 a la 6 de 30 m de longitud |
| 4 | 100 | 6 roturas de 150 m de longitud |
| 5 | 250 | 6 roturas de 150 m de longitud |
| 6 | 500 | 5 roturas de 150 m de longitud |

Los mapas de inundación obtenidos para cada período de retorno se presentan en las **Figuras 49 a la 54**. En la **Tabla 28** se presenta los resultados generados por el modelo que caracterizan la amenaza por inundación, para los seis escenarios definidos.

Tabla 28. Parámetros de la amenaza por inundación para seis escenarios

| Escenario | Longitud ruptura | TR | Área Km ² | Tirante (m) | Volumen (m ³) | T. Hidrógrafa (Días) | T. Inundación Máxima |
|-----------|------------------|-----|----------------------|--------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 30 m | 100 | 5.72 | 0,009 a 1,9 | 11.030.000 | 8,6 | 6 días 30 minutos |
| 2 | | 250 | 7.27 | 0,004 a 6,3 | 16.860.000 | | |
| 3 | | 500 | 14.20 | 0,001 a 6,8 | 20.120.000 | | |
| 4 | 150 m | 100 | 30.23 | 0,001a 7,06 | 43.848.647 | | 6 días 9 horas |
| 5 | | 250 | 32.76 | 0,003a 7,50 | 53.271.916 | | |
| 6 | | 500 | 37.30 | 0,006 a 7,69 | 60.164.785 | | |

En la **Tabla 29** se presenta los tiempos de rotura para los escenarios máximos asociados a una longitud de boquete de 150 metros.

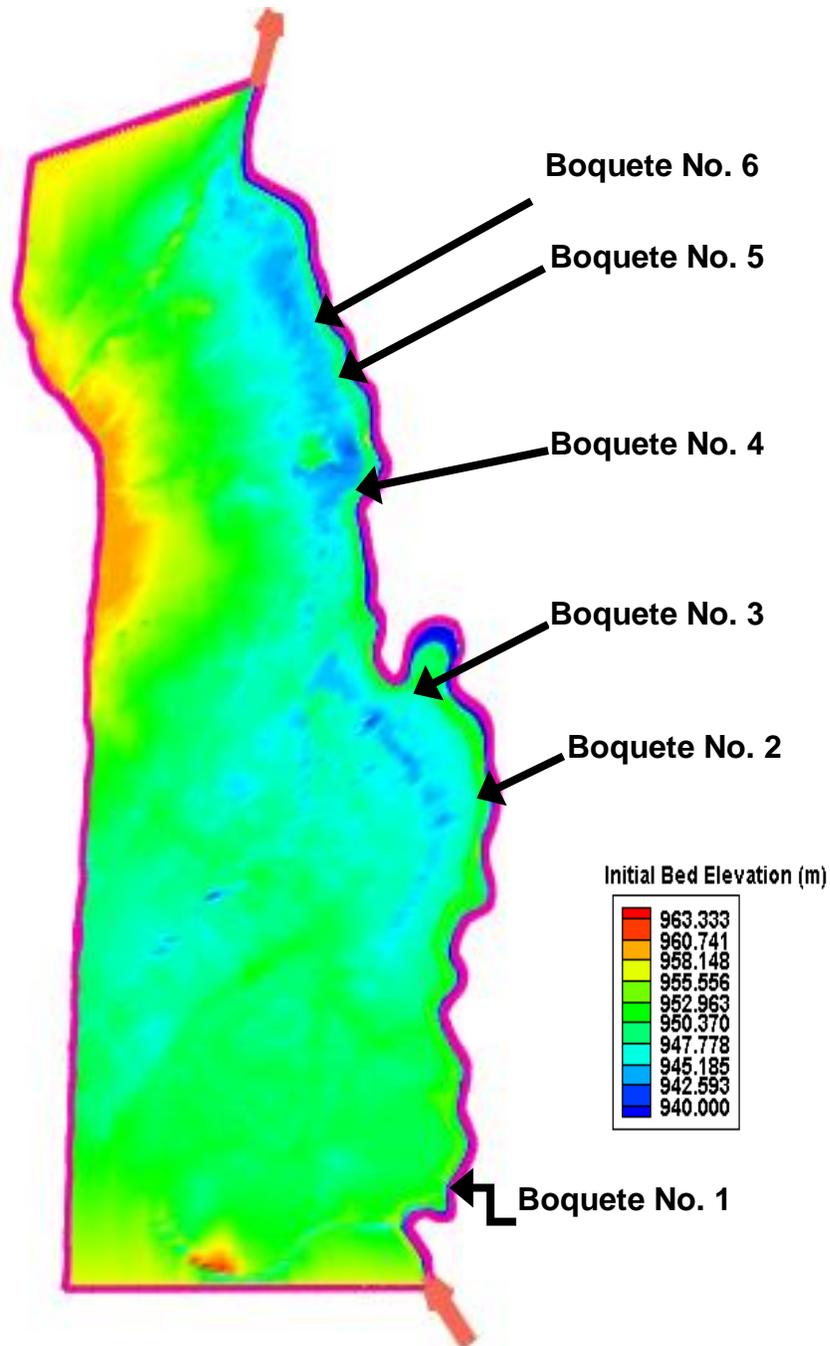


Figura 48. Esquema de la localización de las roturas por desbordamiento del río Cauca

Tabla 29. Tiempos y velocidades de rotura para escenarios con boquetes de 150 metros

| TR | Rotura No. | Tiempo en que inicia | Tiempo en que termina | Velocidad máxima en la rotura (m/s) | Tiempo en que ocurre la Velocidad máxima rotura |
|-----|------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|
| 100 | 1 | | | | 5 (d) 0 (h) 0(m) NNNN |
| | 2 | - | - | - | |
| | 3 | 3 (d) 21 (h) 30(m) | 5 (d) 21 (h) 0(m) | 0,77 | |
| | 4 | 4 (d) 14 (h) 30(m) | 6 (d) 20 (h) 0(m) | 0,8 | |
| | 5 | 3 (d) 12 (h) 0(m) | 7 (d) 12 (h) 0(m) | 0,91 | |
| | 6 | 4 (d) 12 (h) 0(m) | 8 (d) 8 (h) 30(m) | 0,62 | |
| 250 | 1 | | | | 4 (d) 22 (h) 0(m) |
| | 2 | 4 (d) 8 (h) 0(m) | 5 (d) 21 (h) 0(m) | 0,6 | |
| | 3 | 3 (d) 20 (h) 0(m) | 6 (d) 6 (h) 30(m) | 1,28 | |
| | 4 | 4 (d) 7 (h) 0(m) | 6 (d) 11 (h) 30(m) | 0,98 | |
| | 5 | 3 (d) 12 (h) 0(m) | 7 (d) 13 (h) 0(m) | 1,2 | |
| | 6 | 3 (d) 16 (h) 0(m) | 8(d) 0 (h) 0(m) | 0,71 | |
| 500 | 1 | | | | 4 (d) 15 (h) 0(m) |
| | 2 | 4 (d) 7 (h) 0(m) | 6(d) 12 (h) 0(m) | 0,77 | |
| | 3 | 3 (d) 18 (h) 0(m) | 6(d) 9 (h) 30(m) | 1,5 | |
| | 4 | 4 (d) 5 (h) 30(m) | 6(d) 18 (h) 30(m) | 1,01 | |
| | 5 | 3 (d) 10 (h) 30(m) | 7(d) 8 (h) 30(m) | 1,39 | |
| | 6 | 3 (d) 13 (h) 30(m) | 8(d) 4 (h) 0(m) | 0,81 | |

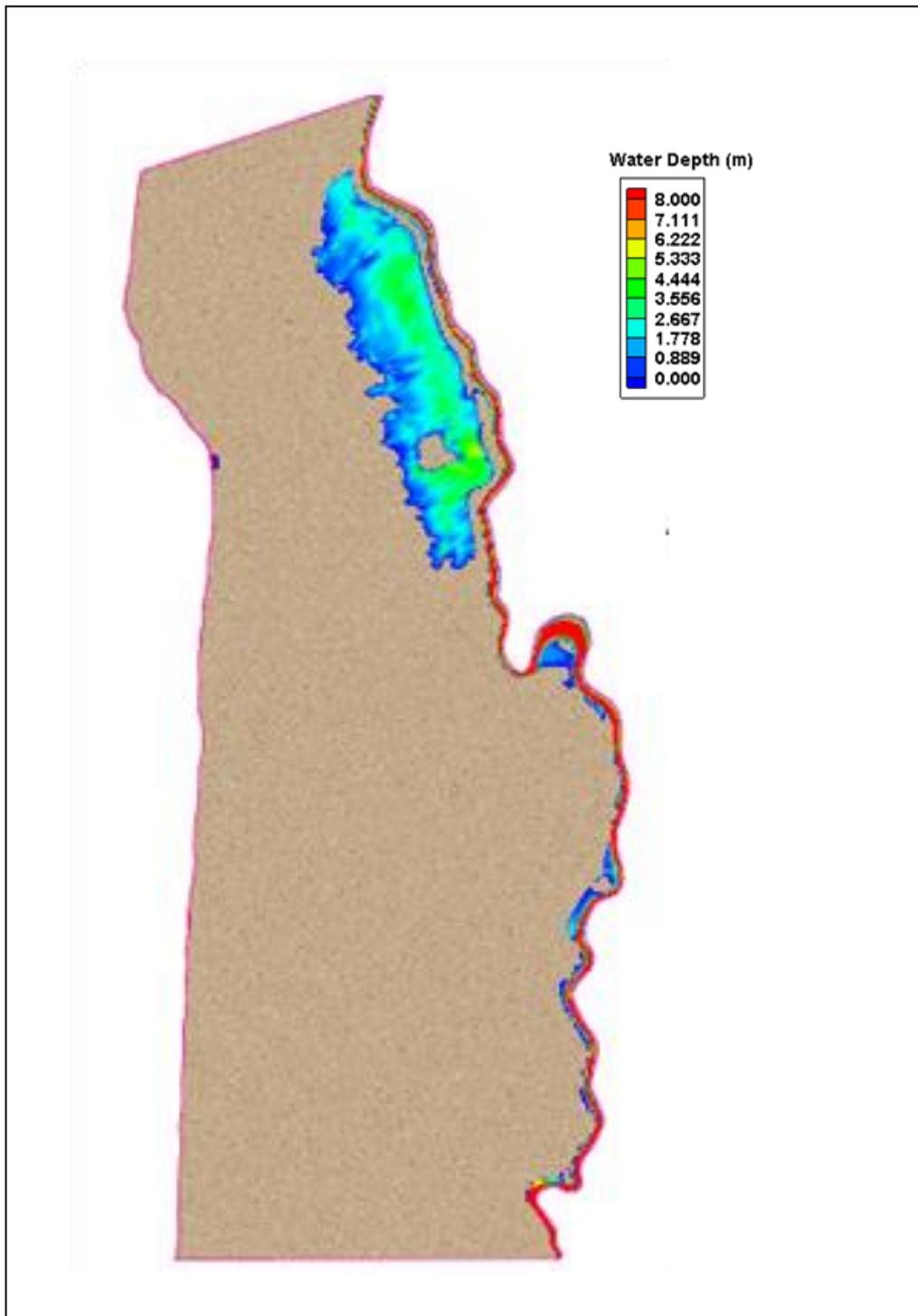


Figura 49. Escenario 1 – Seis roturas de 30 m de longitud - TR 100 años

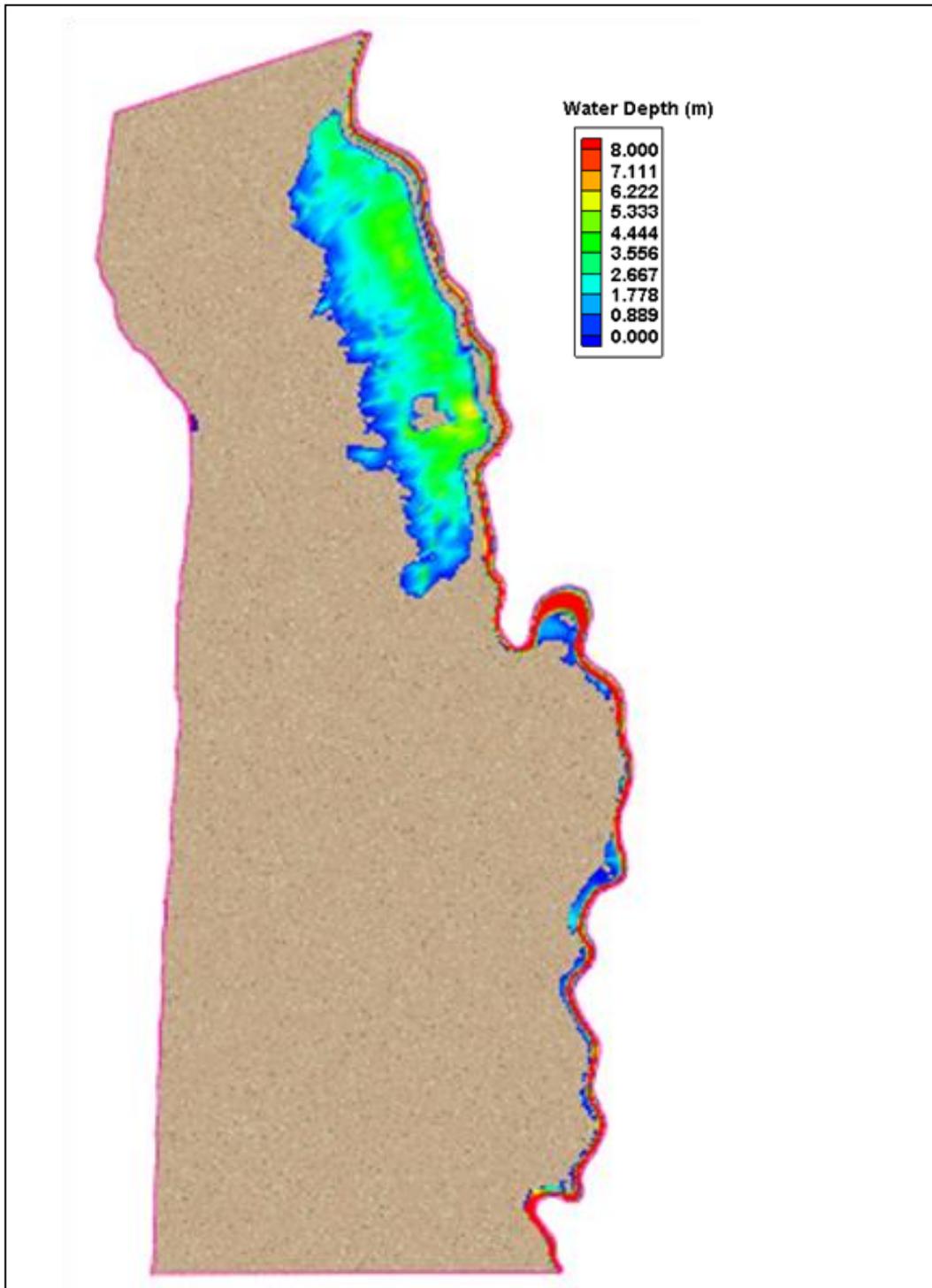


Figura 50. Escenario 2 - Seis roturas de 30 m de longitud - TR 250 años

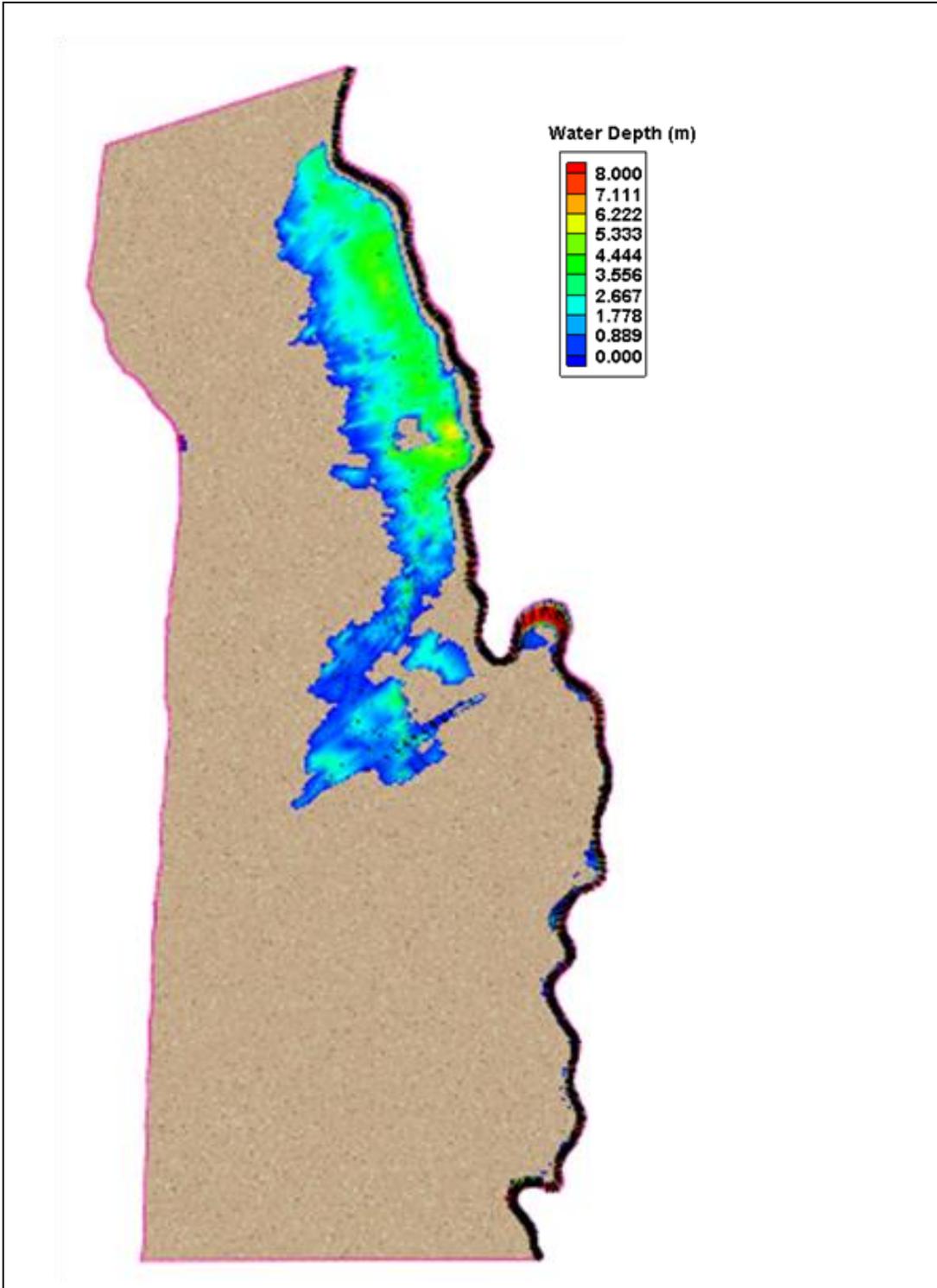


Figura 51. Escenario 3 - Seis roturas de 30 m de longitud - TR 500 años

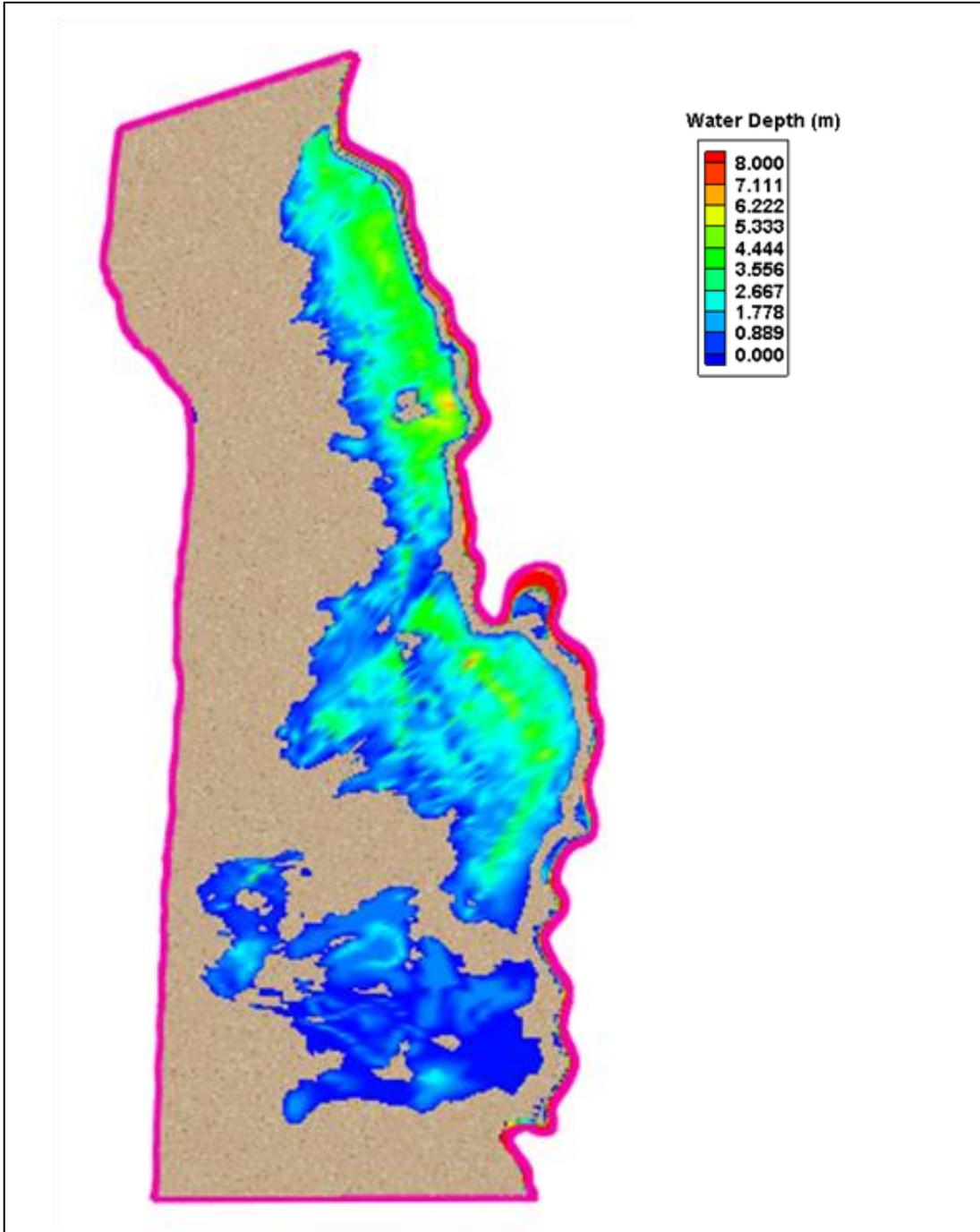


Figura 52. Escenario 4 - Seis roturas de 150 m de longitud - TR 100 años

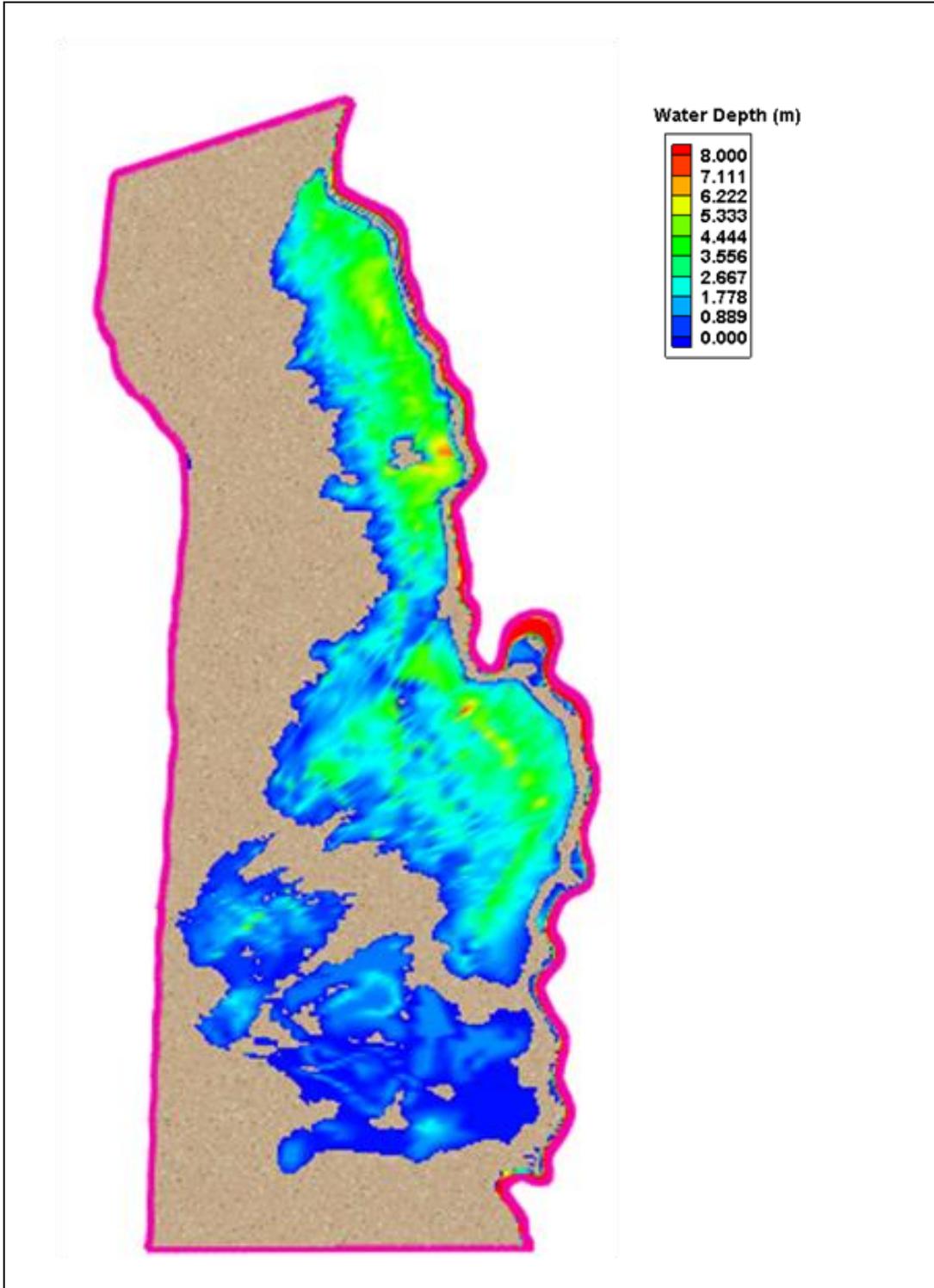


Figura 53. Escenario 5 - Seis roturas de 150 m de longitud - TR 250 años

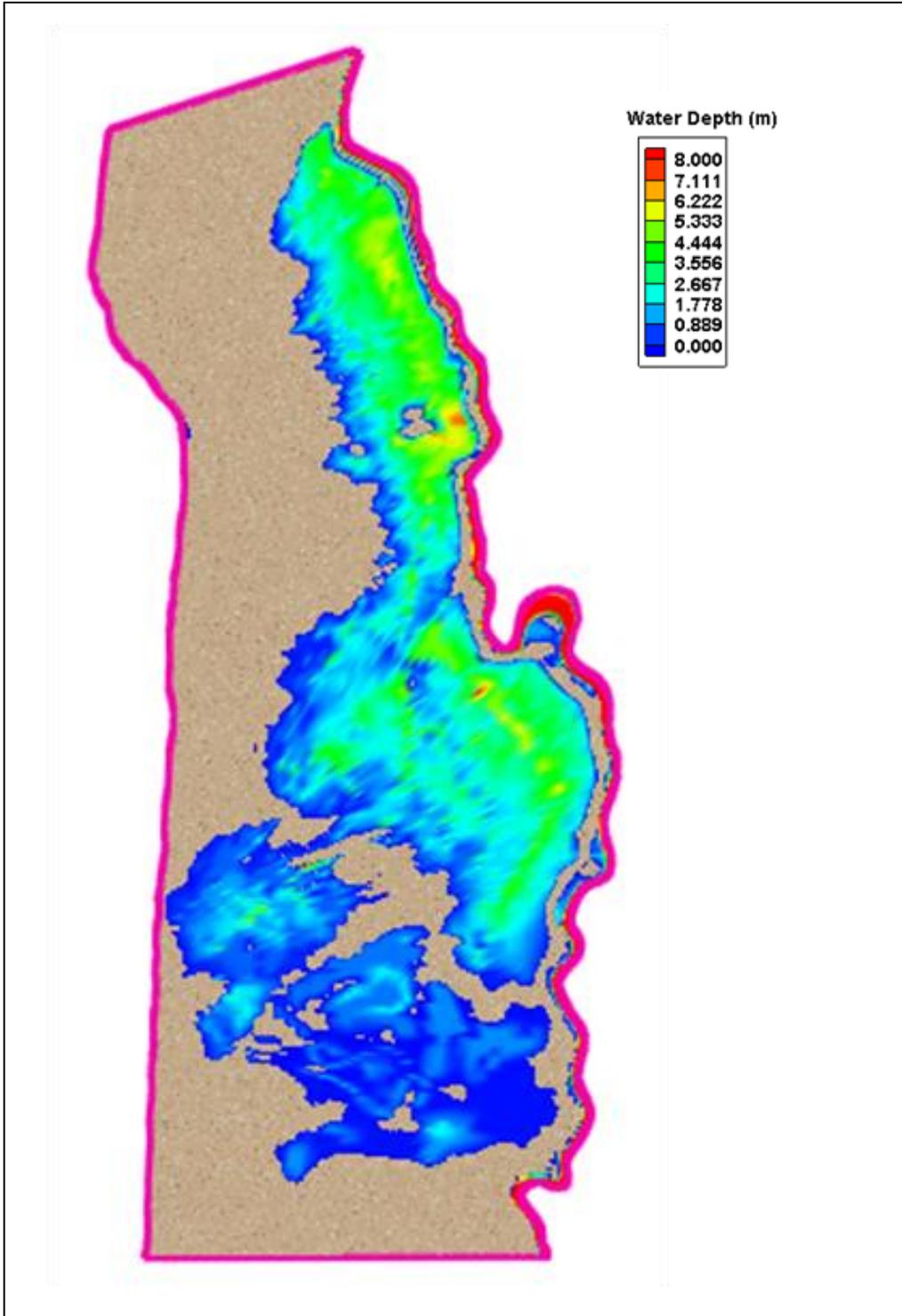


Figura 54. Escenario 6 - Seis roturas de 150 m de longitud - TR 500 años

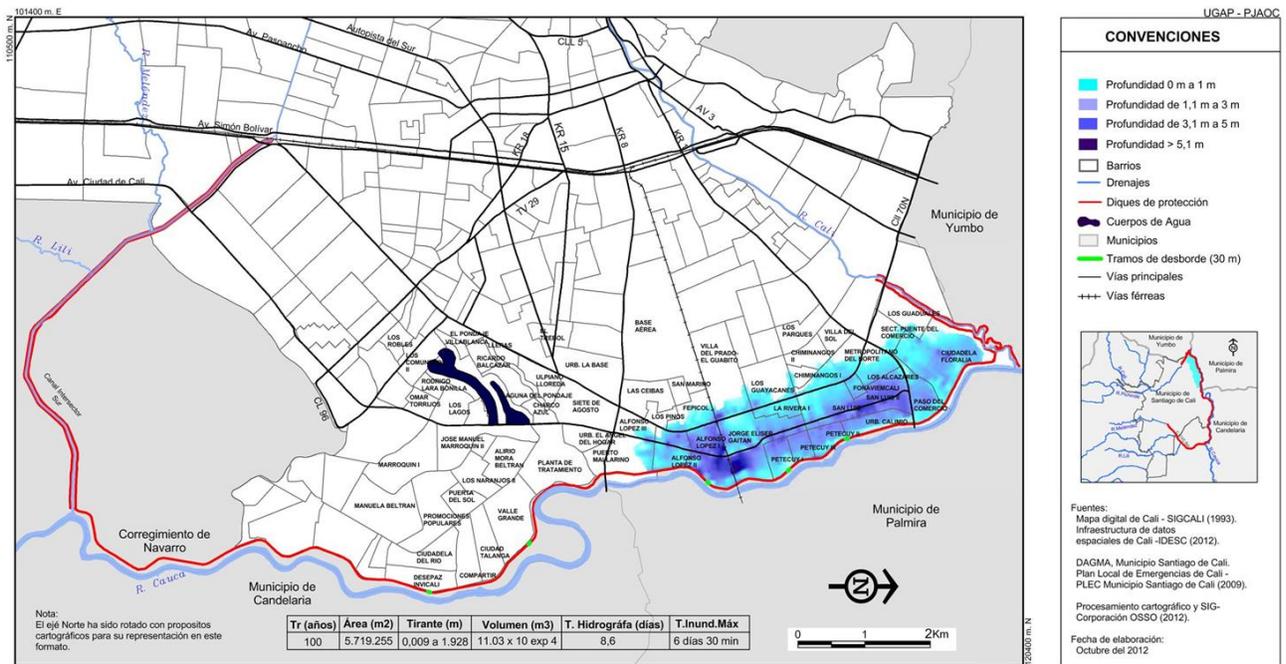


Figura 55. Escenario de amenaza para TR 100 años/Tramos de desborde de 30 m

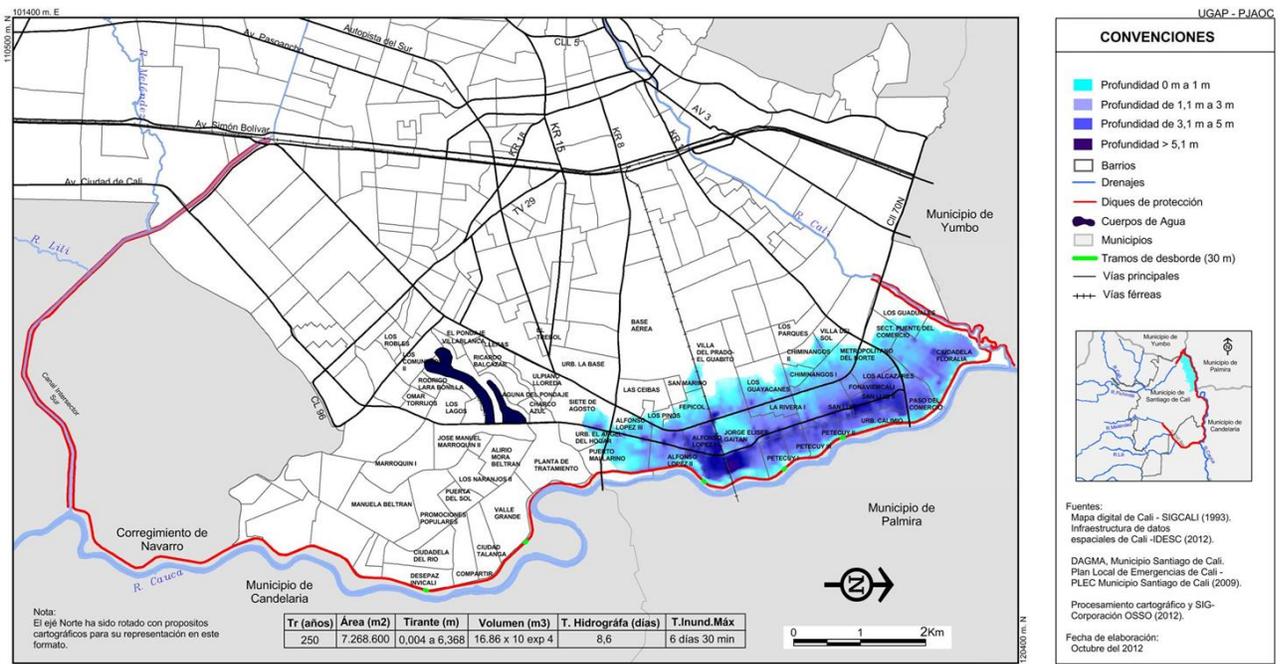


Figura 56. Escenario de amenaza para TR 250 años/Tramos de desborde de 30 m

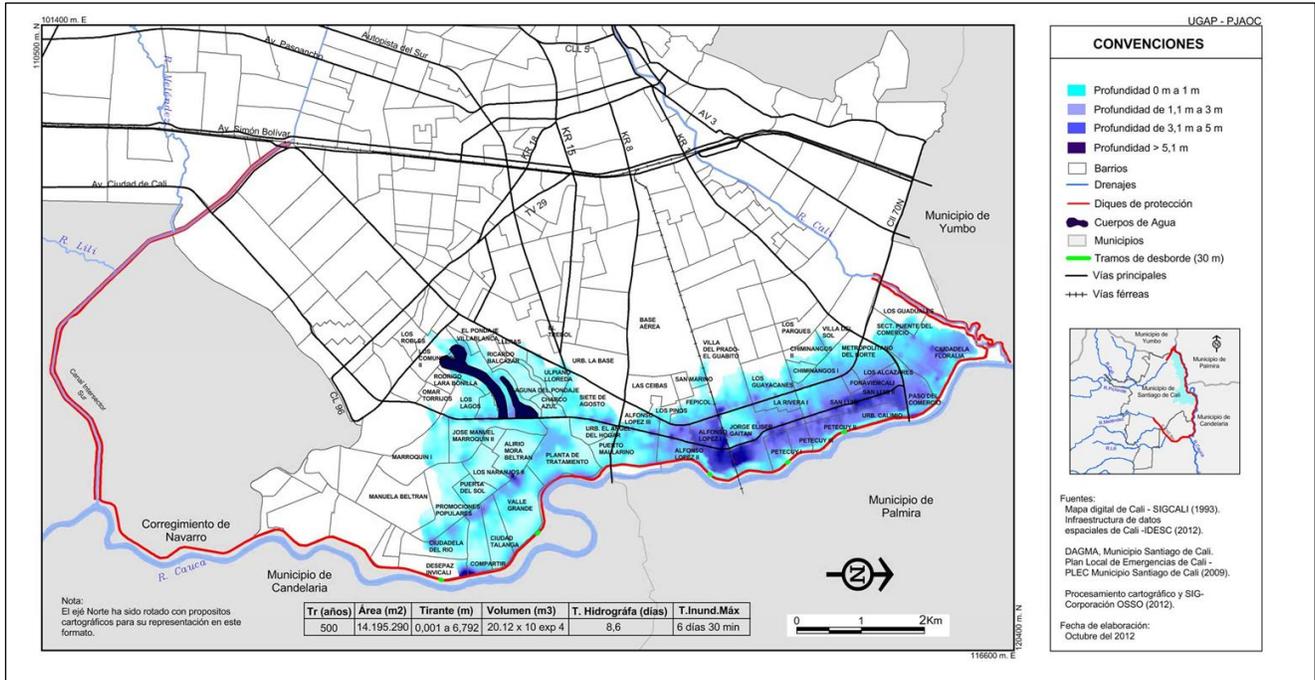


Figura 57. Escenario de amenaza para TR 500 años/Tramos de desborde de 30 m

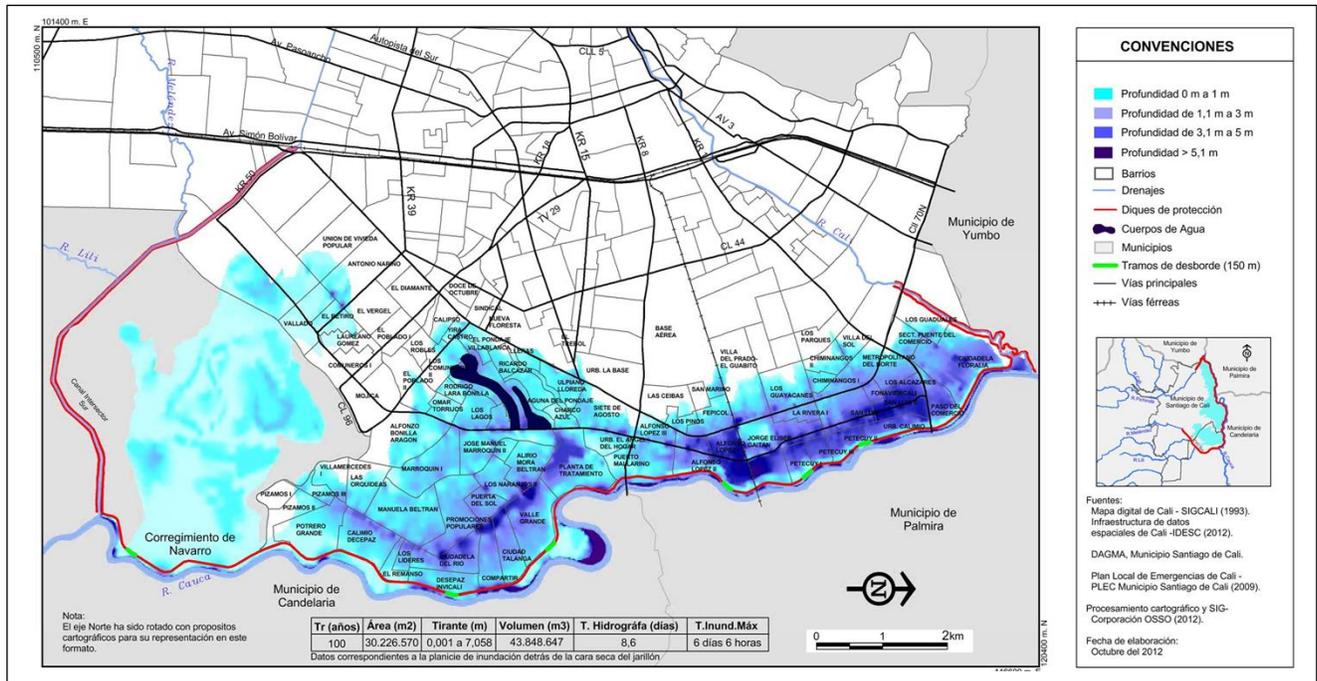


Figura 58. Escenario de amenaza para TR 100 años/Tramos de desborde de 150 m

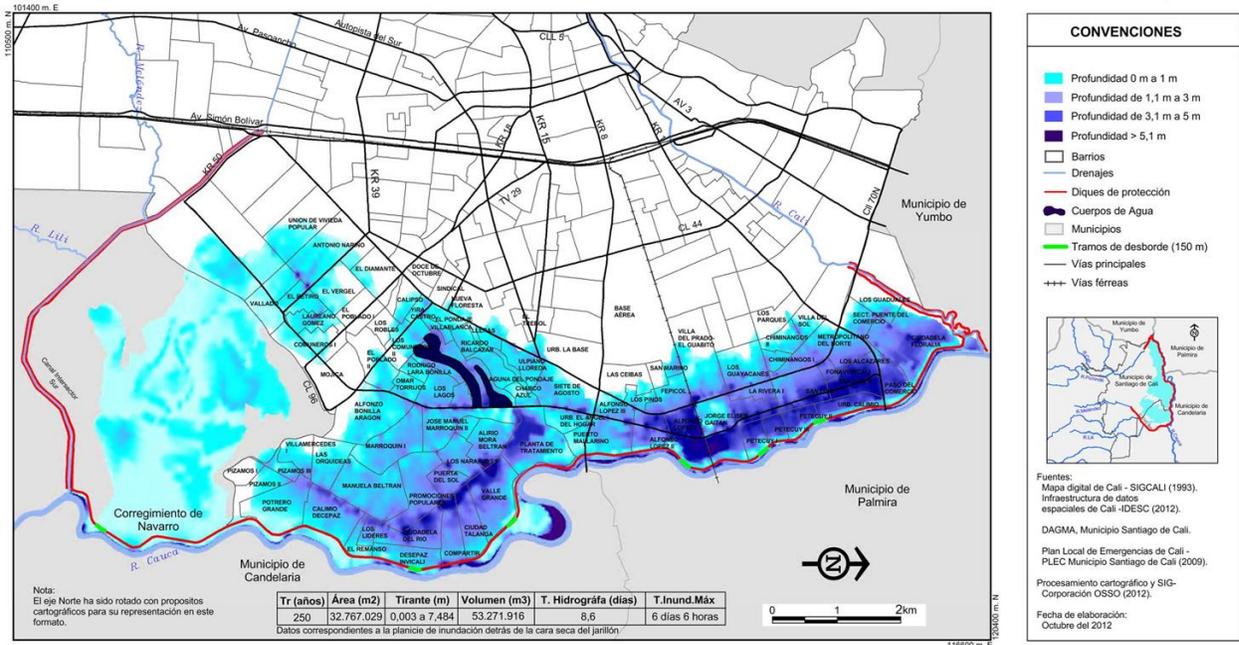


Figura 59. Escenario de amenaza para TR 250 años/Tramos de desborde de 150 m

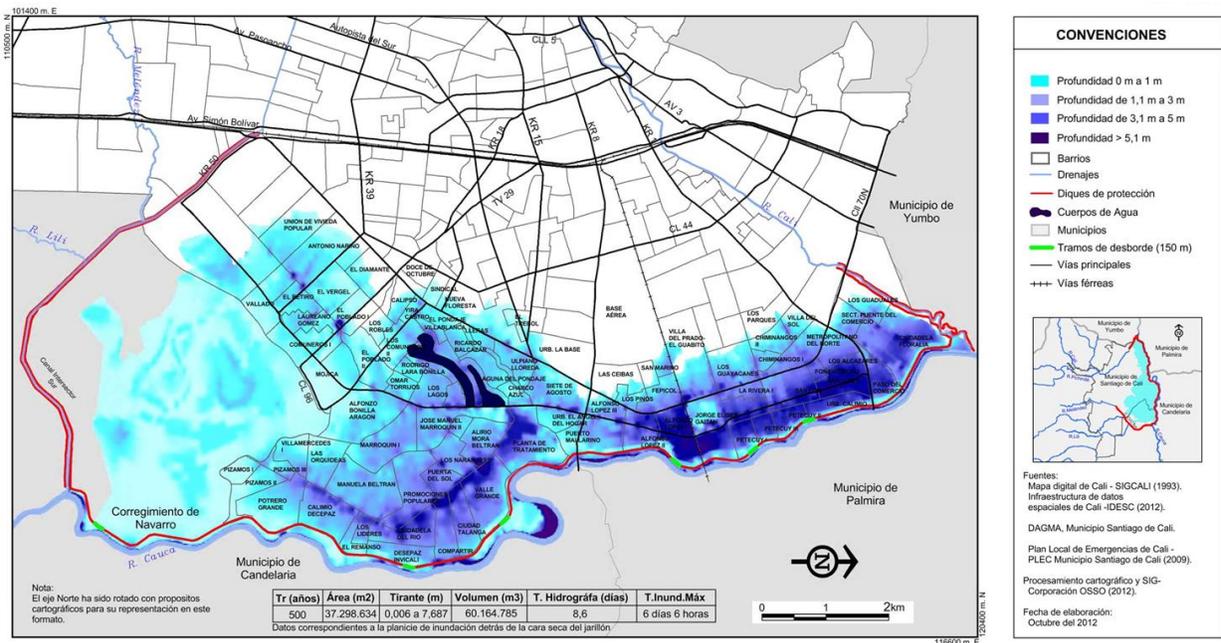


Figura 60. Escenario de amenaza para TR 500 años/Tramos de desborde de 150 m

En la **Figura 61** se resume el procedimiento presentado para el modelamiento de la amenaza por inundación

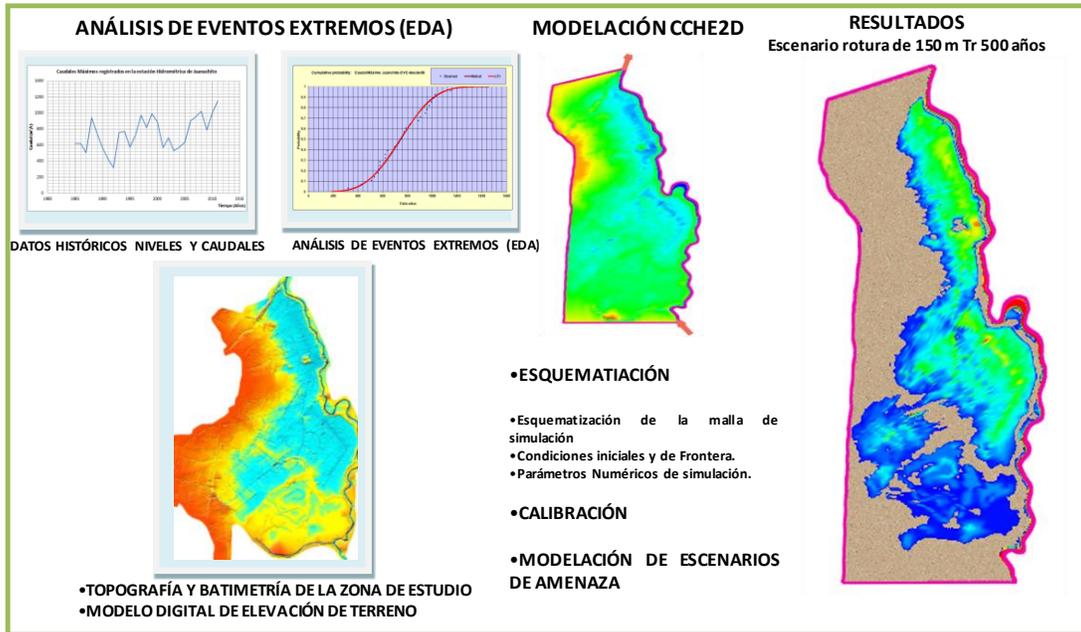


Figura 61. Procedimiento para modelar los escenarios de amenaza por inundación

CAPÍTULO III. ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR INUNDACION DEL RÍO CAUCA

3.1 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE Y ACCESIBLE SOBRE PERSONAS, VIVIENDAS E INFRAESTRUCTURA VITAL EXPUESTAS A LA AMENAZA DE INUNDACIÓN

3.1.1 Inventario de elementos expuestos tangibles

Debido a la dificultad de acceder a la totalidad de los datos del inventario de elementos que constituyen el sistema ciudad, este inventario (parcial) incorporó cinco sectores claves para la vida municipal: vivienda y población (tanto para la llanura de inundación como sobre los diques), salud, educación, servicios públicos y agrícola¹⁹ (ver la Tabla 30).

Tabla 30. Inventario de elementos expuestos tangibles a inundación

| ELEMENTOS EXPUESTOS | PERIODO DE RETORNO | | |
|------------------------------------|--------------------|---------|---------|
| | TR 100 | TR 250 | TR 500 |
| Población en llanura de inundación | 685.574 | 773.850 | 877.592 |
| Población sobre los diques | 14.799 | 14.799 | 14.799 |
| Vivienda en llanura de inundación | 146.340 | 163.660 | 184.432 |
| Viviendas sobre los diques | 2.620 | 2.620 | 2.620 |
| Manzanas residenciales | 3.863 | 4.290 | 4.822 |
| Instituciones educativas | 409 | 450 | 517 |
| Instituciones de salud | 2 | 2 | 5 |
| Estaciones de bombeo | 5 | 6 | 7 |
| Sub-estaciones eléctricas | 3 | 3 | 4 |
| Sub-estaciones telefónicas | 4 | 4 | 4 |
| Plantas de tratamiento | 4 | 4 | 4 |
| Áreas agrícolas (hectáreas) | 825 | 827 | 929 |

¹⁹ Áreas de cultivos de caña en el sector del Corregimiento de Navarro.

La información sobre el inventario de los elementos expuestos se obtuvo principalmente de las siguientes fuentes de información: (1). Departamento Administrativo de Planeación Municipal - DAMP (vivienda, población, instituciones de Salud – Cali en Cifras 20011); (2). Plataforma online llamada Geovisor IDESC²⁰ (polígonos de manzanas residenciales; Instituciones educativas); (3). Consejo Territorial Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres de la Alcaldía de Cali (viviendas y población sobre los diques), (4). Empresas Municipales de Cali – EMCALI (infraestructura de servicios públicos); (5). Asociación Lonja de Propiedad Raíz del Valle Cauca (costo de la tierra); (6). Empresa Gases de Occidente (servicio público); (7) Colombia Humanitaria – Corporiesgos (kit de emergencia y aseo), entre otros.

3.1.2 Inventario de elementos expuestos intangibles

Este inventario considera a los elementos intangibles que están expuestos a los efectos de la inundación, asociado al lucro cesante en el sector de servicios públicos domiciliarios (acueducto, alcantarillado, gas domiciliario, energía eléctrica); sector transporte (sistema integrado de transporte masivo – MIO de la troncal de Aguablanca); sector económico (tiendas de barrio y panaderías), sector salud (empleo); Ayuda humanitaria (subsidios de arriendo y kit de alimento/aseo) e impuestos (valorización por megaobras). En este ítem también se considera el valor comercial del uso de la tierra, como un elemento expuesto.

²⁰ La Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali, IDESC, se define como a suma de políticas, estándares, organizaciones y recursos tecnológicos que facilitan la obtención, uso y acceso a la información geoespacial del municipio. (<http://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones.php?id=46676>, 2008).

3.1.3 Inventario de viviendas y población expuesta a inundación sobre los diques río Cali, Floralia y Río Cali

La información suministrada por el Consejo Territorial Municipal de Gestión de Riegos de la Ciudad de Cali, define trece sectores en los que se dividen los diques de río Cauca, Floralia y río Cali, que pertenecen a tres comunas (6, 7 y 21) y al corregimiento (navarro) (Ver Tabla 31)

Tabla 31. Sectorización de los diques

| CODIGO COMUNA | CODIGO SECTOR | NOMBRE SECTOR | DIQUE |
|---------------|---------------|------------------|-----------|
| 6 | 602 | VENECIA | FLORALIA |
| 6 | 603 | COMFENALCO | |
| 6 | 604 | FLORALIA | |
| 6 | 605 | RIO CALI | |
| 6 | 606 | CINTA LARGA | RÍO CAUCA |
| 7 | 701 | PUERTO NUEVO A | |
| 7 | 702 | PUERTO NUEVO B | |
| 7 | 703 | BRISAS DEL CAUCA | |
| 6 | 704 | LAS VEGAS | |
| 7 | 705 | LA PLAYITA | |
| 21 | 2101 | LAS PALMAS | |
| 21 | 2102 | SAMANES | |
| 51 | 5102 | NAVARRO | |

En la Tabla se presenta el inventario de viviendas y número de habitantes por sector.

Tabla 32. Identificación de familias por vivienda y población por sector, 2012

| SECTOR | VIVIENDAS | HABITANTES | FAMILIAS ESTIMADAS | CRUCE BASE DATOS MÁS FAMILIAS EN ACCIÓN 2012 |
|------------------|-----------|------------|--------------------|--|
| BRISAS DEL CAUCA | 502 | 3.301 | 903 | 550 |
| CINTA LARGA | 101 | 420 | 116 | 57 |
| COMFENALCO | 180 | 897 | 267 | 92 |
| FLORALIA | 292 | 1.789 | 500 | 242 |
| LA PLAYITA | 245 | 1.495 | 468 | 220 |

| | | | | |
|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| LAS PALMAS | 33 | 178 | 52 | 28 |
| LAS VEGAS | 129 | 806 | 220 | 151 |
| NAVARRO | 416 | 1.830 | 506 | 494 |
| PUERTO NUEVO | 255 | 1.557 | 442 | 214 |
| RIO CALI | 217 | 1.014 | 299 | 96 |
| SAMANES | 103 | 540 | 139 | 139 |
| VENECIA | 147 | 972 | 283 | 148 |
| | 2.620 | 14.799 | 4.195 | 2.431 |

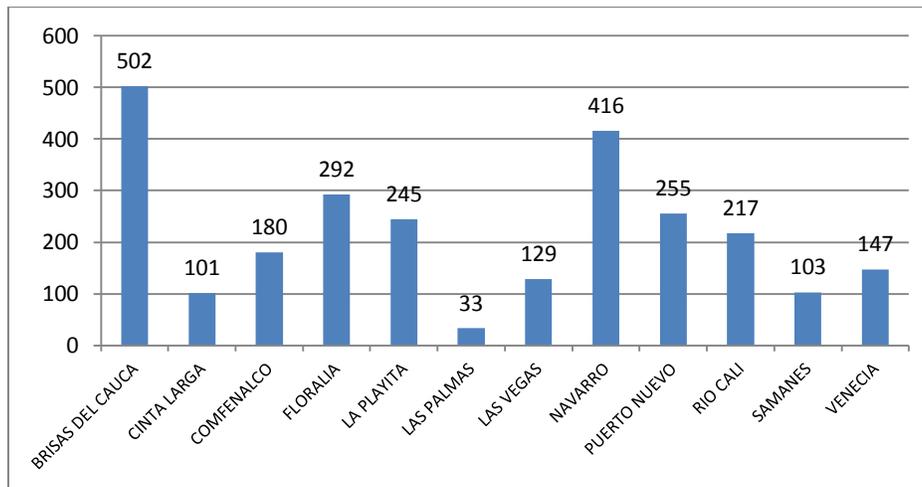


Figura 62. Número de viviendas por sector

Tabla 33. Porcentaje de viviendas por sector

| SECTOR | VIVIENDAS | % |
|------------------|-----------|----|
| BRISAS DEL CAUCA | 502 | 19 |
| CINTA LARGA | 101 | 4 |
| COMFENALCO | 180 | 7 |
| FLORALIA | 292 | 11 |
| LA PLAYITA | 245 | 9 |
| LAS PALMAS | 33 | 1 |
| LAS VEGAS | 129 | 5 |
| NAVARRO | 416 | 16 |
| PUERTO NUEVO | 255 | 10 |
| RIO CALI | 217 | 8 |
| SAMANES | 103 | 4 |
| VENECIA | 147 | 6 |

| | | |
|--------------|--------------|------------|
| Total | 2.620 | 100 |
|--------------|--------------|------------|

El sector con mayor número viviendas sobre el jarillón es Brisas del Cauca (502) equivalente al 19% del total, seguido de Navarro (416) con un 16%, Floralia (292) con 11% y Puerto Nuevo (255) con 10%. El resto de sectores se encuentran entre el 1 y 9% de ocupación.

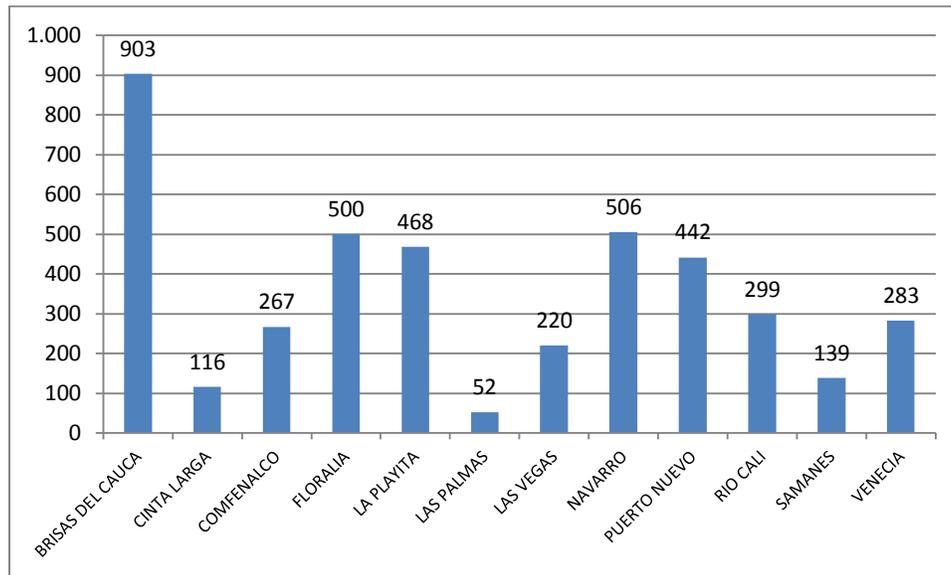


Figura 63. Número de familias por sector

Las viviendas han sido construidas básicamente por materiales como ladrillo, madera, cartón, plástico o la combinación entre ellos. En la Tabla 34 se presenta este inventario.

Tabla 34. Materiales de construcción de viviendas

| MATERIAL | N° DE EDIFICACIONES | % |
|-----------------|---------------------|------------|
| Ladrillo | 1286 | 49.08 |
| Ladrillo/madera | 725 | 27.67 |
| Madera/cartón | 588 | 22.44 |
| Cartón/plástico | 21 | 0.80 |
| TOTAL | 2620 | 100 |

En la construcción predomina el uso de ladrillos en un 49%, seguido de las combinaciones ladrillo/madera, madera/cartón en proporciones de 27.67% y 22.44 % respectivamente y por último cartón/plástico con 0,8% (Ver Figura 64).

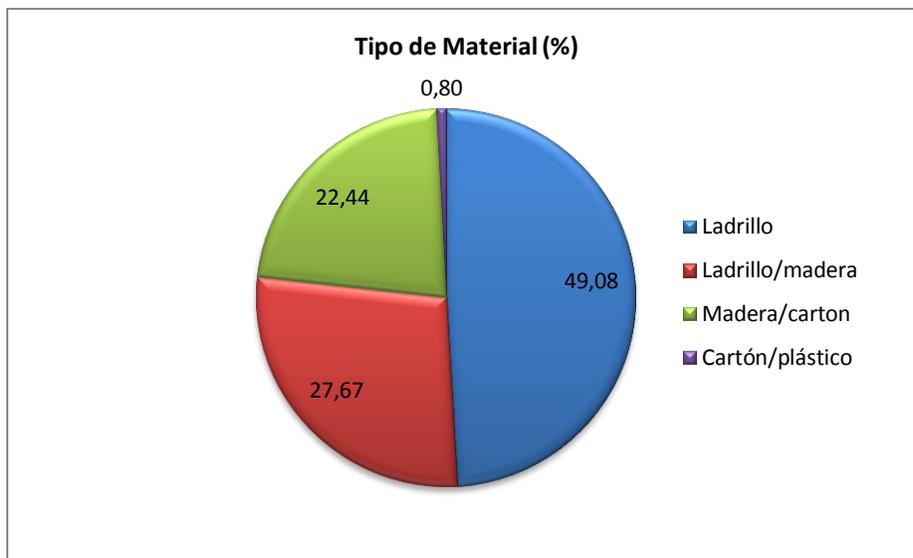


Figura 64. Tipo de material de las viviendas (%)

En relación con el número de pisos, predominan edificaciones de un solo nivel con un porcentaje de 90.8% (Ver Tabla y Figura 65).

Tabla 35. Inventario de viviendas por número de pisos

| NUMERO DE PISOS | # VIVIENDAS | % |
|-----------------|-------------|------|
| 1 | 2381 | 90.8 |
| 2 | 225 | 8.59 |
| 3 | 14 | 0.53 |

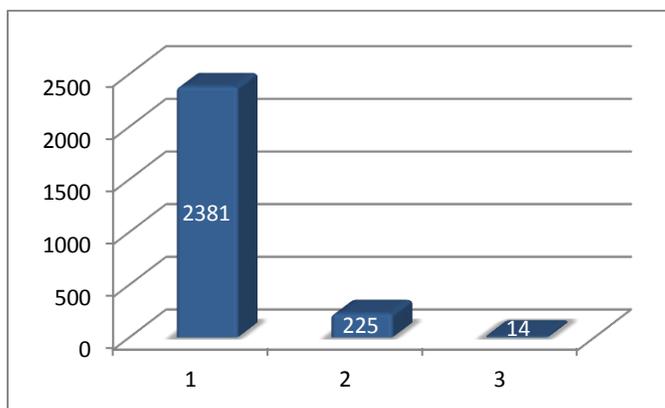


Figura 65. Número de pisos en viviendas

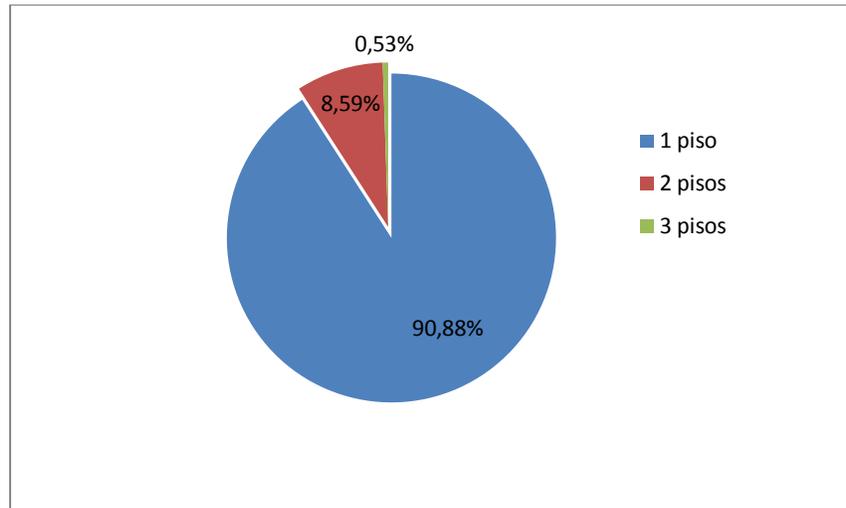


Figura 66. Porcentaje de viviendas de 1, 2 y 3 pisos

Las viviendas inventariadas para cada uno de los sectores se clasifican según el estado de conservación en averiadas, buen estado y demolidas. En la Tabla 36 se presenta la cantidad de viviendas en relación con su estado y se observa que una buena parte de ellas se encuentran averiadas.

Tabla 36. Estado de las viviendas

| NOMBRE SECTOR | ESTADO VIVIENDA | CONTEO (ESTADO VIVIENDA) |
|----------------|-----------------|--------------------------|
| VENECIA | AVERIADA | 50 |
| | BUEN ESTADO | 96 |
| | DEMOLIDA | 1 |
| COMFENALCO | AVERIADA | 90 |
| | BUEN ESTADO | 90 |
| FLORALIA | AVERIADA | 101 |
| | BUEN ESTADO | 191 |
| RIO CALI | AVERIADA | 43 |
| | BUEN ESTADO | 174 |
| CINTA LARGA | AVERIADA | 79 |
| | BUEN ESTADO | 22 |
| PUERTO NUEVO A | AVERIADA | 83 |
| | BUEN ESTADO | 72 |
| PUERTO NUEVO B | AVERIADA | 49 |
| | BUEN ESTADO | 48 |

| | | |
|------------------|-------------|-----|
| | DEMOLIDA | 3 |
| BRISAS DEL CAUCA | AVERIADA | 315 |
| | BUEN ESTADO | 171 |
| | DEMOLIDA | 16 |
| LAS VEGAS | AVERIADA | 68 |
| | BUEN ESTADO | 61 |
| LA PLAYITA | AVERIADA | 132 |
| | BUEN ESTADO | 111 |
| | DEMOLIDA | 2 |
| LAS PALMAS | AVERIADA | 14 |
| | BUEN ESTADO | 18 |
| | DEMOLIDA | 1 |
| SAMANES | AVERIADA | 40 |
| | BUEN ESTADO | 63 |
| NAVARRO | AVERIADA | 207 |
| | BUEN ESTADO | 200 |
| | DEMOLIDA | 9 |

Clasificando las viviendas según su estado, uso y ocupación se presenta la tabla 37 se presenta este inventario.

Tabla 37. Estado, Ocupación y Uso de las viviendas sobre el jarillón

| ESTADO | # | % |
|------------------|-------------|------------|
| AVERIADA | 1271 | 48.5 |
| BUEN ESTADO | 1317 | 50.3 |
| DEMOLIDA | 32 | 1.2 |
| Total | 2620 | 100 |
| | | |
| OCUPACION | # | % |
| ABANDONADA | 3 | 0.1 |
| DESHABITADA | 73 | 2.8 |
| HABITADA | 2544 | 97.1 |
| Total | 2620 | 100 |
| | | |
| USO | # | % |
| ABANDONADA | 2 | 0.1 |
| BODEGA | 40 | 1.5 |
| INQUILINATO | 184 | 7.0 |
| MICROEMPRESA | 39 | 1.5 |

| | | |
|--------------|-------------|------------|
| VIVIENDA | 2355 | 89.9 |
| Total | 2620 | 100 |

En la Figura presenta que el 50,3% de las viviendas se encuentran en buen estado, no muy lejano se encuentran las viviendas averiadas con un 48.5%. En cuanto a ocupación el 97,1% se hallan habitadas y el 89.9% es utilizada como vivienda, tan sólo el 7% son utilizadas como inquilinato.

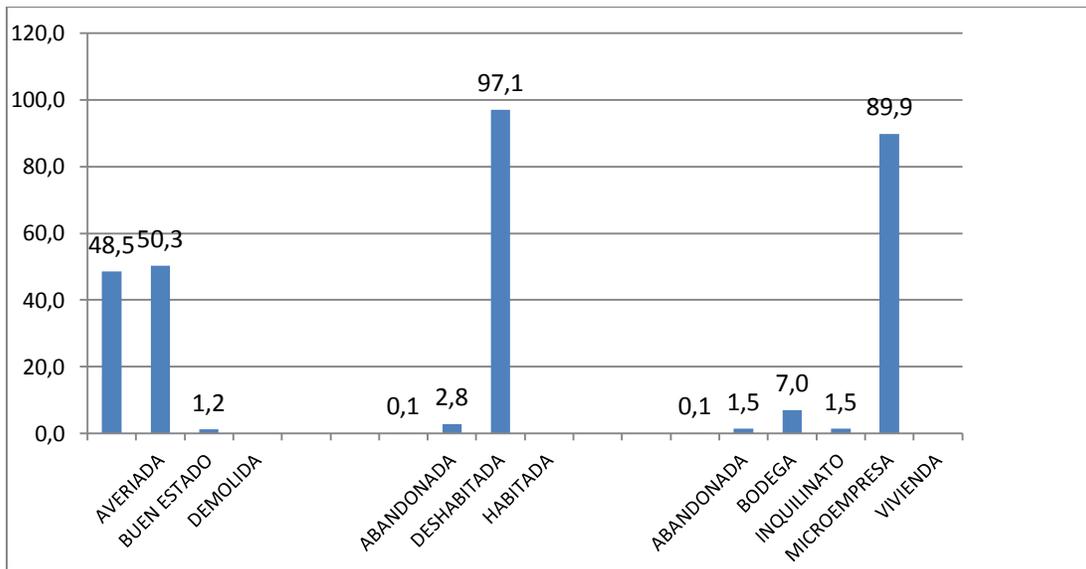


Figura 67. Estado, ocupación y uso de las viviendas (%)

En la Tabla 38 se presenta la distribución de población según sus años de vida, clasificados en cantidad de mayores, menores y discapacitados.

Tabla 38. Caracterización de la población por sector

| COD SECTOR | SECTOR | # MAYORES | # MENORES | # DISCAPACITADOS | # NUCLEO FAMILIAR |
|------------|----------------|-----------|-----------|------------------|-------------------|
| 602 | VENECIA | 647 | 322 | 14 | 278 |
| 603 | COMFENALCO | 587 | 314 | 11 | 262 |
| 604 | FLORALIA | 1170 | 623 | 17 | 477 |
| 605 | RIO CALI | 716 | 296 | 11 | 281 |
| 606 | CINTA LARGA | 231 | 189 | 5 | 112 |
| 701 | PUERTO NUEVO A | 611 | 300 | 31 | 252 |
| 702 | PUERTO NUEVO B | 395 | 250 | 13 | 190 |

| | | | | | |
|--------------|------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 703 | BRISAS DEL CAUCA | 502 | 1337 | 96 | 895 |
| 704 | LAS VEGAS | 519 | 286 | 19 | 202 |
| 705 | LA PLAYITA | 881 | 643 | 31 | 453 |
| 2101 | LAS PALMAS | 113 | 74 | 2 | 33 |
| 2102 | SAMANES | 103 | 103 | 9 | 142 |
| 5102 | NAVARRO | 1138 | 416 | 32 | 481 |
| TOTAL | | 7613 | 5153 | 291 | 4058 |

3.2 ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN

La exposición del inventario de elementos considerados es en este Estudio se representan espacialmente en relación con la altura de inundación en metros. En las Figuras siguientes se presentan ejemplos de mapas de exposición para de manzanas residenciales (sector vivienda y población), así como de las edificaciones esenciales²¹.

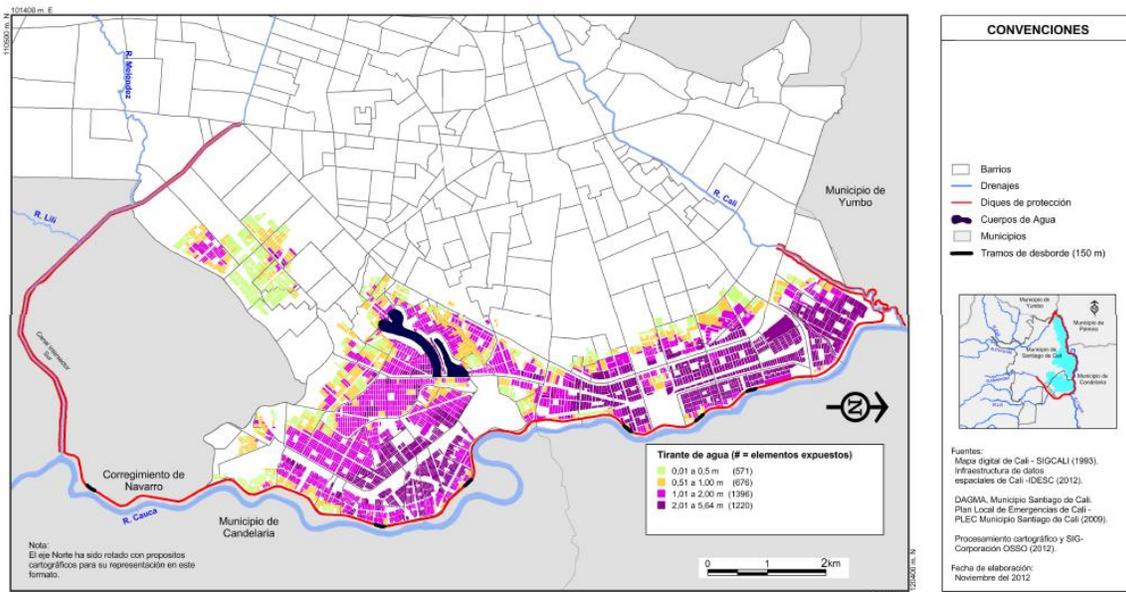


Figura 68. Escenario de exposición por manzana residencial para TR 100 años

²¹ Para propósitos de representación cartográfica las edificaciones pertenecientes al sector salud y educación se agrupan en una categoría de edificaciones esenciales de acuerdo con la NSR-10

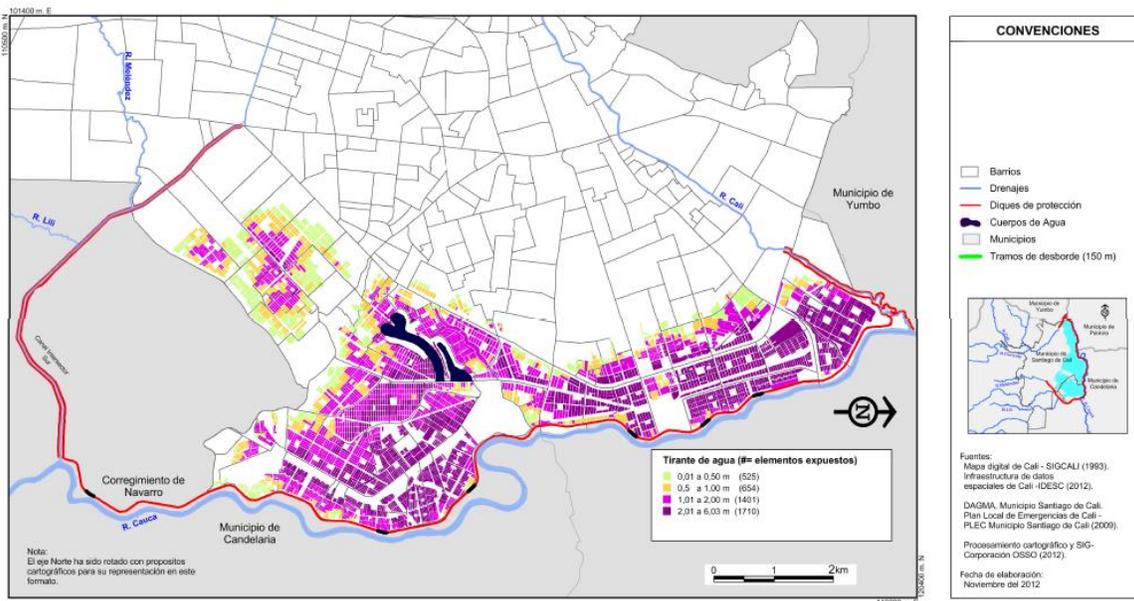


Figura 69. Escenario de exposición por manzana residencial para TR 250 años

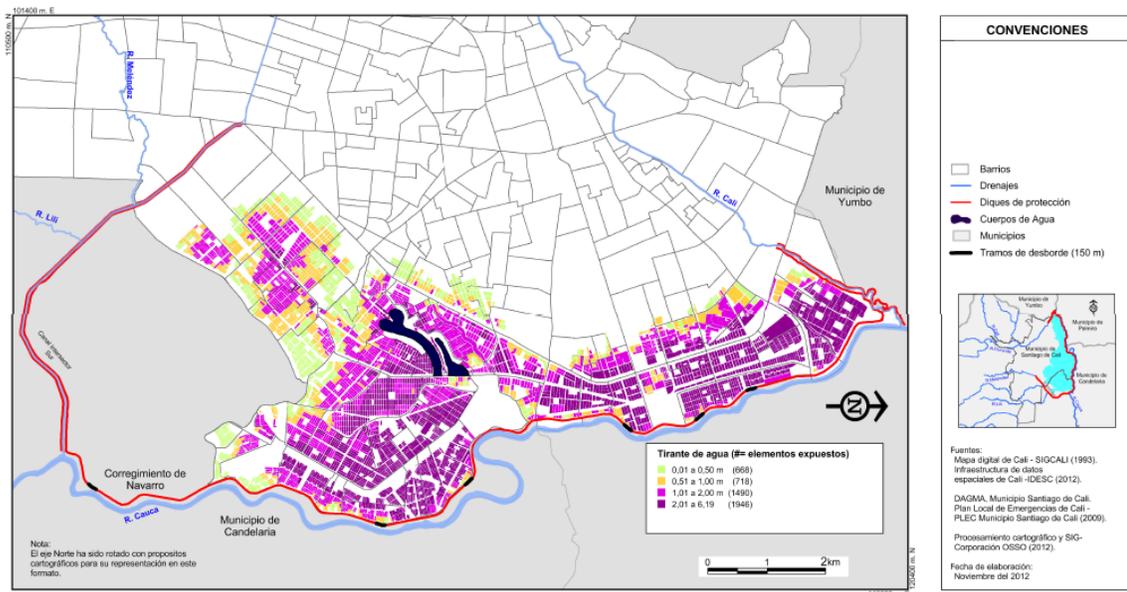


Figura 70. Escenario de exposición por manzana residencial para TR 500 años

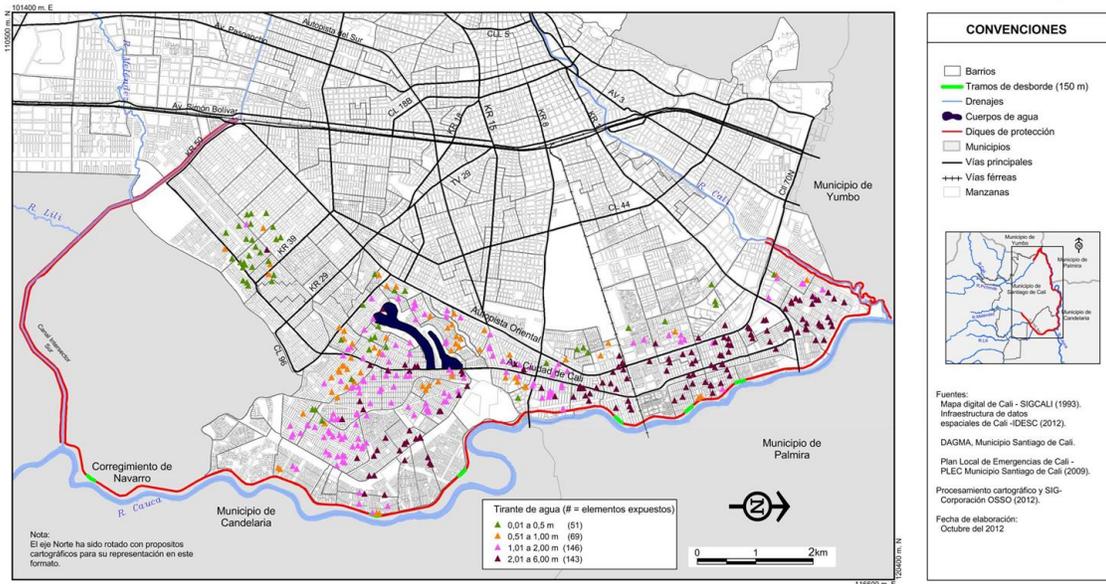


Figura 71. Escenario de exposición de edificaciones esenciales para TR 100 años

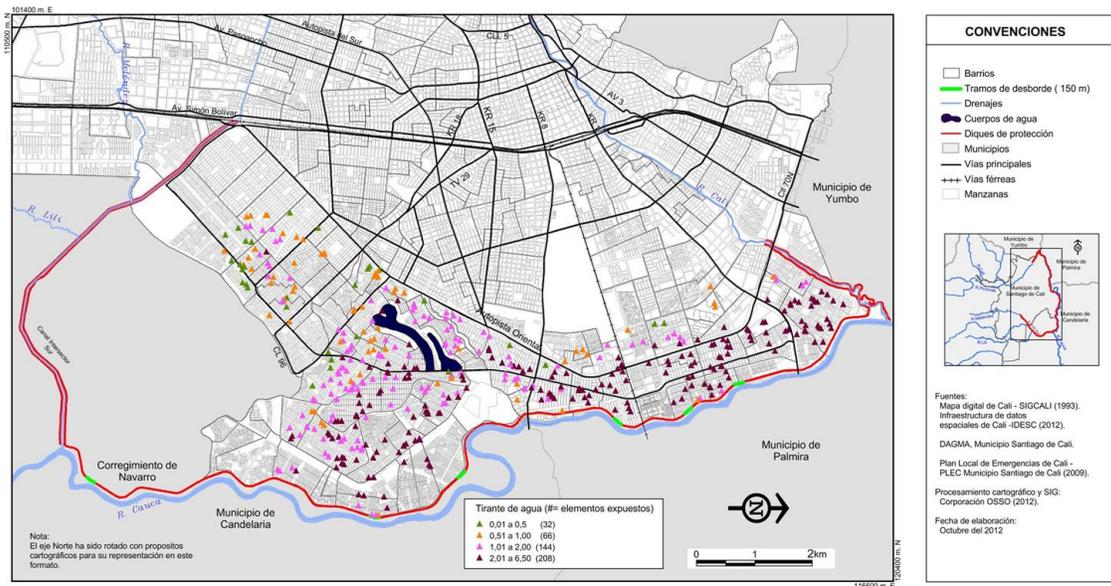


Figura 72. Escenario de exposición de edificaciones esenciales para TR 250 años

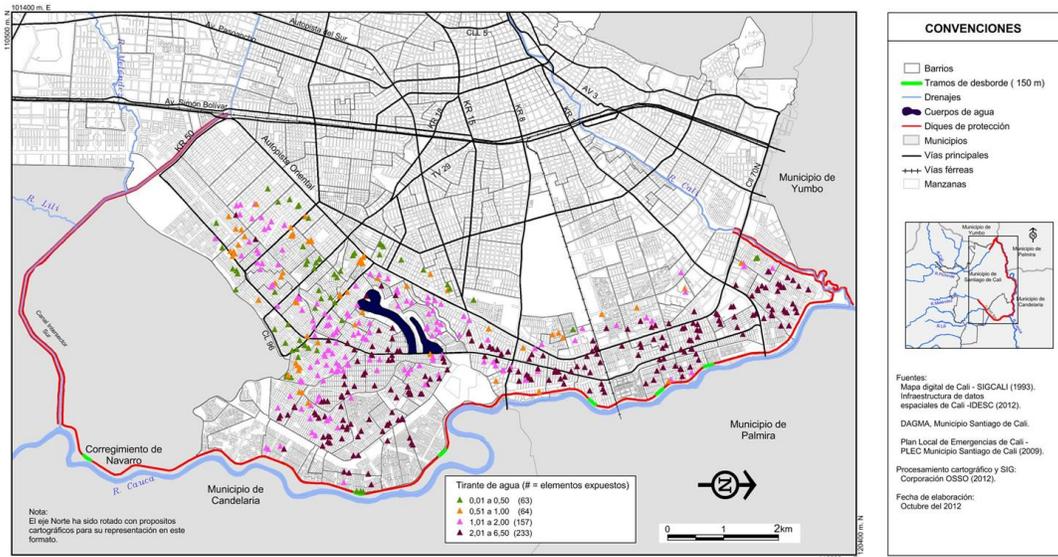


Figura 73. Escenario de exposición de edificaciones esenciales para TR 500 años

3.3 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Según la Ley 1523 de 2012, la vulnerabilidad es la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. En otras palabras corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos. El análisis de la vulnerabilidad depende entonces del grado de exposición²² y/o fragilidad que un elemento o grupo de elementos pueda tener frente a diversas sollicitaciones. Esta fragilidad puede estimada a partir de curvas o funciones de vulnerabilidad que definen el nivel de pérdida frente a una determinada sollicitación. Para el caso de las inundaciones este grado de pérdida o

²² El análisis de la exposición de los elementos expuestos frente a inundaciones fue abordada en el punto 3.2 de este Estudio

daño puede ser determinado a partir del conocimiento del comportamiento por tipo de elemento, representada en una curva de vulnerabilidad, frente a diferentes niveles o profundidades de inundación.

3.3.1 Definición de las funciones de vulnerabilidad frente a inundación para los elementos expuestos considerados en el Estudio

Usualmente las funciones de daño por inundación involucran la profundidad de la inundación como el único factor de daño directo en estructuras y la población; sin embargo se resalta que los daños por inundaciones son influenciados por otros factores como el caudal, la duración de la inundación, la carga de sedimentos y componentes químicos del agua (Pistrika, 2010). Por otro lado estas variables se tienen en cuenta o no, dependiendo de factores como la escala espacio temporal y principalmente la información disponible para el análisis (Bubeck, 2011).

Para el desarrollo de este Estudio, de acuerdo con la bibliografía consultada, la información recopilada y analizada, se decidió que las funciones de daños utilizadas contemplarían principalmente el patrón de profundidad como principal factor de daño. Sin embargo dadas las altas condiciones de exposición directa de las viviendas y población que habita sobre el dique del río Cauca frente a las crecientes, se decidió como un caso particular para estimar el daño, utilizar el parámetro combinado de tirante vs velocidad de flujo (más adelante esta condición se presenta con mayor detalle).

Estas funciones de daño por inundaciones pueden ser elaboradas a partir de dos procesos metodológicos, el primero, consiste en la construcción de funciones empíricas a partir de observaciones en campo de daños por inundaciones, como el caso del proyecto HOWAS²³ en Alemania. La recopilación de un gran conjunto

²³ <http://nadine-ws.gfz-potsdam.de:8080/howasPortal/client/start>

de datos permite a los investigadores entender como los diferentes materiales responden a la inundación y de esa manera estiman el porcentaje de daño en relación al factor de la inundación seleccionado.

El segundo proceso, consiste en la elaboración de las funciones a partir de datos técnicos y el criterio experto, dando lugar al desarrollo de software de elaboración de funciones; en la literatura se pueden encontrar varios programas como por ejemplo el HIS-SSM, utilizado en Holanda para el cálculo de funciones de daño por inundación.

Hasta el momento, según la bibliografía consultada, Colombia no cuenta con una base de datos que dé cuenta del comportamiento de diferentes estructuras y población frente a la temporalidad y característica de una determinada inundación. De la misma manera, no se posee una metodología y software que permita elaborar funciones de daños por inundación en el país. En este orden de ideas se tomó la decisión de consultar en la bibliografía funciones de vulnerabilidad que permitieran ser adaptadas al contexto local y de esta manera tener para Cali, una aproximación a la estimación del Riesgo por inundación.

3.3.2 Definición de funciones de daño en viviendas para el área de estudio

Para términos prácticos de esta evaluación la vivienda será caracterizada en términos de su componente constructivo (inmueble: paredes, puertas, techo, piso, etc.) y su contenido (muebles: camas, televisor, nevera, etc.). Cada de uno de estos elementos tiene un comportamiento diferente frente a una inundación. En ese orden de ideas el porcentaje de daño varía respecto al nivel de agua. En la **Figura 74** se presenta este concepto básico para el análisis de vulnerabilidad a inundaciones.

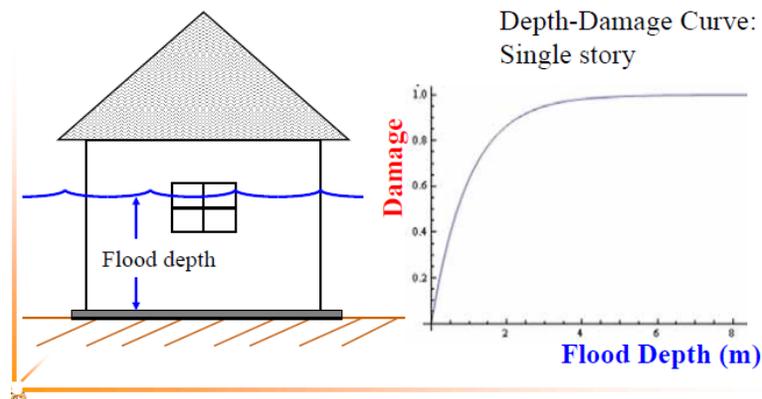


Figura 74. Concepto básico de una función de vulnerabilidad frente a inundaciones²⁴

Teniendo en cuenta lo anterior se definieron dos funciones de daño una para la construcción y otra para los contenidos, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Para efectos de este análisis y al no contar con un dato oficial del material predominante de la vivienda por manzana, se supuso que el material predominante de los muros es mampostería.
- Los estratos moda en la zona de evaluación son estrato 1, 2, y 3.
- El análisis se realizó a nivel de manzana.
- Se asume que todas las viviendas son de un solo piso.
- Se asume que ninguna vivienda cuenta con sótano.

3.2.2.1 Estimación de la función de vulnerabilidad en los contenidos de las viviendas por estrato

Para construir la función de vulnerabilidad de los contenidos de las viviendas por estrato 1, 2 y 3, se procedió en primera instancia a identificar el mobiliario, enseres y electrodoméstico típicos que se pueden encontrar en cada uno de ellos. Además se definió un atributo importante, la altura de los elementos, como insumo fundamental para estimar el porcentaje de daño asociado simulando un aumento

²⁴ Imagen tomada de: Witharana, C. Meyer, T. Civco, D. Osleeb, J

de nivel de agua de 25 cm que se van acumulando hasta lograr el tope máximo con el elemento más alto y donde se considera pérdida total. En la Figura 75 se presentan los elemento típicos de una vivienda y su altura promedio.

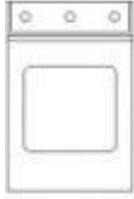
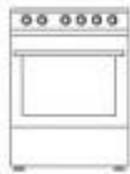
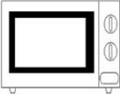
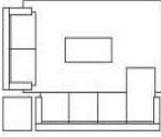
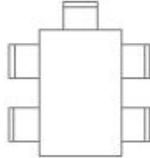
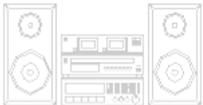
| | | |
|---|---|---|
| <p><u>Nevera</u></p>  <p>Alto=170cm Ancho=60cm Profundidad=60 cm</p> | <p><u>Lavadora</u></p>  <p>Alto=85cm Ancho=60cm Profundidad=65cm</p> | <p><u>Estufa</u></p>  <p>Alto=97cm Ancho=76cm Profundidad=76cm</p> |
| <p><u>Horno Microondas</u></p>  <p>Alto=55cm Ancho=50cm Profundidad=40cm</p> | <p><u>Juego de sala</u></p>  <p>Alto=94cm Ancho=193cm Profundidad=85cm</p> | <p><u>Comedor</u></p>  <p>Alto=72cm</p> |
| <p><u>Televisión</u></p>  <p>Alto=60cm</p> | <p><u>Computador</u></p>  <p>Alto=60cm</p> | <p><u>Cama</u></p>  <p>Alto=60cm</p> |
| <p><u>Equipo de Sonido</u></p>  <p>Alto=70cm</p> | <p><u>Motocicleta</u></p>  <p>Alto=130cm</p> | |

Figura 75. Elementos típicos de una vivienda

Para generar la función de vulnerabilidad, el tipo de vivienda se ha clasificado según la estratificación socioeconómica actual para el municipio de Santiago de Cali.

Vivienda Estrato 1. Este tipo corresponde a los hogares en estratificación socioeconómica “bajo bajo”. Es una vivienda con área aproximada de 45 m² construidos.

Vivienda Estrato 2. Este tipo corresponde a los hogares en estratificación socioeconómica “bajo”. Es una vivienda con área aproximada de 60 m² construidos.

Vivienda Estrato 3. Este tipo corresponde a los hogares en estratificación socioeconómica “medio bajo”. Es una vivienda con área aproximada de 75 m² construidos.

Para cada tipo de vivienda se propuso una serie de configuraciones de muebles y enseres menores como de nevera, lavadora, hornos, estufas, secadoras, juego de sala, comedor, tv, equipo de sonido, computador, motocicletas, etc.

De las dimensiones de los elementos, para este análisis, se considera únicamente la altura (cm) para estimar el porcentaje de daño a diferentes tirantes de agua por estrato, por ejemplo, cuando el tirante del agua alcance 25 cm, qué porcentaje de afectación padecerán los elementos de una vivienda tipo. Calculado el porcentaje de afectación por elemento, se promedian los datos y se obtiene un porcentaje de afectación para cada tirante de agua.

Cabe anotar que cuando el porcentaje de afectación supera el 100%, es decir cuando el tirante de agua es tal que se afecta el elemento en su totalidad, quedando cubierto de agua, los valores se normalizan a 100 para no incurrir en errores redundantes.

En las Tablas siguientes se presenta para cada vivienda tipo, el porcentaje de afectación en diferentes tirantes de agua.

Tabla 39. Porcentaje de daño para diferentes tirantes de agua, en el estrato 1

| Altura Objeto(cm) | Tirante de Agua (cm)/ % de daño | | | | | |
|-------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 |
| 60 | 42 | 83 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 94 | 27 | 53 | 80 | 100 | 100 | 100 |
| 72 | 35 | 69 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 47 | 53 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 97 | 26 | 52 | 77 | 100 | 100 | 100 |
| 170 | 15 | 29 | 44 | 59 | 74 | 88 |
| 130 | 19 | 38 | 58 | 77 | 96 | 100 |
| 150 | 17 | 33 | 50 | 67 | 83 | 100 |
| 85 | 29 | 59 | 88 | 100 | 100 | 100 |
| % daño/tirante | 29 | 58 | 77 | 89 | 95 | 99 |

Tabla 40. Porcentaje de daño para diferentes tirantes de agua, en el estrato 2

| Altura Objeto(cm) | Tirante de Agua (cm)/ % de daño | | | | | |
|-------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 |
| 60 | 42 | 83 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 94 | 27 | 53 | 80 | 100 | 100 | 100 |
| 72 | 35 | 69 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 47 | 53 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 97 | 26 | 52 | 77 | 100 | 100 | 100 |
| 170 | 15 | 29 | 44 | 59 | 74 | 88 |
| 130 | 19 | 38 | 58 | 77 | 96 | 100 |
| 150 | 17 | 33 | 50 | 67 | 83 | 100 |
| 140 | 18 | 36 | 54 | 71 | 89 | 100 |
| 85 | 29 | 59 | 88 | 100 | 100 | 100 |
| % daño/tirante | 28 | 55 | 75 | 87 | 94 | 99 |

Tabla 41. Porcentaje de daño para diferentes tirantes de agua, en el estrato 3

| Altura Objeto(cm) | Tirante de Agua (cm)/ % de daño | | | | | |
|-------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 |
| 60 | 42 | 83 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 94 | 27 | 53 | 80 | 100 | 100 | 100 |
| 72 | 35 | 69 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 47 | 53 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 97 | 26 | 52 | 77 | 100 | 100 | 100 |
| 170 | 15 | 29 | 44 | 59 | 74 | 88 |
| 85 | 29 | 59 | 88 | 100 | 100 | 100 |
| 130 | 19 | 38 | 58 | 77 | 96 | 100 |
| 140 | 18 | 36 | 54 | 71 | 89 | 100 |
| 150 | 17 | 33 | 50 | 67 | 83 | 100 |
| 138 | 18 | 36 | 54 | 72 | 91 | 100 |
| 130 | 19 | 38 | 58 | 77 | 96 | 100 |
| % daño /tirante | 26 | 52 | 72 | 85 | 94 | 99 |

Las funciones de vulnerabilidad elaboradas a partir de los resultados anteriores se presentan en las siguientes figuras.

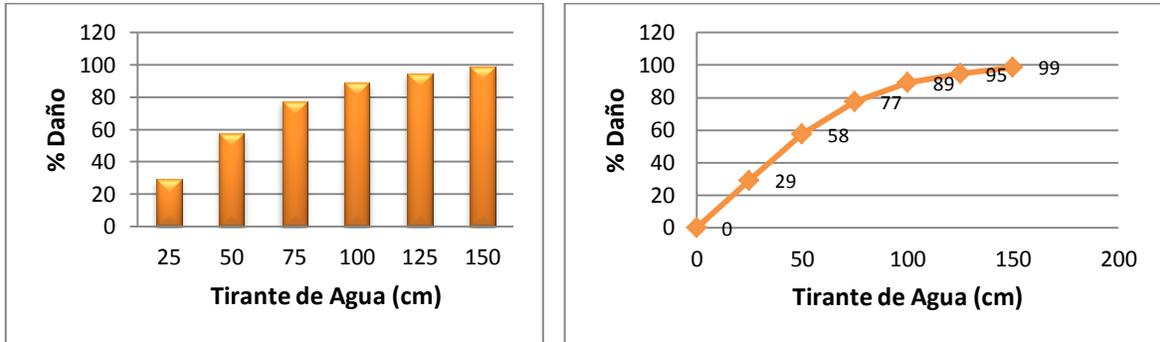


Figura 76. Porcentaje de daño en contenidos para vivienda Estrato 1

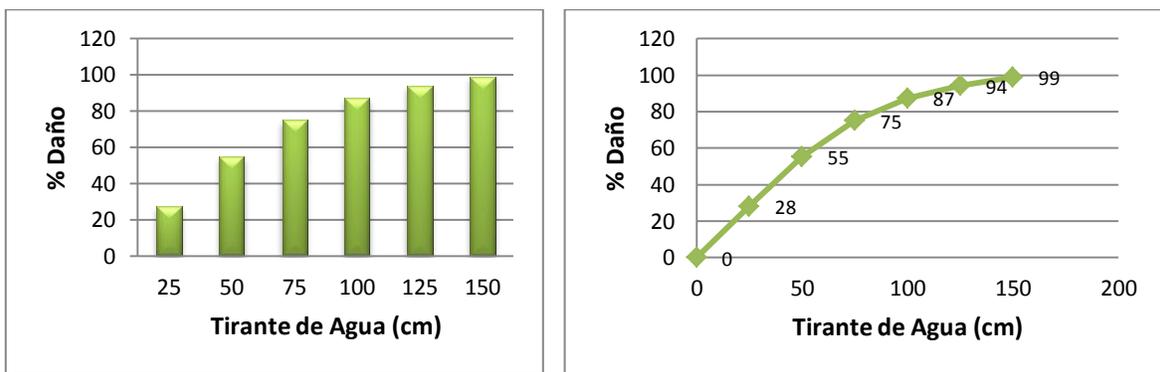


Figura 77. Porcentaje de daño en contenidos para vivienda Estrato 2

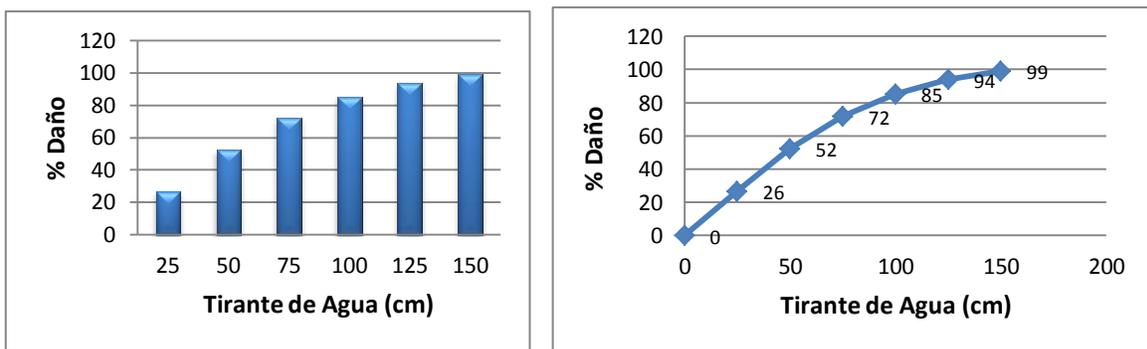


Figura 78. Porcentaje de daño en contenidos para vivienda Estrato 3

Por efectos prácticos y de simplificación del modelo estas curvas fueron confrontadas con el propósito de encontrar una línea de tendencia y de esta manera elaborar una única grafica de daño por inundación para la variable de los contenidos.

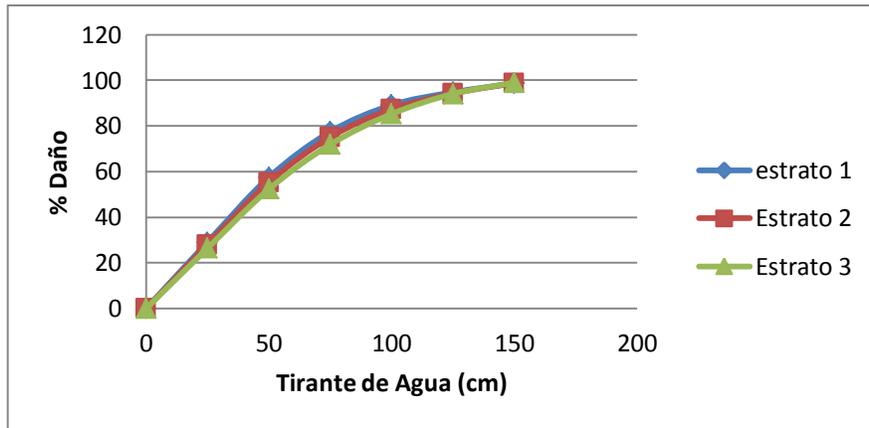


Figura 79. Confrontación de curvas de vulnerabilidad por estrato

La Función de vulnerabilidad final obtenida y utilizada para estimar los daños en los contenidos de las viviendas. Esta se presenta en la **Figura 80**.

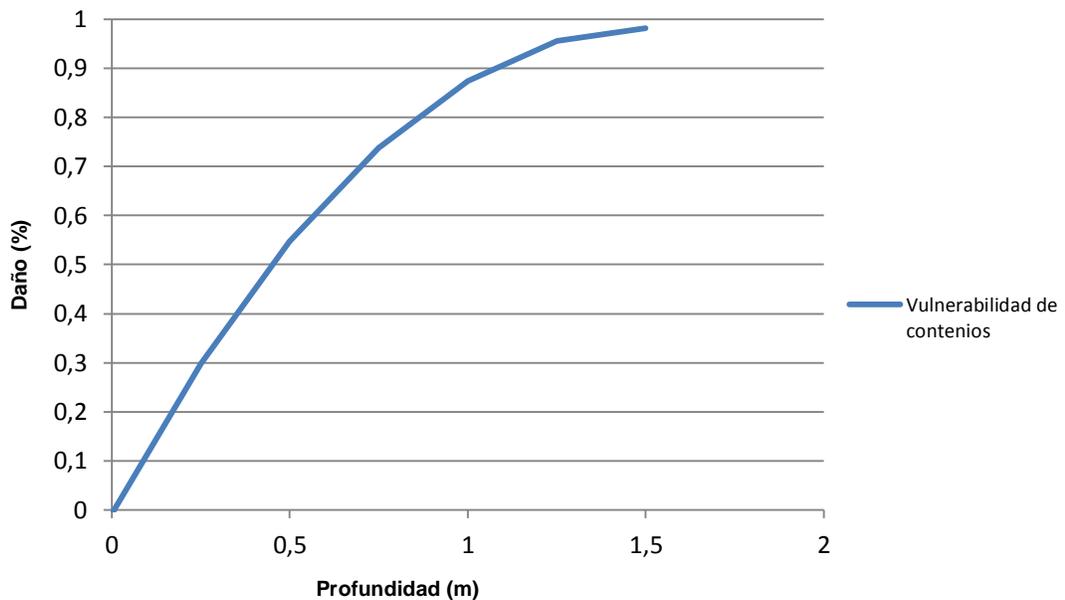


Figura 80. Función de vulnerabilidad de contenidos de una vivienda

Esta función puede expresarse con la siguiente fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad de contenidos} = (0.0092 * X^3) - (0.467) * X^2 + (1.3395 * X) - 0.0074$$

Donde X, representa el valor del tirante en un punto dado.

3.2.2.2 Definición de la función de vulnerabilidad de construcción de una vivienda

Existe en la literatura diferentes curvas de daño por inundación para el componente estructural de una vivienda. A continuación se presentan algunas de ellas:

- **Funciones de vulnerabilidad en Estados Unidos**

El cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos (Davis, S & Skaggs, L, 1992), en 1992 publicó un catálogo de curvas de daño por inundación para diferentes tipologías de vivienda, en diferentes ciudades del país. Este trabajo fue desarrollado partiendo de observaciones de efectos de inundaciones en cada uno de las ciudades, combinado con el criterio experto de los ingenieros.

La evaluación involucro la caracterización de la vivienda en cuanto a su número de pisos incluyendo los sótanos, lo que explica los valores negativos del tirante de agua una vez se grafica la función. Los resultados obtenidos en las gráficas, demuestran que para viviendas de un piso sin sótano para inundaciones que superen los 3 metros alcanzaran daños solo en un valor del al 60 % en la estructura. La siguiente figura muestra la tendencia de la curva.

Percent Damage to Structure Value ONE STORY, NO BASEMENT

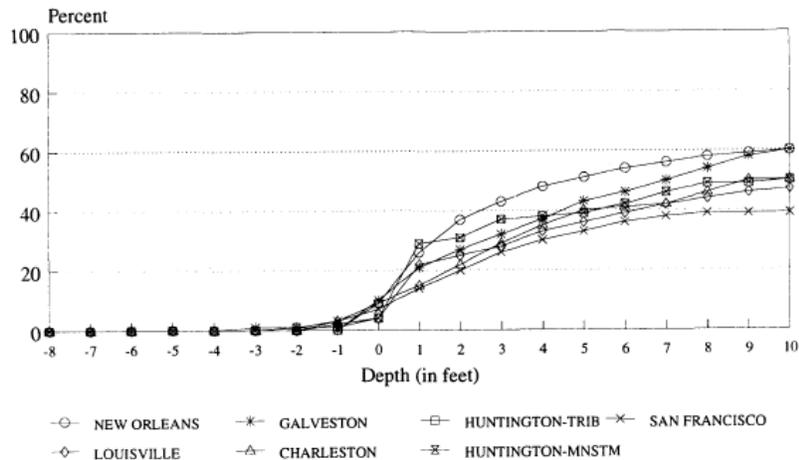


Figura 81. Funciones de vulnerabilidad – USA

En la curva anterior los valores en general no superan el 60%, si se proyectara la función a un tirante de 7 o 8 metros la tendencia no variaría lo que implica que el porcentaje de daño sería constante. En otras palabras según la función no se tendría daño total en la estructura por inundación.

Según el criterio experto local, inundaciones en el sector superiores a 3 metros ocasionarían daños superiores al 60 % pues se considera los efectos de reparación de la construcción. La afectación de un 20% de pared en cuanto a la pintura, implicaría la reparación del 100 % del muro, por lo cual el daño potencial se estima que sea mayor.

- **Funciones de vulnerabilidad en Alemania.**

La comisión internacional para la protección del río Rhine en Alemania desarrollo el Modelo de daño para el Atlas del río Rhine (RAM) por sus siglas en ingles. Las

funciones construidas en el modelo fueron desarrolladas con base en la base de datos alemana de daños por inundación HOWAS. Esta base de datos provee información para entender mejor el comportamiento de los efectos de las inundaciones así como la efectividad de las medidas de mitigación ejecutadas. Los investigadores han utilizado sus datos para describir el comportamiento estructural de las viviendas y otros sectores más, transporte, agricultura e industria frente a las inundaciones. Estos datos permitieron la construcción de funciones de daños las cuales solo contemplan los daños físicos directos y no los intangibles como por ejemplo la vida. La siguiente grafica expresa las funciones desarrolladas en el marco del modelo RAM.

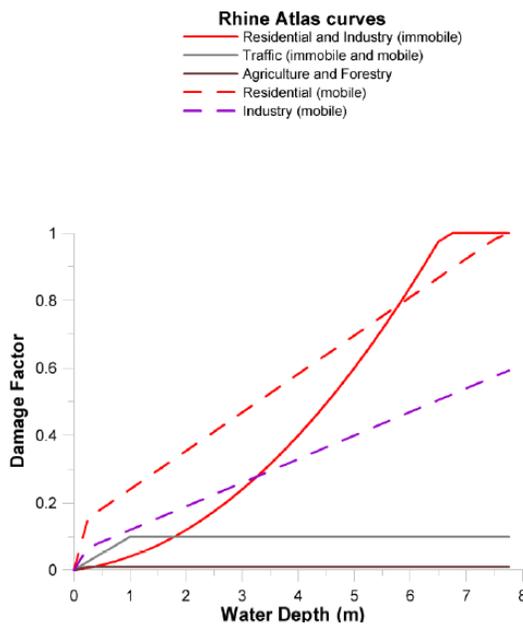
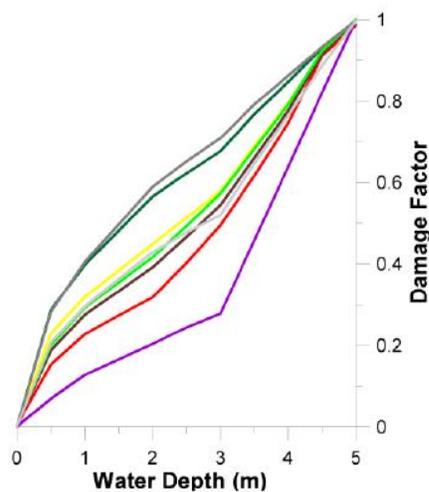


Figura 82. Funciones de vulnerabilidad – ALEMANIA

La **Figura 82** muestra dos tipos de curvas para el componente residencial, en rojo continuo nos muestra una gráfica más conservadora. A diferencia de las gráficas obtenidas por el catálogo de funciones del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, la función de daño residencial del modelo RAM muestra una tendencia de llegar a 100 % de los daños con tirantes de agua superiores a los 6 metros.

El modelo RAM expresa funciones de vulnerabilidad en función de datos recolectados en campo. Sin embargo las funciones de vulnerabilidad también pueden ser construidas a partir de modelos ya establecidos por criterios de expertos, tal es el caso del modelo Damage Scanner Model (DMS), el cual está basado en el software HISSM, este es un software estándar para evaluar los daños por inundación en Holanda. El modelo comprende un total de siete funciones para evaluar los daños potenciales, la siguiente grafica indica las funciones.



Funciones del modelo DMS

Figura 83. Funciones de vulnerabilidad del modelo DMS

El modelo DMS liga los mapas de uso de suelo con información del tirante de agua para calcular las funciones. Uno de los problemas de incluir dichas funciones es el hecho de que el modelo considera además en un 5% daños indirectos, como lo son, los costos de cubrir la emergencia y la interrupción del tráfico, dentro de la construcción de las funciones. El modelo propuesto en el marco de este Estudio tendrá en cuenta dichos elementos pero por separado.

• **Funciones de vulnerabilidad en España**

Igual que en los otros países, en España existen un sin número de funciones de vulnerabilidad por inundación desarrolladas con la utilización de bases de datos y definidas por criterio experto. Un modelo de función de vulnerabilidad por inundación más reciente es el establecido en el estudio “Modelación hidráulica y análisis de riesgo de inundación según las líneas guía de la Directiva Marco del Agua”, llevado a cabo por una variedad de instituciones como Hidrogaia, Idrologia e Ambiente, el instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Confederación hidrográfica del Júcar y Ingeniería y Promoción Bellver en el 2011.

La función de vulnerabilidad elaborada considera los daños directos ocasionados por el tirante de agua según el uso de suelo establecido. Las curvas iniciales fueron construidas con base en el criterio experto así como los datos suministrados por el Consorcio de Compensación de Seguros, el estudio del programa Europeo Interreg IIIB Medocc para el cálculo de daños producidos por grandes catástrofes. El resultado final de la curva fue calibrado con los datos de los efectos del desbordamiento del río Girona en octubre de 2007. La función resultante se presenta a continuación:

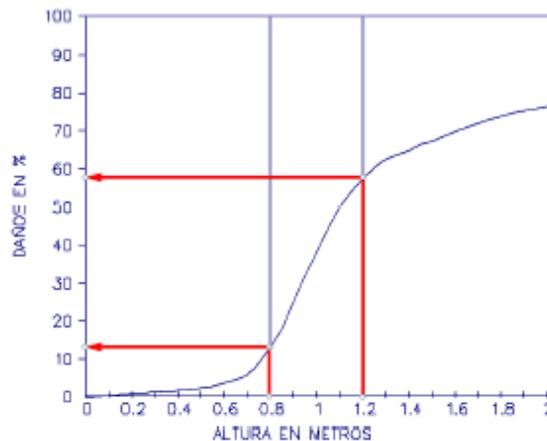


Figura 84. Funciones de vulnerabilidad - España

El problema que se presenta en esta curva es el que no hace una separación entre la estructura y los bienes muebles que se encuentra dentro de ella. Por lo

que no la hace compatible con el proceso metodológico que se plantea en este estudio.

Es importante resaltar con estos ejemplos de curvas, como varía la curva de daño para una vivienda por inundación en relación a las metodologías utilizadas y la variabilidad de los datos, expresados en la cantidad de muestras, los componentes de la vivienda evaluada así como, la tipología de la inundación. En ese sentido, cada curva desarrollada en cualquier lugar va a manejar un valor de incertidumbre, que de acuerdo con (Bubeck, P., de Moel, H., Bouwer, L. M., and Aerts, J. C. J. H, 2011) solo pueden ser disminuido en la medida que se realicen investigaciones sobre los efectos de las inundaciones en los elementos expuestos y similares, así como la integración de más variables que influyan en la función de daño.

Al no contar con información disponible que nos permitiera realizar una aproximación de la función de daño para la zona de estudio, se realizó una búsqueda de funciones de daño para el componente estructural de la vivienda. Como se menciona anteriormente, se encontraron un sin número de funciones desarrolladas en diferentes lugares con diferentes conceptos. Para poder seleccionar la función que más se aproximara a los criterios establecidos y basándonos en el criterio experto, se seleccionó un conjunto de funciones, las cuales fueron analizadas.

Se utilizaron funciones de España, Estados Unidos y Alemania. En la siguiente grafica se ven las diferencias.

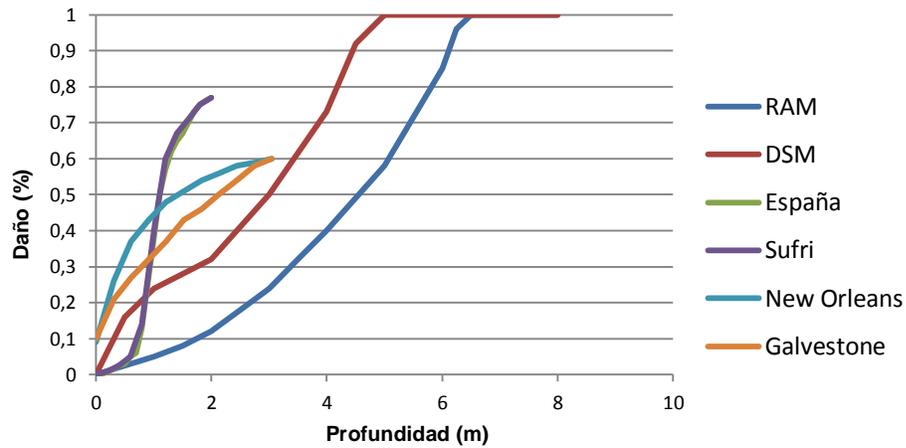


Figura 85. Funciones de vulnerabilidad varios países

El resultado preliminar de las seis gráficas, nos indica la gran diferencia que hay en la tendencia que cada una maneja. Las curvas RAM y DSM son funciones de daño alemanas, las curvas de España (Bussi, G., Ortiz, E., Francés, F., Pujol, L., Gabaldón, R., Guna|, V., Bellver, V., Sempere, J) y SEGURÍ son funciones desarrolladas en España y las curvas de New Orleans y Galvestone son funciones desarrolladas con datos en los Estados Unidos.

Las seis funciones fueron analizadas y con base en el criterio experto, se propuso una función “Sintética” al no contar con datos de campo.

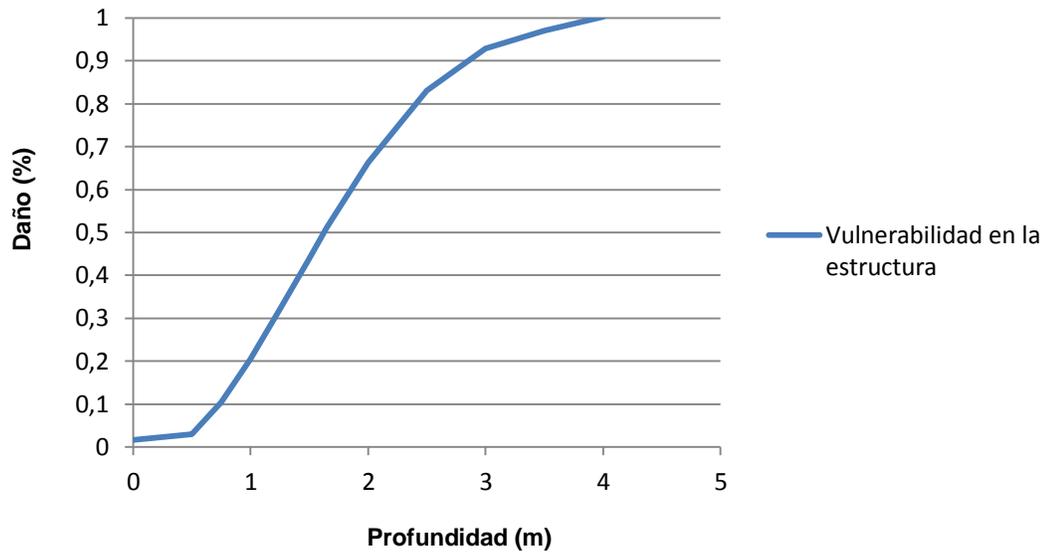


Figura 86. Función de vulnerabilidad de la estructura de viviendas

La función que representa esta curva está dada por:

$$\text{Vulnerabilidad} = 0,0194x^4 - 0,1935x^3 + 0,5793x^2 - 0,2165x + 0,0167$$

Donde X representa el tirante de agua.

De esta manera se construyó una función para realizar el análisis. Las incertidumbres que pueda tener podrán ser ajustadas en la medida que se tengan datos de campo.

- **Sector salud, educación, servicios públicos, agricultura**

Para los elementos evaluados, hospitales, centros educativos, infraestructura de EMCALI e agricultura, se utilizaron funciones de vulnerabilidad gruesa, es decir, que involucran tanto el contenido como la infraestructura, puesto que no se disponían de datos precisos para estimar una función por contenidos. Las siguientes funciones fueron tomadas del modelo HISSSM V 2.0 (Huizinga, H.J., Dijkman, M., Barendregt, A, Waterman, R. 2004), este es un software estándar para evaluar la vulnerabilidad de edificaciones y algunas variables económicas

frente a inundaciones, es uno de los más utilizados en Holanda. Las curvas utilizadas se adaptaron a nuestro entorno, por lo cual se resalta la necesidad de utilizar datos de campo en estudios futuros para poder ajustarlas. A continuación se presentan las funciones para estos elementos.

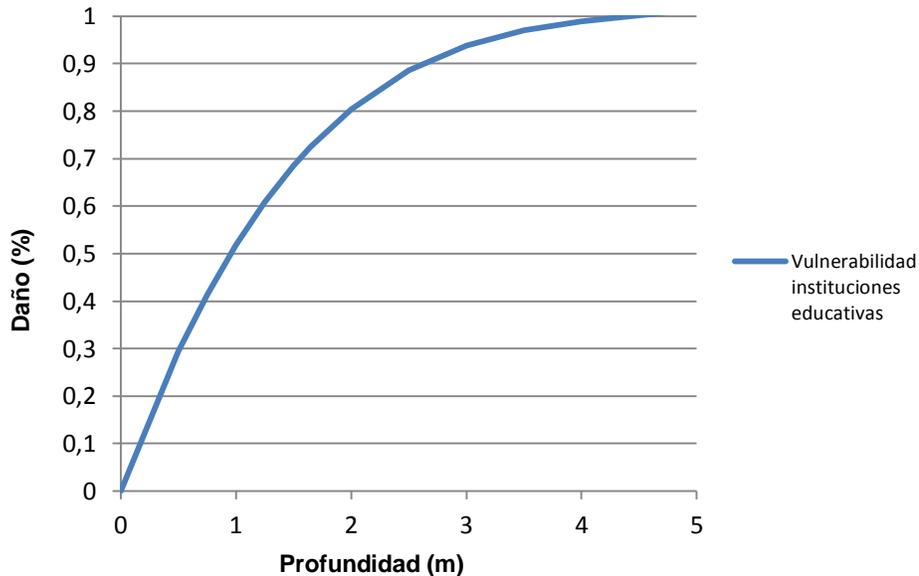


Figura 87. Función de vulnerabilidad de instituciones educativas

La función que representa esta curva está dada por:

$$\text{Vulnerabilidad} = -0,0004x^4 + 0,0155x^3 - 0,1593x^2 + 0,6619x + 0,0004$$

Donde X representa el tirante de agua.

La función expresa el daño potencial por tirante de agua que puede tener una escuela promedio en el sector de agua blanca, teniendo en cuenta su estructura y contenidos. Es preciso mencionar que se hace necesario ajustar estas curvas con datos tomados en campo para lograr su calibración.

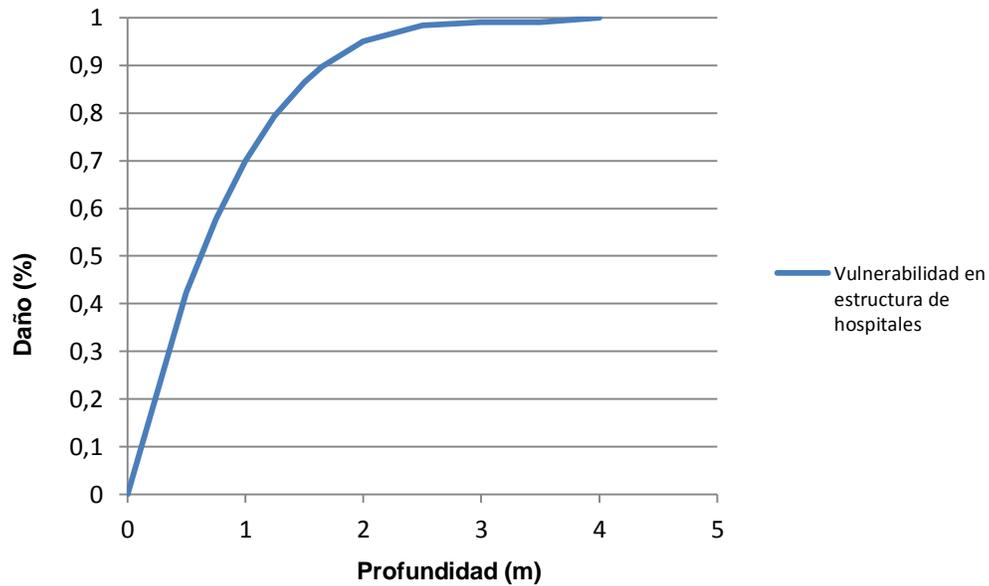


Figura 88. Función de vulnerabilidad en la estructura de hospitales

La función que representa esta curva está dada por:

$$\text{Vulnerabilidad} = -0,0025x^4 + 0,055x^3 - 0,3725x^2 + 1,02x - 4E-12$$

Donde X representa el tirante de agua.

Esta función representa los posibles daños generados por el tirante de agua tanto en estructura como en contenido. Al ser esta una función genérica se resalta la importancia de calibrarla con datos de campo, así como la elaboración de una función independiente para su contenido.

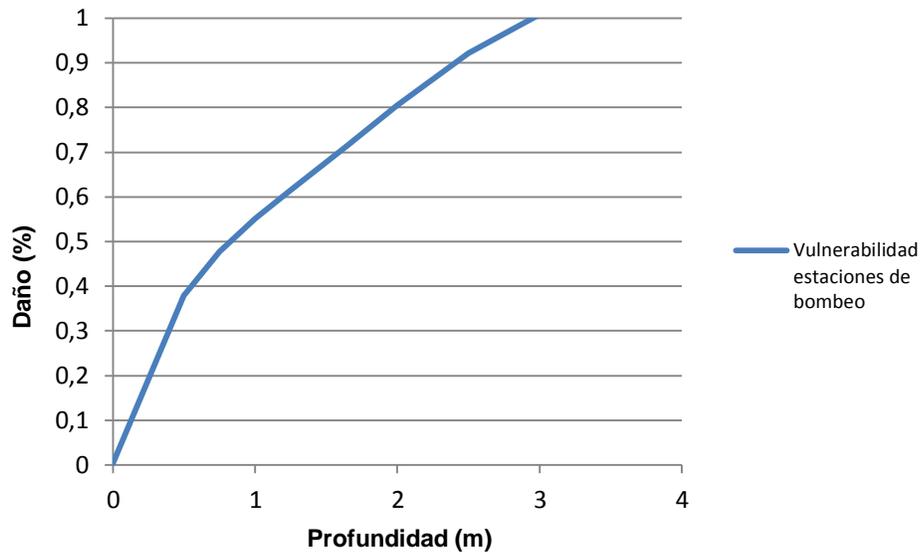


Figura 89. Función de vulnerabilidad de estaciones de bombeo

La función que representa esta curva está dada por:

$$Vulnerabilidad = -0,0013x^6 + 0,0248 x^5 - 0,1767 x^4 + 0,5978 x^3 - 1,0347 x^2 + 1,1363x + 0,0047$$

Donde X representa el tirante de agua.

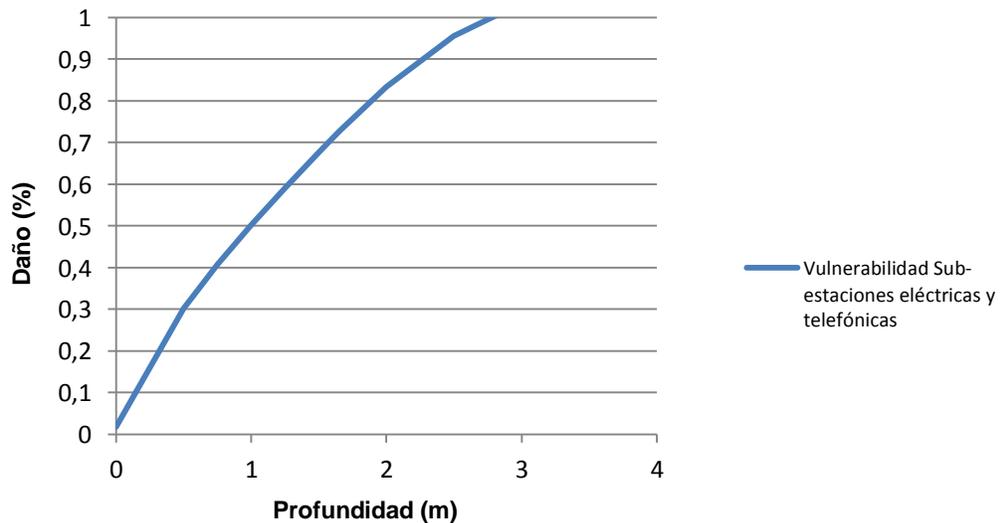


Figura 90. Función de vulnerabilidad de sub-estaciones eléctricas y telefónicas

La función que representa esta curva está dada por:

$$\text{Vulnerabilidad} = -0,0009x^6 + 0,0161 x^5 - 0,1027 x^4 + 0,2986 x^3 - 0,4668 x^2 + 0,7394x + 0,0178$$

Donde X representa el tirante de agua.

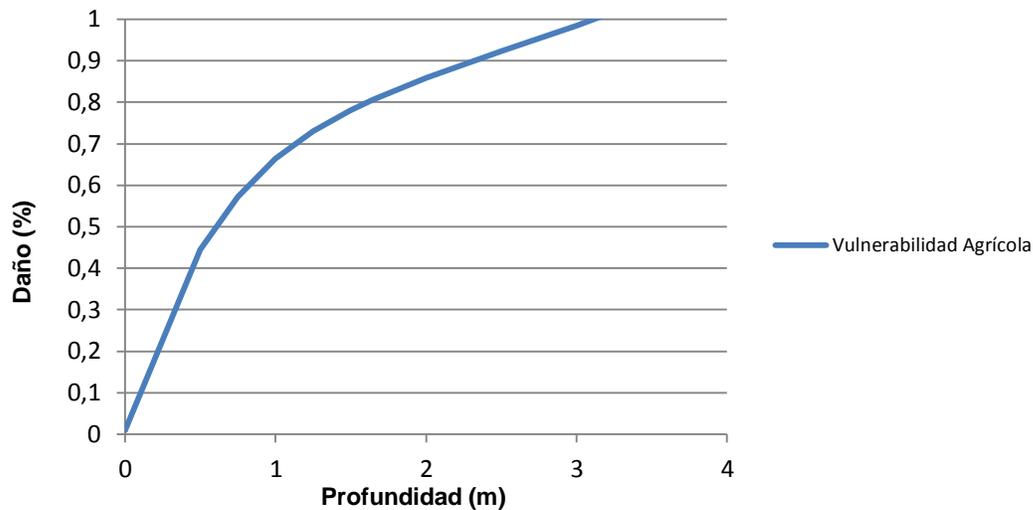


Figura 91. Función de vulnerabilidad de áreas agrícolas

La función que representa esta curva está dada por:

$$\text{Vulnerabilidad} = -0,0003x^6 + 0,0078 x^5 - 0,0707 x^4 + 0,3212 x^3 - 0,8058 x^2 + 1,202x + 0,0093$$

Donde X representa el tirante de agua.

El uso de estas variables genéricas permite tener un acercamiento de las condiciones actuales de la vulnerabilidad en cada uno de los sectores. Estas funciones son muy utilizadas en casos donde no se posee con información suficiente del elemento a evaluar. Los resultados obtenidos en la utilización de estas funciones permiten a los tomadores de decisiones tener un punto de partida para definir acciones encaminadas a la reducción de la vulnerabilidad.

En las siguientes Figuras se presentan los resultados de la aplicación de las funciones de vulnerabilidad para la estimación de daños en viviendas (construcción y contenidos).

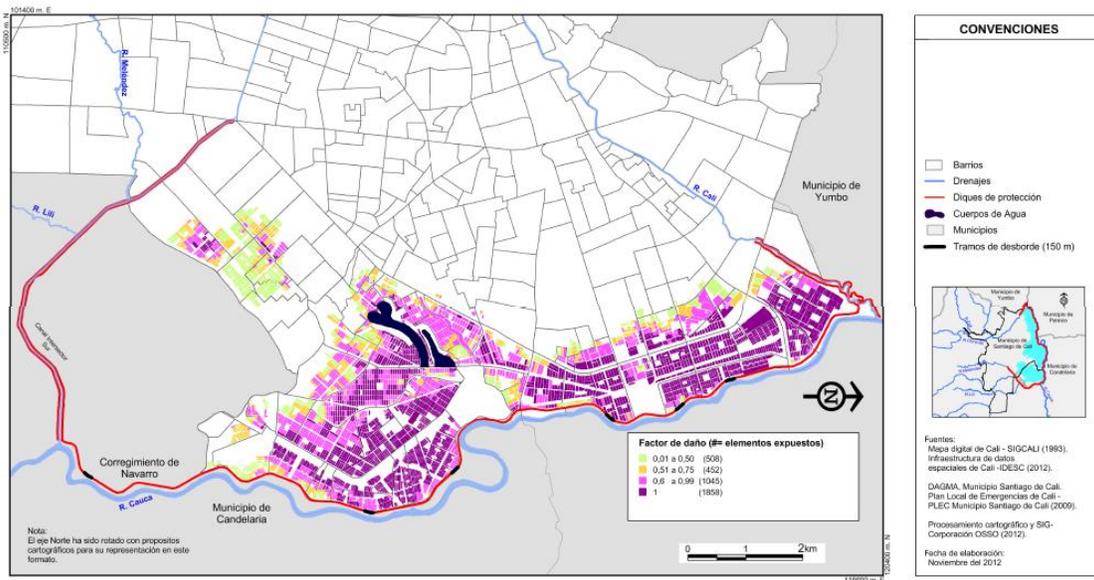


Figura 92. Vulnerabilidad en contenidos de viviendas para TR 100 años

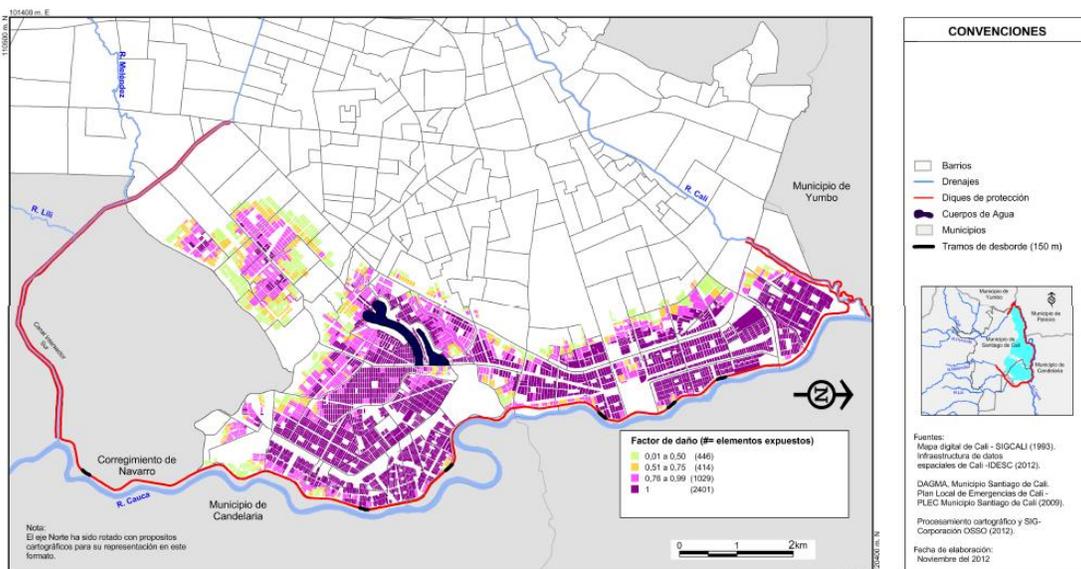


Figura 93. Vulnerabilidad en contenidos de viviendas para TR 250 años

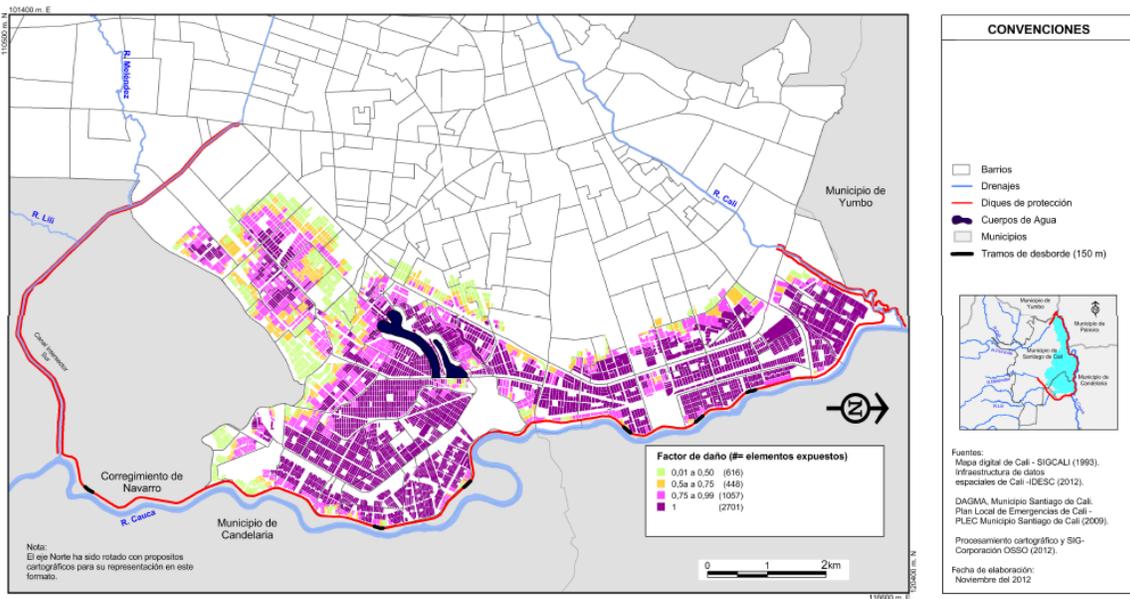


Figura 94. Vulnerabilidad en contenidos de viviendas para TR 500 años

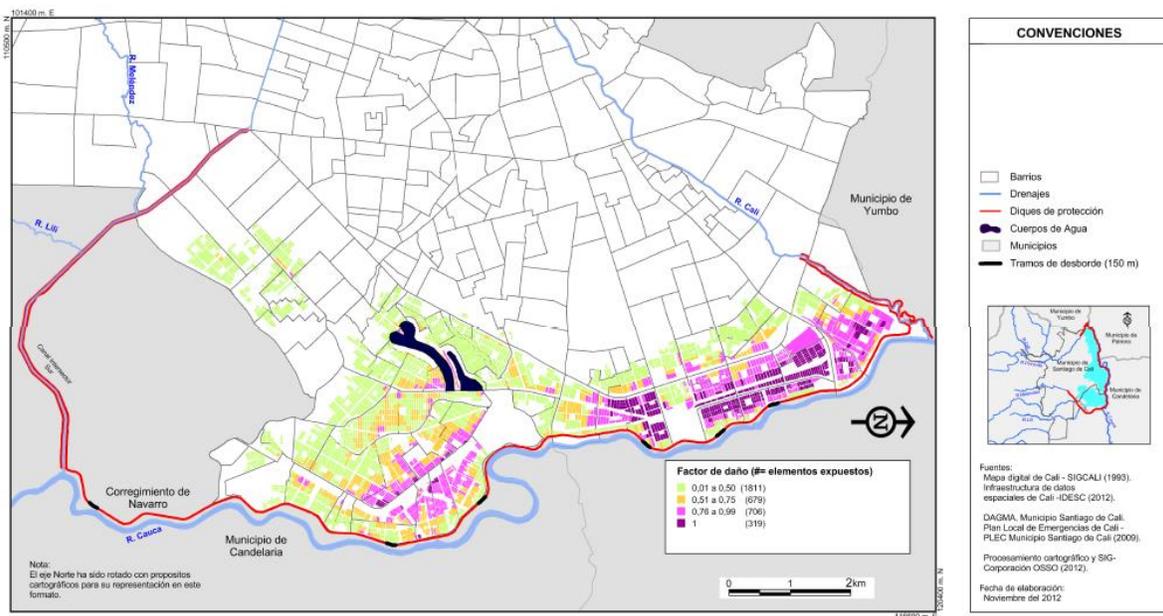


Figura 95. Vulnerabilidad en la construcción en viviendas para TR 100 años

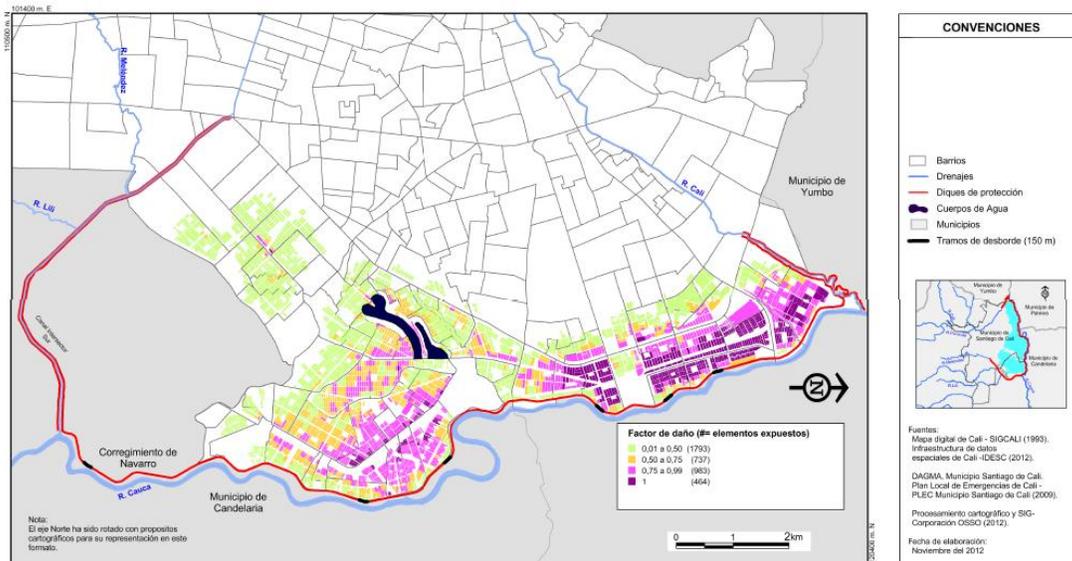


Figura 96. Vulnerabilidad en la construcción en viviendas para TR 250 años

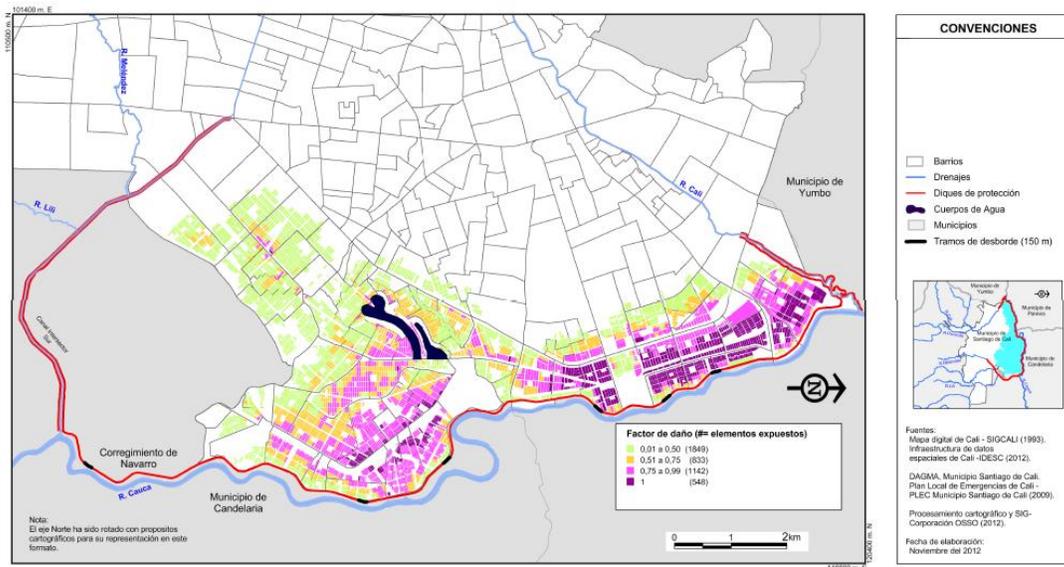


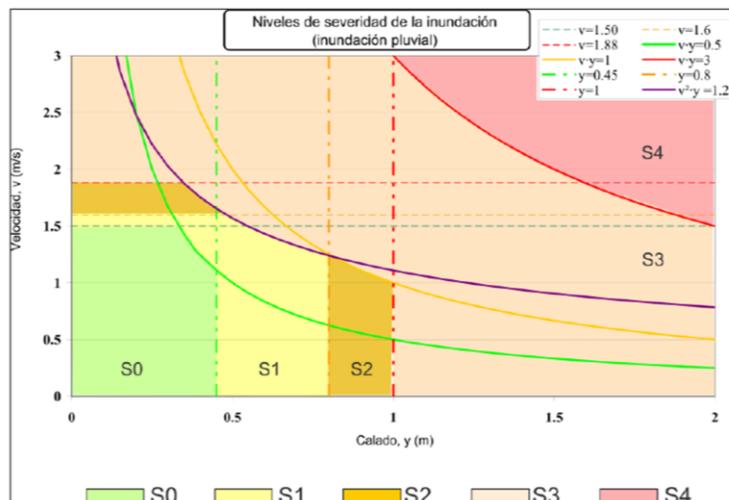
Figura 97. Vulnerabilidad en la construcción en viviendas para TR 500 años

3.3.3 Análisis de vulnerabilidad viviendas sobre los diques río Cauca, Floralia y río Cali

Otro parámetro a partir del cual se puede valorar el grado de daño generado por inundaciones, es la velocidad del flujo de agua. Por lo general este parámetro puede también ser utilizado en combinación con el tirante de agua para estimar los efectos de estabilidad sobre las personas y las cosas (Ver **Tabla 39** y **Figura 98**)²⁵.

Tabla 42. Niveles de severidad de inundaciones por nivel y velocidad de agua

| Nivel de severidad (S) | Calado y(m) | Velocidad v(m/s) | Parámetro Vuelco v·y (m ² /s) | Parámetro Deslizamiento v ² ·y (m ³ /s ²) | |
|------------------------|--|------------------|--|---|-------|
| S0 | No se esperan víctimas | <0.45 | <1.50 | <0.50 | <1.23 |
| S1 | <i>Severidad leve.</i> Peatones pueden sufrir pérdida de estabilidad y dificultades para caminar. | <0.80 | <1.60 | <1.00 | <1.23 |
| S2 | <i>Severidad media.</i> Significativas pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia. | <1.00 | <1.88 | <1.00 | <1.23 |
| S3 | <i>Severidad elevada.</i> Alto riesgo para personas situadas en el exterior. Arrastre de vehículos. | >1.00 | >1.88 | >1.00 | >1.23 |
| S4 | <i>Severidad extrema.</i> Daños estructurales a edificios. | >1.00 | >1.88 | >3.00 | >1.23 |



²⁵ Fuente: Tomado de: Escuder; Matheu; Castillo; (2010) en Análisis y evaluación de riesgos de inundación: estimación del impacto de medidas estructurales y no estructurales – Proyecto SUFRI

Figura 98. Concepto básico de una función de vulnerabilidad frente a inundaciones

Teniendo en cuenta lo anterior y dada la necesidad de valorar la vulnerabilidad de las viviendas y población asentada sobre el dique Río Cauca, a continuación se presenta los resultados obtenidos del análisis del parámetro de velocidad de flujo vs tirante de agua.

Con base en el inventario de predios y personas suministrado por el Consejo Territorial Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres del municipio, generado por el proyecto “Verificación y actualización Estado Habitacional Población Jarillón Río Cauca – Zona de Contención y Afluentes” presentado en el mes de julio de 2012, se realizó una zonificación por sectores tal como están definidos en las bases de datos del mismo proyecto.

El mapa original en formato DWG y las bases de datos del inventario suministradas en Excel, definen un total de 2673 predios verificados (para efectos de este estudio se denomina predios a cada una de las unidades espaciales reconocidas en campo por el proyecto mencionado), 14776 personas relacionadas con dichos predios y 12 sectores sociales a lo largo de los diques de protección (Ver Tabla 43).

Tabla 43. Predios y personas verificadas por sector en los diques de protección

| SECTORES JARILLON RIO CAUCA | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| SECTOR | Verificaciones | PERSONAS |
| BRISAS DEL CAUCA | 508 | 3300 |
| CINTA LARGA | 105 | 420 |
| COMFENALCO | 181 | 900 |
| FLORALIA | 301 | 1790 |
| LA PLAYITA | 247 | 1495 |
| LAS PALMAS | 33 | 187 |

| | | |
|--------------|------|-------|
| LAS VEGAS | 130 | 806 |
| NAVARRO | 436 | 1793 |
| PUERTO NUEVO | 256 | 1546 |
| RIO CALI | 226 | 1016 |
| SAMANES | 103 | 552 |
| VENECIA | 147 | 971 |
| TOTAL | 2673 | 14776 |

Para poder realizar los análisis de riesgo, el mapa en formato DXG fue incorporado a las bases de datos espaciales generadas por el proyecto en herramientas de SIG. Dicha integración mostró que las unidades espaciales del inventario, suman un total de 2703; de estos, 2607 se encuentran localizados en la cara húmeda de los diques de protección y 96 sobre la corona. En cuanto a los 12 sectores que aparecen reportados en las bases de datos, solo 8 de ellos se pudieron identificar en la cartografía.

Se generó una capa de datos con 10 zonas a partir de la sectorización social que aparece en las bases de datos, teniendo como referencia espacial de apoyo una ortofoto digital del año 2009 elaborada por el IGAC y suministrada al proyecto por el Fondo de Adaptación (Ver Figura 99).

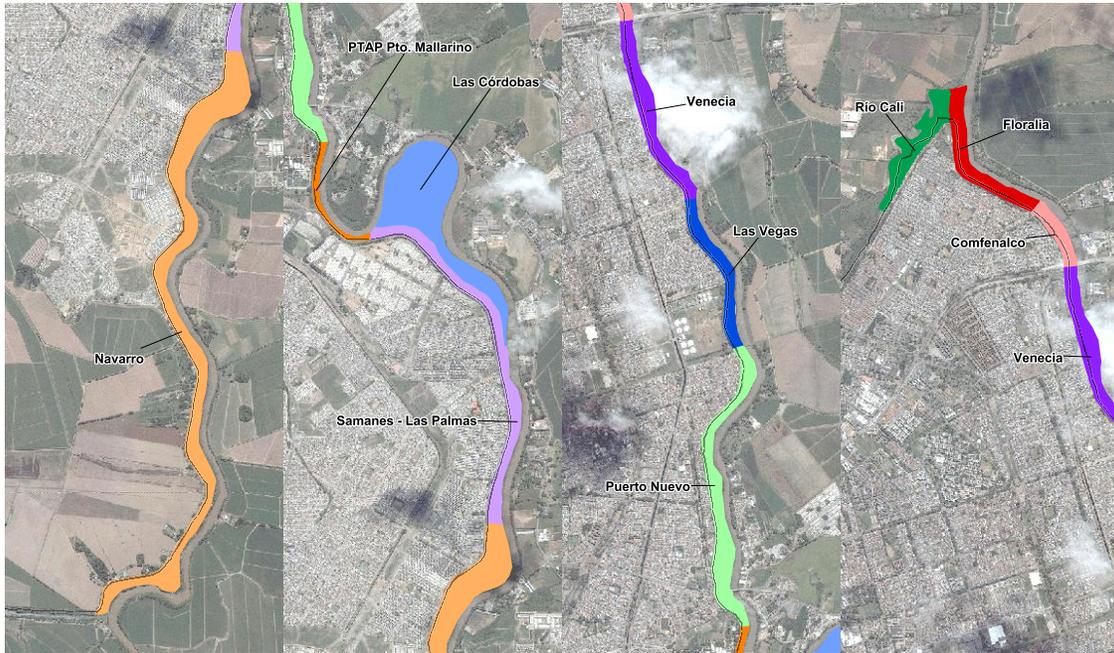


Figura 99. Imágenes con la sectorización para análisis de vulnerabilidad

Para cada sector digitalizado se calculó el tirante promedio de agua y la velocidad del flujo máxima de agua para los tres periodos de retorno. A continuación, estos indicadores de vulnerabilidad son transferidos a cada predio del inventario para calcular la vulnerabilidad y el riesgo (ver Tabla 44).

Tabla 44. Zonas para análisis de la vulnerabilidad

| Zona | Dique | Tirante Tr100 (m) | Tirante Tr250 (m) | Tirante Tr500 (m) | Velocidad Tr100 (m/s) | Velocidad Tr250 (m/s) | Velocidad Tr500 (m/s) |
|----------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| PTAP Pto. Mallarino | Aguablanca | 3.83 | 3.72 | 3.67 | 1.89 | 1.89 | 1.95 |
| Navarro | Aguablanca | 1.16 | 1.14 | 1.17 | 1.56 | 1.59 | 1.60 |
| Samanes - Las Palmas | Aguablanca | 3.66 | 3.65 | 3.67 | 2.06 | 1.46 | 1.73 |
| Las Córdoba | Aguablanca | 3.66 | 3.65 | 3.67 | 1.34 | 1.40 | 1.42 |
| Floralia | Aguablanca | 5.03 | 4.95 | 4.88 | 1.46 | 1.35 | 1.13 |
| Comfenalco | Aguablanca | 4.24 | 4.48 | 4.60 | 1.47 | 1.36 | 1.15 |
| Venecia | Aguablanca | 4.05 | 3.86 | 3.80 | 2.08 | 2.14 | 1.77 |
| Las Vegas | Aguablanca | 3.68 | 3.67 | 3.43 | 1.55 | 1.51 | 1.48 |
| Puerto Nuevo | Aguablanca | 4.19 | 4.38 | 4.46 | 1.69 | 1.71 | 1.76 |
| Río Cali | Río Cali | 2.75 | 2.05 | 1.53 | 1.05 | 0.97 | 0.82 |

Debido a la cercanía de las viviendas existentes en dichos predios al río Cauca, para el cálculo de vulnerabilidad se tuvo en cuenta la velocidad y el tirante de agua, a diferencia de los cálculos realizados para los elementos expuestos en el área urbana inundable en los cuales solo se incluyó el tirante de agua.

A partir de la literatura consultada, se tomó como referencia aplicable a la zona de estudio la metodología SUFRI presentada anteriormente, que establece cinco niveles de daño o severidad teniendo en cuenta los efectos combinados que sobre estructuras y personas tienen la velocidad del flujo y el tirante de agua, denominada en dicha metodología como Parámetro de vuelco (m^2/s), el cual corresponde al producto entre el tirante (m) y la velocidad del flujo (m/s).

El análisis realizado muestra que en los tres escenarios (Tr100, Tr250 y Tr500) se producirán daños severos a extremos en las estructuras que se encuentran en los diques de protección, producto de las velocidades y tirantes que se presentaran cerca al río Cauca y sobre la cara húmeda y corona de los diques. Los sectores donde se podrían presentar daños extremos se localizan en la parte media y norte del jarillón Aguablanca y el jarillón de Floralia, mientras que se esperan daños severos en la porción sur del jarillón Aguablanca y sobre el jarillón del río Cali.

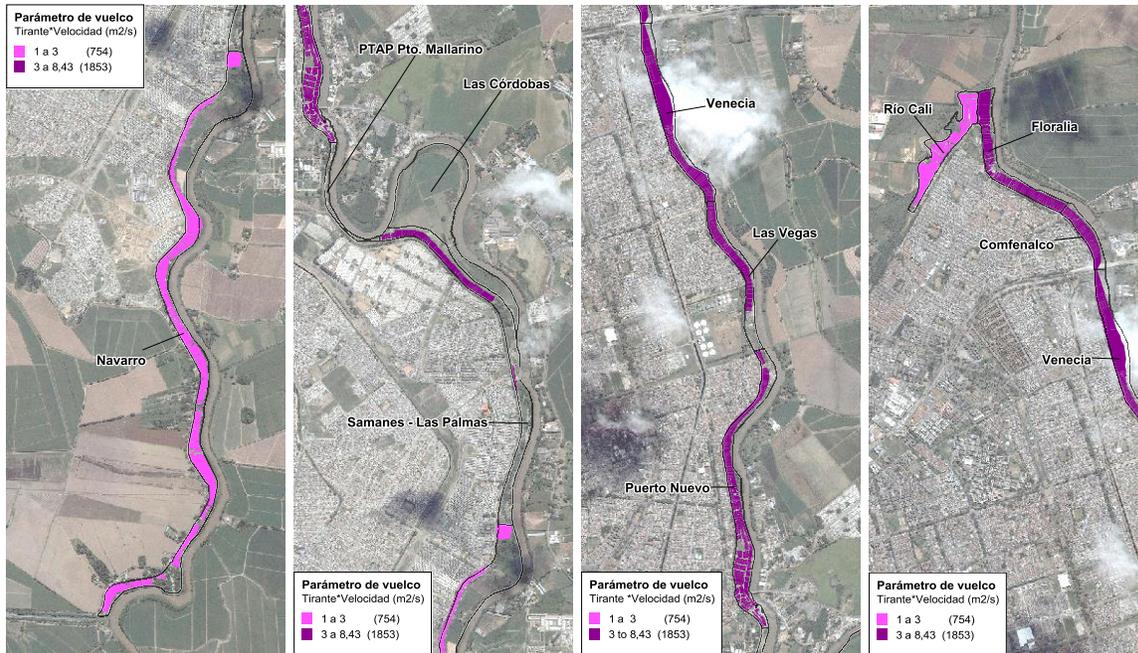


Figura 100. Imágenes con la estimación de daños

Imágenes con los resultados de estimación de daños a partir de tirante y velocidad del agua para el escenario Tr100. Los escenarios Tr250 y Tr500 muestran la misma distribución de daños.

3.3 ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

En este Estudio, la estimación del riesgo es definido como el **cálculo anticipado de pérdidas**, las cuales son definidas a partir del cruce de los escenarios de amenaza por inundación para cada uno de los periodos de retorno (Tr100, Tr250, Tr500) y los porcentajes de daño los elementos expuestos considerados obtenidos de las funciones de vulnerabilidad que describen cada uno ellos.

Una vez definidos los escenarios de amenaza por inundación asociado al desbordamiento del río en los puntos más bajos del dique río Cauca de en seis (6) tramos de 150 m cada uno, se estimó la vulnerabilidad de los elementos expuestos a partir de la definición de los porcentajes de daños esperados, en función del tirante de inundación, tanto para el área de la llanura de inundación

histórica del río Cauca, como para los elementos asentados (vivienda e infraestructura de servicios públicos).

Para la estimación de las pérdidas sobre la estructura del dique se utilizó la combinación de parámetros tirante vs velocidad del flujo. Los porcentajes de daño leídos de las funciones de vulnerabilidad representan en primera instancia la inversión (en porcentaje del valor total de los bienes) que se requeriría para realizar su reparación, reconstrucción o rehabilitación y en segunda instancia el costo pérdidas económicas en miles de millones de pesos. Las pérdidas estimadas por el Estudio consideraron pérdidas directas, indirectas y transitorias, para cada uno de los periodos de retorno considerado.

3.3.1 Estimación de pérdidas directas

Las pérdidas directas en este Estudio se definen como todas aquellas que se pueden producir en el componente físico de elementos considerados.

Para la valoración de pérdidas en el sector vivienda y población, al no contar información predial, se utilizó el nivel de manzana residencial como escala de representación de las pérdidas económicas. A cada una de estas manzanas se le asignó un valor de estrato moda y en relación a ese estrato se asignó un valor de lo construido por metro cuadrado. Se consideró entonces que el valor de metro cuadrado por estrato es:

- Estrato 1: 450.000
- Estrato 2 : 450.000
- Estrato 3: 850.000

De tal manera que el valor de una manzana se estima:

$$\text{Valor Manzana} = (\text{Área Manzana} \times (0,70)) \times \text{Valor Metro Cuadrado}$$

Se supone que el 70% de la manzana está construida, el resto son patios y antejardines.

El costo de los contenidos de las viviendas a nivel de manzana se asignó por estrato socioeconómico, teniendo en cuenta los elementos identificados como típicos para cada uno de ellos y el valor del precio de los mismos en el mercado, teniendo en cuenta el contexto particular de acceso de bienes y servicios a que tienen acceso. En la Tabla 45 se presentan estos valores.

Tabla 45. Valores de los contenidos por Estrato

| Menaje | Estrato 1 | | | Estrato 2 | | | Estrato 3 | | |
|------------------|-----------|-------------------------------|------------------|-----------|-------------------------------|------------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| | Und | Valor Comercial Promedio (\$) | Valor Total (\$) | Und | Valor Comercial Promedio (\$) | Valor Total (\$) | Und | Valor Comercial Promedio (\$) | Valor Total (\$) |
| Cama | 2 | 150.000 | 300.000 | 2 | 200.000 | 400.000 | 3 | 250.000 | 750.000 |
| Juego de sala | 1 | 400.000 | 400.000 | 1 | 550.000 | 550.000 | 1 | 650.000 | 650.000 |
| Comedor | 1 | 250.000 | 250.000 | 1 | 350.000 | 350.000 | 1 | 500.000 | 500.000 |
| Estufa | 1 | 60.000 | 60.000 | 1 | 120.000 | 120.000 | 1 | 350.000 | 350.000 |
| Nevera | 1 | 800.000 | 800.000 | 1 | 800.000 | 800.000 | 1 | 1.000.000 | 1.000.000 |
| Tv | 1 | 250.000 | 250.000 | 1 | 400.000 | 400.000 | 1 | 500.000 | 500.000 |
| Equipo de Sonido | 1 | 350.000 | 350.000 | 1 | 500.000 | 500.000 | 1 | 600.000 | 600.000 |
| Lavadora | 1 | 500.000 | 500.000 | 1 | 500.000 | 500.000 | 1 | 800.000 | 800.000 |
| Computador | - | - | - | 1 | 1.100.000 | 1.100.000 | 1 | 1.100.000 | 1.100.000 |
| Motocicleta | - | - | - | - | - | - | 1 | 1.700.000 | 1.700.000 |
| Horno Microondas | - | - | - | - | - | - | 1 | 100.000 | 100.000 |
| | | Total | 2.910.000 | | Total | 4.720.000 | | Total | 8.050.000 |

Para poder tener un estimativo del valor de los contenidos por metro cuadrado se aplicó las siguientes funciones.

- Valor de contenido por barrio VB = Contenido por estrato x número de manzanas.
- Valor por metro cuadrado= VB / área construida

En las siguientes figuras se presenta los resultados de la estimación de pérdidas en el sector vivienda y población representada a nivel de manzana tanto para la construcción como para los contenidos de las viviendas.

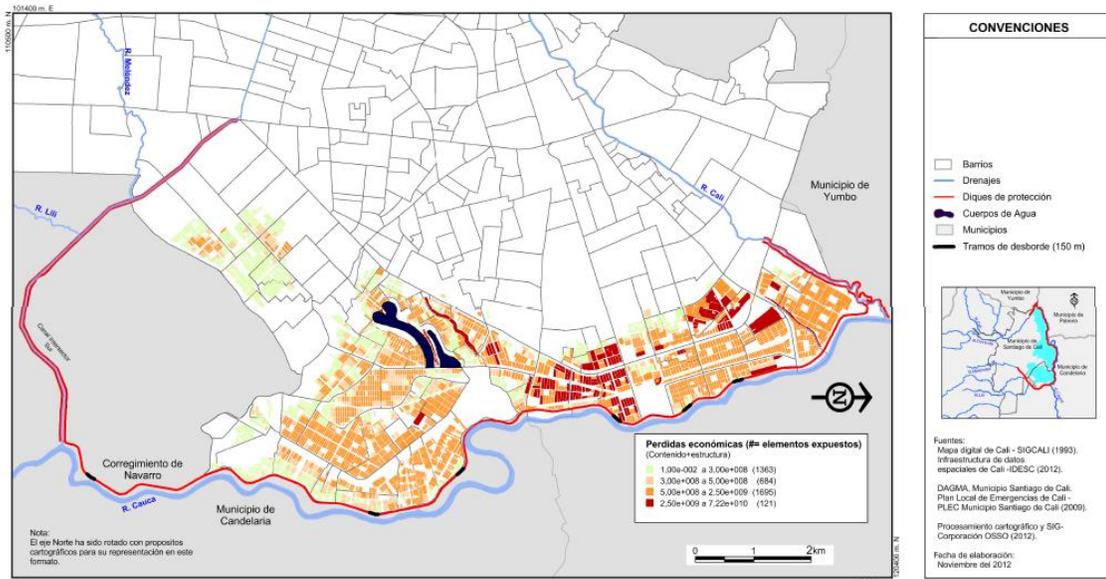


Figura 101. Perdidas en viviendas por manzana para TR 100 años

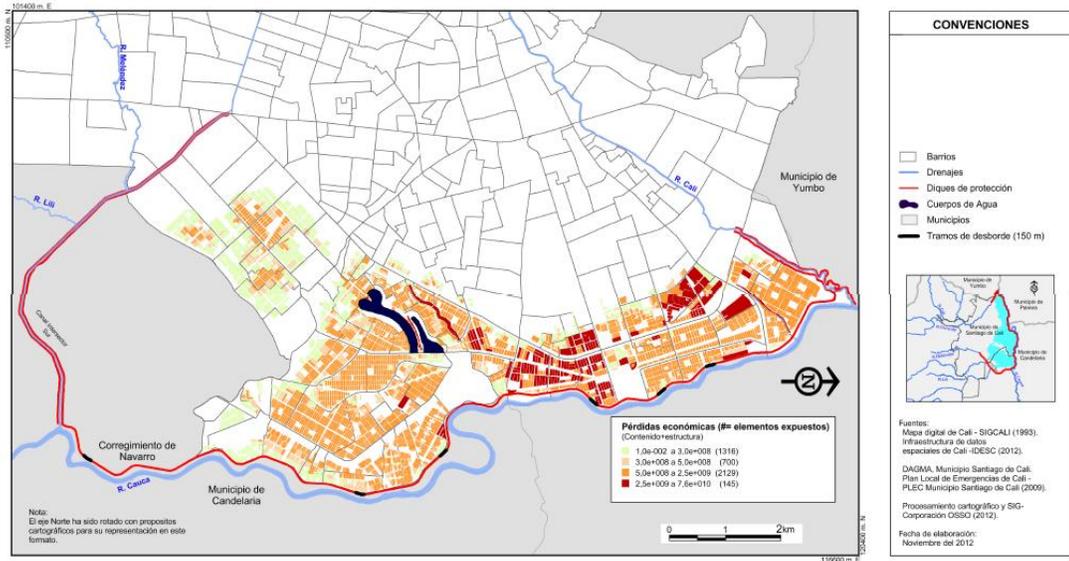


Figura 102. Pérdidas en viviendas por manzana para TR 250 años

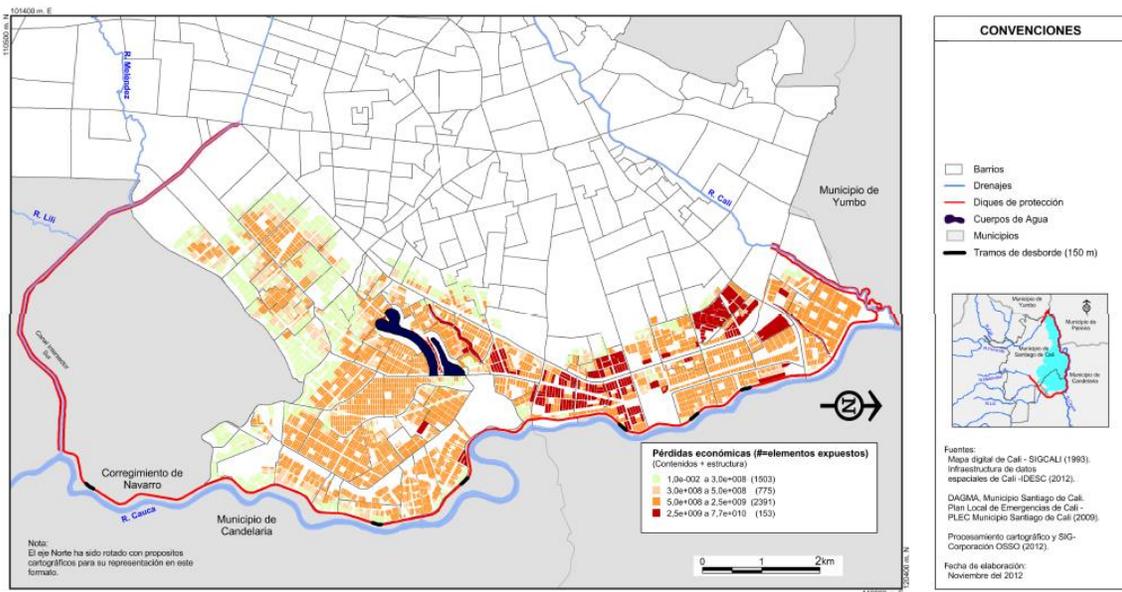


Figura 103. Pérdidas en viviendas por manzana para TR 500 años

La estimación de pérdidas de las instalaciones educativas se obtuvo a partir de la localización y medición de áreas construidas, obtenidas del Geovisor del IDES, logrando una muestra de alrededor del 39% del total las áreas en la zona de Estudio, como se muestra en la Tabla 46. En aras de establecer un área promedio

de la infraestructura educativa, se calculan los percentiles 25, 50, 75 y 90 de la distribución de datos, (véase Tabla 47)

Tabla 46. Áreas aproximadas de instituciones educativas

| Número Instituciones | Área (m²) | Número Instituciones | Área (m²) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 60,2 | 38 | 1009,49 |
| 2 | 76,5 | 39 | 116,17 |
| 3 | 128,51 | 40 | 101,17 |
| 4 | 222,44 | 41 | 101,83 |
| 5 | 2095,64 | 42 | 1154,49 |
| 6 | 164,58 | 43 | 80,78 |
| 7 | 76,1 | 44 | 104,35 |
| 8 | 78,4 | 45 | 2129,32 |
| 9 | 52,79 | 46 | 139,63 |
| 10 | 44,53 | 47 | 90,24 |
| 11 | 153,16 | 48 | 52,61 |
| 12 | 95,54 | 49 | 94,58 |
| 13 | 125,88 | 50 | 1015,46 |
| 14 | 106,43 | 51 | 110,14 |
| 15 | 137,9 | 52 | 99,18 |
| 16 | 108,08 | 53 | 134,5 |
| 17 | 125,19 | 54 | 127,99 |
| 18 | 135,88 | 55 | 83,84 |
| 19 | 96,91 | 56 | 1822,97 |
| 20 | 308,81 | 57 | 96,57 |
| 21 | 186,53 | 58 | 105,02 |
| 22 | 134,73 | 59 | 101,31 |
| 23 | 202,12 | 60 | 66,51 |
| 24 | 203,19 | 61 | 77,06 |
| 25 | 257,02 | 62 | 109,2 |
| 26 | 6441 | 63 | 103,69 |
| 27 | 133,97 | 64 | 75,79 |
| 28 | 584,97 | 65 | 68,38 |
| 29 | 138,21 | 66 | 85,71 |
| 30 | 119 | 67 | 232,22 |
| 31 | 145,93 | 68 | 116,86 |
| 32 | 129,75 | 69 | 80,41 |

| Número Instituciones | Área (m²) | Número Instituciones | Área (m²) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 33 | 105,33 | 70 | 88,84 |
| 34 | 164,27 | 71 | 134,78 |
| 35 | 70,73 | 72 | 124,84 |
| 36 | 222,14 | 73 | 233,65 |
| 37 | 117 | 74 | 130,61 |
| 75 | 88,04 | 114 | 103,79 |
| 76 | 1075,54 | 115 | 78,12 |
| 77 | 175,61 | 116 | 98,08 |
| 78 | 89,65 | 117 | 124,17 |
| 79 | 81,88 | 118 | 127,6 |
| 80 | 112,13 | 119 | 119 |
| 81 | 72,71 | 120 | 60,54 |
| 82 | 98,05 | 121 | 95,71 |
| 83 | 73,28 | 122 | 94,69 |
| 84 | 54,22 | 123 | 38,36 |
| 85 | 221,12 | 124 | 27,53 |
| 86 | 100,86 | 125 | 100,86 |
| 87 | 69,41 | 126 | 164,69 |
| 88 | 694,03 | 127 | 97,78 |
| 89 | 730,4 | 128 | 112,62 |
| 90 | 270,43 | 129 | 107,78 |
| 91 | 137,16 | 130 | 89,62 |
| 92 | 111,35 | 131 | 109,86 |
| 93 | 160,26 | 132 | 99,26 |
| 94 | 149,21 | 133 | 156,93 |
| 95 | 147,3 | 134 | 99,99 |
| 96 | 800,28 | 135 | 98,97 |
| 97 | 163,43 | 136 | 704,67 |
| 98 | 128,1 | 137 | 699,73 |
| 99 | 124,82 | 138 | 137,2 |
| 100 | 140,75 | 139 | 70,22 |
| 101 | 96,07 | 140 | 95,62 |
| 102 | 129,75 | 141 | 96,55 |
| 103 | 349,58 | 142 | 52,79 |
| 104 | 104,04 | 143 | 62,13 |
| 105 | 61,3 | 144 | 93,4 |
| 106 | 89,34 | 145 | 392,02 |
| 107 | 78,94 | 146 | 100,1 |

| Número Instituciones | Área (m ²) | Número Instituciones | Área (m ²) |
|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| 108 | 125,29 | 147 | 81,71 |
| 109 | 103,65 | 148 | 92,82 |
| 110 | 82,3 | 149 | 203,83 |
| 111 | 64,51 | 150 | 829,53 |
| 112 | 1707,45 | 151 | 41,75 |
| 113 | 94,97 | 152 | 87,81 |
| 153 | 56,65 | 160 | 125,85 |
| 154 | 93,51 | 161 | 128,55 |
| 155 | 594,14 | 162 | 100,13 |
| 156 | 52,48 | 163 | 123,9 |
| 157 | 63,03 | 164 | 346,59 |
| 158 | 214,11 | 165 | 98,14 |
| 159 | 132,21 | | |

Tabla 47. Cálculo de las áreas

| Mínimo | Máximo | Percentil 25 | Percentil 50 | Percentil 75 | Percentil 90 | Promedio Si P50 | Promedio Si P75 | Promedio si P90 |
|--------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 0,9 | | | |
| 27,53 | 6441 | 89,62 | 109,2 | 149,21 | 507,79 | 83,69 | 98,19 | 118,88 |

El percentil 90 por ejemplo, indica que el 10% de los datos son mayores a este valor, y así sucesivamente con los demás percentiles. Según la Figura 1004 el percentil 90 representa lo común de los datos, por tanto el área promedio a considerar para el análisis es 118.88 m².

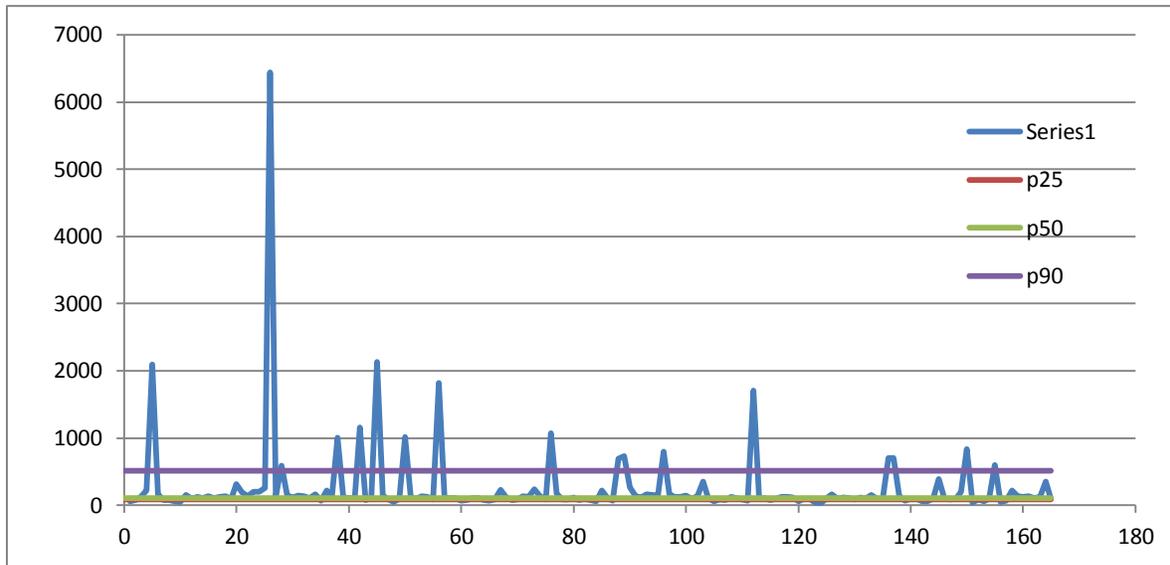


Figura 104. Distribución de datos de áreas

Para la estimación de pérdidas en instalaciones de salud, igual que en las instalaciones educativas se recurrió al Geovisor de la IDES para la medición de las áreas que se pudieron identificar y se complementó con mediciones en imágenes satelitales.

La estimación de pérdidas asociadas a la infraestructura de servicios públicos considero los costos actuales de esas instalaciones las cuales fueron suministradas por EMCALI.

En las siguientes tablas se presentan la síntesis de resultados de pérdidas directas por inundación para los periodos de retorno TR 100, 250 y 500 años. Para propósitos de comparación con las pérdidas generadas se presenta el valor de los elementos expuestos a inundación, los cuales se expresan en miles de millones y en relación con el PIB de Colombia para el año 2011.

3.3.2 Estimación de pérdidas indirectas

Con el fin de establecer costos indirectos de afectaciones por inundación, se consideraron los siguientes factores.

1. Afectación en la prestación de servicios públicos.
2. Atención de emergencia. Ayudas Humanitarias, del orden de arriendos y kits de alimentos y aseo para los damnificados.
3. Afectación del Transporte masivo, MIO. Troncal Aguablanca
4. Comercio de base en los barrios, principalmente tiendas y panaderías
5. Afectación del empleo en infraestructura de salud. Personal médico.
6. Afectación económica por el no recaudo de megaobras

3.3.2.1 Servicios públicos

En este ítem se consideran los servicios de acueducto, alcantarillado, gas natural y energía. La idea de este ejercicio es estimar el valor económico que dejarían de percibir las empresas prestadoras de servicios por un mes.

ACUEDUCTO

En el caso de acueducto, según tarifas 2011²⁶, de las empresas municipales de Cali, EMCALI, el costo de servicio de acueducto es clasificado en residencial (este a su vez por estrato), comercial, industrial, oficial y especial, temporal y otros. En este caso se consideran los valores para la zona residencial. Es necesario entonces establecer el consumo promedio de agua en un hogar de la ciudad de Cali, este dato es 23m³ según el histórico registrado²⁷ (Ver Tablas siguientes).

Tabla 48. Tarifas EMCALI, Septiembre 2012

| ESTRATO | CARGO FIJO (\$) | >20 m ³ (\$/m ³) |
|---------|-----------------|---|
| 1 | 2579,23 | 1324,07 |
| 2 | 5561,46 | 1324,07 |
| 3 | 7979,49 | 1324,07 |
| 4 | 8060,09 | 1324,07 |
| 5 | 12090,14 | 1986,11 |
| 6 | 12896,15 | 2118,52 |

²⁶http://www.emcali.com.co/c/document_library/get_file?uuid=633a7704-54a3-4a22-a2e8-ce6fd6eb9cf4&groupId=11733

²⁷ <http://historico.elpais.com.co/paisionline/calionline/notas/Diciembre292009/metrocubicos.html>

| | | |
|-----------------|---------|---------|
| PROMEDIO | \$8.194 | \$1.567 |
|-----------------|---------|---------|

Para calcular el costo de consumir 23 m³, se utiliza el valor promedio si el consumo excede 20 m³, así:

| | |
|------------------------|---|
| Costo Consumo por mes | \$1.567*23= \$36.037 |
| Cargo fijo promedio | \$8.194 |
| Costo Consumo total | 36.037+8.194=\$45.542 |
| Suscriptores Acueducto | 476.666 Residencial ²⁸ (Cali en cifras 2010) |

Tabla 49. Ingreso por servicio de Acueducto

| Costo Consumo total (\$) | Suscriptores | VALOR MES | VALOR CON COBERTURA SERVICIO 90% |
|--------------------------|--------------|------------------|----------------------------------|
| \$45.542 | 476.666 | \$21.708.257.033 | \$19.537.431.330 |

Al valor por mes se le aplica el 90%, por ser la cobertura del servicio en la ciudad.

ALCANTARILLADO

En el caso de alcantarillado se toma exactamente el mismo valor del servicio de acueducto, con la variante del 80% en cobertura del servicio (Ver **Tabla 50**).

Tabla 50. Ingreso por servicio de Alcantarillado

| VALOR MES | COBERTURA 80% |
|-------------------------|------------------|
| \$21.708.257.033 | \$17.366.605.627 |

GAS NATURAL DOMICILIARIO

Para estimar los ingresos que dejaría de percibir la empresa Gases de Occidente por los efectos de una inundación con periodo de retorno de 500 años con desbordamiento por 6 boquetes, es necesario obtener el consumo promedio por

²⁸ http://planeacion.cali.gov.co/Publicaciones/Cali_en_Cifras/Caliencifras2010.pdf

estrato socioeconómico y cuánto se debe pagar por dicho consumo²⁹, véase **Tabla 51**.

Tabla 51. Tarifa servicio de Gas natural domiciliario

| GAS NATURAL | CONSUMO PROMEDIO POR MES(m ³) | CARGO FIJO | CARGO VARIABLE (\$) | VALOR MES |
|------------------|---|------------|---------------------|-----------|
| Estrato 1 | 15 | \$1.953 | \$11.868 | \$13.821 |
| Estrato 2 | 15 | \$1.953 | \$11.868 | \$13.821 |
| Estrato 3 | 12 | \$1.953 | \$9.495 | \$11.447 |

Considerando los barrios afectados para periodo de retorno de 500 años, obtenido del ejercicio de simulación y la información base del censo 2005, departamento de planeación, municipio Santiago de Cali, donde reposan las viviendas con acceso al servicio de gas y su respectiva cobertura (Ver **Tabla 52**)

Tabla 52. Valor del consumo de gas en barrios afectados en un TR 500 años

| Código único | Barrio, Urbanización o Sector | Estrato | VIVIENDAS CON GAS | COBERTURA % | VALOR CONSUMO CON COBERTURA |
|--------------|-------------------------------|---------|-------------------|-------------|-----------------------------|
| 1401 | Alfonso Bonilla Aragón | 1 | 3.146 | 63,7 | \$27.684.922 |
| 701 | Alfonso López 1a. Etapa | 3 | 1.891 | 76,4 | \$16.539.136 |
| 702 | Alfonso López 2a. Etapa | 3 | 1.116 | 76,8 | \$9.805.482 |
| 703 | Alfonso López 3a. Etapa | 3 | 2.252 | 71,3 | \$25.648.779 |
| 1402 | Alirio Mora Beltrán | 2 | 2.107 | 71,3 | \$20.771.091 |
| 1604 | Antonio Nariño | 2 | 3.737 | 73,0 | \$37.690.521 |
| 711 | Base Aérea | 10 | 47 | 90,4 | \$486.292 |
| 2103 | Calimio Desepaz | 1 | 2.164 | 65,4 | \$19.559.532 |
| 1315 | Calipso | 3 | 1.143 | 80,7 | \$10.561.708 |
| 1313 | Charco Azul | 1 | 43 | 4,6 | \$27.157 |
| 505 | Chiminangos Primera Etapa | 3 | 1.190 | 81,7 | \$11.126.007 |
| 504 | Chiminangos Segunda Etapa | 3 | 2.593 | 85,5 | \$25.368.478 |
| 1596 | Ciudad Córdoba | 2 | 4.833 | 72,3 | \$48.306.198 |
| 2108 | Ciudad Talanga | 1 | 1.980 | 68,9 | \$18.859.730 |

²⁹ Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, República de Colombia.

http://www.superservicios.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=3915d409-fc96-47f3-83f7-a3a27dca8013&groupId=10122

| | | | | | |
|-------------|--------------------------------|---|-------|------|--------------|
| 2197 | Ciudadela del Rio - CVC | 2 | 1.391 | 75,5 | \$14.510.075 |
| 610 | Ciudadela Floralia | 2 | 8.270 | 79,9 | \$91.382.541 |
| 2107 | Compartir | 2 | 1.579 | 70,8 | \$15.452.549 |
| 2106 | Desepaz Invicali | 1 | 1.858 | 68,1 | \$17.483.509 |
| 1308 | El Diamante | 2 | 2.074 | 75,5 | \$21.642.108 |
| 1599 | El Morichal | 2 | 3.015 | 89,5 | \$37.280.820 |
| 1303 | El Poblado I | 2 | 2.311 | 76,3 | \$24.361.161 |
| 1304 | El Poblado II | 2 | 2.563 | 71,2 | \$25.219.440 |
| 1398 | El Pondaje | 2 | 691 | 74,7 | \$7.134.361 |
| 2104 | El Remanso | 1 | 687 | 72,2 | \$6.851.998 |
| 1501 | El Retiro | 1 | 138 | 6,6 | \$126.421 |
| 816 | El Trébol | 3 | 726 | 65,4 | \$5.435.697 |
| 1504 | El Vallado | 3 | 2.676 | 65,0 | \$19.911.149 |
| 1302 | El Vergel | 1 | 1.959 | 53,7 | \$14.527.730 |
| 1206 | Fenalco Kennedy | 3 | 347 | 80,1 | \$3.183.289 |
| 798 | Fepicol | 3 | 716 | 74,7 | \$6.119.450 |
| 695 | Fonaviemcali | 3 | 582 | 77,5 | \$ 5.163.105 |
| 602 | Jorge Eliecer Gaitán | 2 | 2.510 | 83,2 | \$28.851.535 |
| 1406 | José Manuel Marroquín I Etapa | 1 | 2.971 | 68,3 | \$28.057.986 |
| 1405 | José Manuel Marroquín II Etapa | 1 | 2.572 | 72,5 | \$25.761.827 |
| 1208 | Julio Rincón | 2 | 335 | 80,5 | \$3.728.525 |
| 607 | La Rivera I | 2 | 862 | 82,8 | \$9.865.169 |
| 710 | Las Ceibas | 3 | 1.657 | 76,3 | \$14.464.061 |
| 1404 | Las Orquídeas | 1 | 1.834 | 71,9 | \$18.237.678 |
| 1503 | Laureano Gómez | 1 | 1.148 | 67,6 | \$10.727.211 |
| 1309 | Lleras Restrepo | 1 | 247 | 76,0 | \$2.594.486 |
| 1393 | Lleras Restrepo II | 2 | 529 | 62,6 | \$4.577.152 |
| 604 | Los Alcázares | 3 | 2.517 | 78,9 | \$22.741.383 |
| 597 | Los Andes B-La Riviera | 3 | 1.265 | 82,4 | \$11.933.769 |
| 1502 | Los Comuneros I Etapa | 2 | 1.976 | 52,0 | \$14.205.133 |
| 1305 | Los Comuneros II Etapa | 2 | 1.994 | 75,4 | \$20.776.164 |
| 608 | Los Guadales | 3 | 2.381 | 79,9 | \$21.770.168 |
| 503 | Los Guayacanes | 3 | 2.416 | 83,4 | \$23.072.798 |
| 1395 | Los Lagos | 2 | 1.580 | 68,9 | \$15.040.473 |
| 2105 | Los Lideres | 1 | 334 | 64,9 | \$2.993.825 |
| 1496 | Los Naranjos I | 2 | 460 | 69,6 | \$4.424.406 |
| 1499 | Los Naranjos II | 1 | 1.205 | 68,5 | \$11.402.554 |
| 594 | Los Parques - Barranquilla | 3 | 2.046 | 86,3 | \$20.219.382 |
| 708 | Los Pinos | 2 | 593 | 80,4 | \$6.585.576 |

| | | | | | |
|-------------|---------------------------------|----|-------|------|--------------|
| 1311 | Los Robles | 2 | 1.045 | 70,4 | \$10.163.583 |
| 1403 | Manuela Beltrán | 1 | 3.631 | 67,1 | \$33.681.851 |
| 1394 | Marroquín III | 2 | 583 | 64,5 | \$5.196.482 |
| 506 | Metropolitano del Norte | 3 | 1.828 | 82,3 | \$17.222.999 |
| 1598 | Mojica | 1 | 284 | 5,3 | \$209.895 |
| 1207 | Nueva Floresta | 3 | 3.691 | 80,3 | \$33.924.898 |
| 1307 | Omar Torrijos | 2 | 693 | 58,9 | \$5.644.167 |
| 596 | Paseo de los Almendros | 3 | 1.109 | 83,4 | \$10.585.623 |
| 603 | Paso del Comercio | 2 | 1.641 | 85,3 | \$19.344.291 |
| 605 | Petecuy Primera Etapa | 2 | 1.338 | 70,8 | \$13.091.552 |
| 606 | Petecuy Segunda Etapa | 2 | 1.237 | 78,9 | \$13.496.188 |
| 609 | Petecuy Tercera Etapa | 2 | 932 | 74,3 | \$9.565.966 |
| 2101 | Pizamos I | 1 | 566 | 61,1 | \$4.776.325 |
| 2102 | Pizamos II | 0 | 916 | 76,6 | \$9.696.176 |
| 2195 | Pizamos III - Las Dalías | 1 | 380 | 75,4 | \$3.959.838 |
| 2199 | Planta de Tratamiento | 10 | 15 | 8,5 | \$14.552 |
| 2196 | Potrero Grande | 0 | 38 | 49,4 | \$259.189 |
| 1498 | Promociones Populares B | 1 | 3.008 | 65,1 | \$27.062.033 |
| 1495 | Puerta del Sol | 1 | 824 | 69,0 | \$7.852.849 |
| 705 | Puerto Mallarino | 2 | 421 | 57,1 | \$3.323.819 |
| 1602 | República de Israel | 2 | 3.187 | 80,9 | \$35.629.410 |
| 1306 | Ricardo Balcázar | 2 | 946 | 75,5 | \$9.871.245 |
| 1312 | Rodrigo Lara Bonilla | 2 | 538 | 62,4 | \$4.640.855 |
| 601 | San Luis | 2 | 2.184 | 82,5 | \$24.895.910 |
| 696 | San Luis II | 2 | 2.588 | 82,6 | \$29.546.693 |
| 709 | San Marino | 2 | 491 | 69,7 | \$4.732.941 |
| 1397 | Sector Laguna del Pondaje | 1 | 264 | 10,3 | \$376.425 |
| 698 | Sector Puente del Comercio | 2 | 1.953 | 86,4 | \$23.325.812 |
| 707 | Siete de Agosto | 3 | 2.175 | 74,7 | \$18.596.538 |
| 1211 | Sindical | 3 | 745 | 77,6 | \$6.618.297 |
| 1301 | Ulpiano Lloreda | 2 | 1.012 | 74,9 | \$10.469.479 |
| 1603 | Unión de Vivienda Popular | 2 | 3.333 | 79,2 | \$36.478.118 |
| 697 | Urbanización Calimio | 2 | 1.400 | 77,1 | \$14.908.772 |
| 706 | Urbanización el Ángel del Hogar | 2 | 586 | 78,8 | \$6.379.153 |
| 818 | Urbanización La Nueva Base | 2 | 1.824 | 83,6 | \$21.063.797 |
| 2198 | Valle Grande | 2 | 1.226 | 51,8 | \$8.769.132 |
| 1310 | Villa del Lago | 3 | 1.884 | 74,2 | \$16.009.403 |
| 599 | Villa del Prado - El Guabito | 3 | 3.184 | 79,7 | \$29.034.672 |
| 595 | Villa del Sol | 3 | 1.070 | 85,1 | \$10.418.180 |

| | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|---|-----|------|-----------------|
| 1314 | Villablanca | 2 | 645 | 74,1 | \$6.609.078 |
| 2194 | Villamercedes I-Villa Luz-Las Garzas | 1 | 46 | 10,1 | \$64.417 |
| 1390 | Yira Castro | 2 | 608 | 84,1 | \$7.066.585 |
| TOTAL | | | | | \$1.464.828.887 |

ENERGÍA ELÉCTRICA

Según las tarifas de EMCALI de septiembre de 2012³⁰, se toma el valor del cargo por kwh y dado que no se obtuvo el consumo promedio por estrato, se realizaron los cálculos considerando el consumo de subsistencia, que de acuerdo a resolución UPME-0013 de enero de 2005, para municipios a una altura igual o superior a 1000msnm es 138 kWh/mes (Ver **Tabla 53**)

Tabla 53. Datos de energía

| CONSUMO DE SUBSISTENCIA (kwh) | CARGO (\$/KWH) | VALOR MES (\$) |
|-------------------------------|----------------|----------------|
| \$138 | 166,96 | \$23.040 |

Una vez calculado el valor por mes se multiplica por el número de viviendas con el servicio en cada uno de los barrios y de este costo se obtiene el valor según la cobertura del servicio en cada barrio, tal como muestra la **Tabla 54**.

Tabla 54. Valor del consumo de energía eléctrica

| Código único | Barrio, Urbanización o Sector | Estrato | ENERGIA | | | |
|--------------|-------------------------------|---------|---------------|-------------|--------------------|-----------------------------|
| | | | VIVIENDAS CON | COBERTURA % | VALOR CONSUMO (\$) | VALOR CONSUMO CON COBERTURA |
| 1401 | Alfonso Bonilla Aragón | 1 | 4.899 | 99,1 | \$112.875.312 | \$111.915.837,1 |
| 701 | Alfonso López 1a. Etapa | 3 | 2.458 | 99,3 | \$56.632.320 | \$56.243.330,3 |
| 702 | Alfonso López 2a. Etapa | 3 | 1.445 | 99,4 | \$33.292.800 | \$33.086.723,5 |
| 703 | Alfonso López 3a. Etapa | 3 | 3.141 | 99,5 | \$72.368.640 | \$72.001.868,3 |
| 1402 | Alirio Mora Beltrán | 2 | 2.935 | 99,4 | \$67.622.400 | \$67.187.455,7 |
| 1604 | Antonio Nariño | 2 | 5.105 | 99,7 | \$117.619.200 | \$117.251.711,8 |

³⁰http://www.emcali.com.co/web/energy_service/tarifas-energia/-/document_library/view/118532;jsessionid=561E7F84E978FB9625595FA09B143CF4

Contrato de consultoría N° 101 de 2012 celebrado entre el Fondo Adaptación y
Corporación Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO

| | | | | | | |
|------|--------------------------------|----|--------|-------|---------------|-----------------|
| 711 | Base Aérea | 10 | 54 | 103,8 | \$1.244.160 | \$1.292.012,3 |
| 2103 | Calimio Desepaz | 1 | 3.293 | 99,5 | \$75.870.720 | \$75.503.862,5 |
| 1315 | Calipso | 3 | 1.413 | 99,8 | \$32.555.520 | \$32.486.546,4 |
| 1313 | Charco Azul | 1 | 931 | 98,9 | \$21.450.240 | \$21.222.288,5 |
| 505 | Chiminangos Primera Etapa | 3 | 1.451 | 99,6 | \$33.431.040 | \$33.293.369,3 |
| 504 | Chiminangos Segunda Etapa | 3 | 3.026 | 99,7 | \$69.719.040 | \$69.535.206,0 |
| 1596 | Ciudad Córdoba | 2 | 6.652 | 99,5 | \$153.262.080 | \$152.551.153,1 |
| 2108 | Ciudad Talanga | 1 | 2.863 | 99,7 | \$65.963.520 | \$65.733.921,9 |
| 2197 | Ciudadela del Rio - CVC | 2 | 1.840 | 99,8 | \$42.393.600 | \$42.324.592,5 |
| 610 | Ciudadela Floralia | 2 | 10.250 | 99,1 | \$236.160.000 | \$234.013.921,1 |
| 2107 | Compartir | 2 | 2.216 | 99,4 | \$51.056.640 | \$50.736.105,0 |
| 2106 | Desepaz Invicali | 1 | 2.714 | 99,5 | \$62.530.560 | \$62.186.859,6 |
| 1308 | El Diamante | 2 | 2.707 | 98,5 | \$62.369.280 | \$61.461.099,7 |
| 1599 | El Morichal | 2 | 3.364 | 99,8 | \$77.506.560 | \$77.368.566,1 |
| 1303 | El Poblado I | 2 | 3.027 | 99,9 | \$69.742.080 | \$69.673.028,4 |
| 1304 | El Poblado II | 2 | 3.566 | 99,1 | \$82.160.640 | \$81.384.678,4 |
| 1398 | El Pondaje | 2 | 925 | 100,0 | \$21.312.000 | \$21.312.000,0 |
| 2104 | El Remanso | 1 | 951 | 99,9 | \$21.911.040 | \$21.888.024,2 |
| 1501 | El Retiro | 1 | 2.039 | 97,9 | \$46.978.560 | \$46.008.301,6 |
| 816 | El Trebol | 3 | 1.112 | 100,2 | \$25.620.480 | \$25.666.643,0 |
| 1504 | El Vallado | 3 | 3.942 | 95,7 | \$90.823.680 | \$86.963.066,9 |
| 1302 | El Vergel | 1 | 3.617 | 99,1 | \$83.335.680 | \$82.559.615,1 |
| 1206 | Fenalco Kennedy | 3 | 432 | 99,8 | \$9.953.280 | \$9.930.293,2 |
| 798 | Fepicol | 3 | 956 | 99,7 | \$22.026.240 | \$21.957.336,2 |
| 695 | Fonaviemcali | 3 | 751 | 100,0 | \$17.303.040 | \$17.303.040,0 |
| 602 | Jorge Eliecer Gaitán | 2 | 3.009 | 99,7 | \$69.327.360 | \$69.120.618,4 |
| 1406 | José Manuel Marroquín I Etapa | 1 | 4.278 | 98,4 | \$98.565.120 | \$96.978.285,0 |
| 1405 | José Manuel Marroquín II Etapa | 1 | 3.531 | 99,5 | \$81.354.240 | \$80.941.623,4 |
| 1208 | Julio Rincón | 2 | 415 | 99,8 | \$9.561.600 | \$9.538.615,4 |
| 607 | La Rivera I | 2 | 1.036 | 99,5 | \$23.869.440 | \$23.754.793,3 |
| 710 | Las Ceibas | 3 | 2.166 | 99,7 | \$49.904.640 | \$49.743.879,5 |
| 1404 | Las Orquídeas | 1 | 2.524 | 99,0 | \$58.152.960 | \$57.582.609,3 |
| 1503 | Laureano Gómez | 1 | 1.680 | 98,9 | \$38.707.200 | \$38.296.876,3 |
| 1309 | Lleras Restrepo | 1 | 323 | 99,4 | \$7.441.920 | \$7.396.123,6 |
| 1393 | Lleras Restrepo II | 2 | 843 | 99,8 | \$19.422.720 | \$19.376.749,1 |
| 604 | Los Alcázares | 3 | 3.185 | 99,9 | \$73.382.400 | \$73.290.355,6 |
| 597 | Los Andes B-La Riviera | 3 | 1.532 | 99,8 | \$35.297.280 | \$35.228.295,1 |
| 1502 | Los Comuneros I Etapa | 2 | 3.499 | 92,1 | \$80.616.960 | \$74.250.787,8 |

Contrato de consultoría N° 101 de 2012 celebrado entre el Fondo Adaptación y
Corporación Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO

| | | | | | | |
|------|----------------------------|----|-------|-------|---------------|-----------------|
| 1305 | Los Comuneros II Etapa | 2 | 2.635 | 99,6 | \$60.710.400 | \$60.480.871,1 |
| 608 | Los Guaduales | 3 | 2.979 | 99,9 | \$68.636.160 | \$68.590.110,9 |
| 503 | Los Guayacanes | 3 | 2.892 | 99,9 | \$66.631.680 | \$66.539.647,3 |
| 1395 | Los Lagos | 2 | 2.288 | 99,7 | \$52.715.520 | \$52.577.641,6 |
| 2105 | Los Lideres | 1 | 514 | 99,8 | \$11.842.560 | \$11.819.564,7 |
| 1496 | Los Naranjos I | 2 | 661 | 100,0 | \$15.229.440 | \$15.229.440,0 |
| 1499 | Los Naranjos II | 1 | 1.718 | 97,6 | \$39.582.720 | \$38.638.132,4 |
| 594 | Los Parques - Barranquilla | 3 | 2.361 | 99,6 | \$54.397.440 | \$54.190.867,4 |
| 708 | Los Pinos | 2 | 736 | 99,7 | \$16.957.440 | \$16.911.484,9 |
| 1311 | Los Robles | 2 | 1.476 | 99,4 | \$34.007.040 | \$33.800.936,7 |
| 1403 | Manuela Beltrán | 1 | 5.365 | 99,2 | \$123.609.600 | \$122.581.424,0 |
| 1394 | Marroquín III | 2 | 899 | 99,4 | \$20.712.960 | \$20.598.397,2 |
| 506 | Metropolitano del Norte | 3 | 2.219 | 99,9 | \$51.125.760 | \$51.079.721,5 |
| 1598 | Mojica | 1 | 5.163 | 97,2 | \$118.955.520 | \$115.640.623,2 |
| 1207 | Nueva Floresta | 3 | 4.581 | 99,7 | \$105.546.240 | \$105.178.883,1 |
| 1307 | Omar Torrijos | 2 | 1.136 | 96,6 | \$26.173.440 | \$25.283.186,9 |
| 596 | Paseo de los Almendros | 3 | 1.327 | 99,8 | \$30.574.080 | \$30.505.115,9 |
| 603 | Paso del Comercio | 2 | 1.916 | 99,6 | \$44.144.640 | \$43.961.086,4 |
| 605 | Petecuy Primera Etapa | 2 | 1.849 | 97,8 | \$42.600.960 | \$41.676.812,2 |
| 606 | Petecuy Segunda Etapa | 2 | 1.545 | 98,6 | \$35.596.800 | \$35.097.036,4 |
| 609 | Petecuy Tercera Etapa | 2 | 1.245 | 99,2 | \$ 28.684.800 | \$28.456.235,9 |
| 2101 | Pizamos I | 1 | 920 | 99,2 | \$ 21.196.800 | \$21.036.737,9 |
| 2102 | Pizamos II | 0 | 1.192 | 99,7 | \$27.463.680 | \$27.371.828,2 |
| 2195 | Pizamos III - Las Dalias | 1 | 504 | 100,0 | \$11.612.160 | \$11.612.160,0 |
| 2199 | Planta de Tratamiento | 10 | 167 | 94,4 | \$3.847.680 | \$3.630.296,9 |
| 2196 | Potrero Grande | 0 | 76 | 98,7 | \$1.751.040 | \$1.728.299,2 |
| 1498 | Promociones Populares B | 1 | 4.579 | 99,1 | \$105.500.160 | \$104.541.275,2 |
| 1495 | Puerta del Sol | 1 | 1.194 | 99,9 | \$27.509.760 | \$27.486.739,3 |
| 705 | Puerto Mallarino | 2 | 733 | 99,5 | \$16.888.320 | \$16.796.660,2 |
| 1602 | Republica de Israel | 2 | 3.927 | 99,7 | \$90.478.080 | \$90.179.548,3 |
| 1306 | Ricardo Balcázar | 2 | 1.251 | 99,8 | \$28.823.040 | \$28.777.033,6 |
| 1312 | Rodrigo Lara Bonilla | 2 | 859 | 99,7 | \$19.791.360 | \$19.722.480,6 |
| 601 | San Luis | 2 | 2.638 | 99,6 | \$60.779.520 | \$60.549.990,1 |
| 696 | San Luis II | 2 | 3.120 | 99,6 | \$71.884.800 | \$71.586.522,8 |
| 709 | San Marino | 2 | 703 | 99,9 | \$16.197.120 | \$16.174.112,7 |
| 1397 | Sector Laguna del Pondaje | 1 | 2.177 | 85,1 | \$50.158.080 | \$42.670.629,2 |
| 698 | Sector Puente del Comercio | 2 | 2.257 | 99,9 | \$52.001.280 | \$51.932.251,8 |
| 707 | Siete de Agosto | 3 | 2.903 | 99,7 | \$66.885.120 | \$66.678.400,9 |
| 1211 | Sindical | 3 | 955 | 99,5 | \$22.003.200 | \$21.888.600,0 |

INFORME DE AVANCE N° 2
Contrato de consultoría N° 101 de 2012 celebrado entre el Fondo Adaptación y
Corporación Observatorio Sismológico del Sur Occidente - OSSO

| | | | | | | |
|--------------|--------------------------------------|---|-------|-------|--------------|---------------------------|
| 1301 | Ulpiano Lloreda | 2 | 1.348 | 99,7 | \$31.057.920 | \$30.966.032,7 |
| 1603 | Union de Vivienda Popular | 2 | 4.178 | 99,3 | \$96.261.120 | \$95.552.140,5 |
| 697 | Urbanización Calimio | 2 | 1.808 | 99,5 | \$41.656.320 | \$41.449.987,1 |
| 706 | Urbanización el Ángel del Hogar | 2 | 745 | 100,1 | \$17.164.800 | \$17.187.871,0 |
| 818 | Urbanización La Nueva Base | 2 | 2.182 | 100,0 | \$50.273.280 | \$50.250.250,6 |
| 2198 | Valle Grande | 2 | 2.368 | 100,0 | \$54.558.720 | \$54.535.689,7 |
| 1310 | Villa del Lago | 3 | 2.526 | 99,5 | \$58.199.040 | \$57.923.867,2 |
| 599 | Villa del Prado - El Guabito | 3 | 3.986 | 99,7 | \$91.837.440 | \$91.584.697,5 |
| 595 | Villa del Sol | 3 | 1.257 | 99,9 | \$28.961.280 | \$28.938.258,3 |
| 1314 | Villablanca | 2 | 865 | 99,4 | \$19.929.600 | \$19.815.062,1 |
| 2194 | Villamercedes I-Villa Luz-Las Garzas | 1 | 441 | 97,1 | \$10.160.640 | \$9.869.696,6 |
| 1390 | Yira Castro | 2 | 723 | 100,0 | \$16.657.920 | \$16.657.920,0 |
| TOTAL | | | | | | \$ 4.795.474.329,3 |

3.3.2.2 Atención humanitaria

Considerando los barrios que se inundan, se establece el criterio de atender las familias damnificadas cuando el tirante de agua alcance 1m de altura.

En este ítem se consideran los subsidios de arriendo por un mes equivalente a \$200.000 y el kit de alimentos y aseo por valor de \$350.000. Estos valores se tomaron del instructivo de Colombia Humanitaria, tercera versión, abril 14 de 2011.

La **Tabla 55** se presenta los barrios que, en caso de inundación alcanzarán profundidad promedio del agua mayor o igual a 1m. De los 95 barrios que se inundan, son 71 los que alcanzan dichos tirantes, es decir el 75% de los barrios serían atendidos con la ayuda humanitaria.

Tabla 55. Inversión en Ayudas Humanitarias a barrios con profundidad de agua promedio mayor o igual a 1m

| | Código único | Barrio, Urbanización o Sector | AYUDAS HUMANITARIAS | | | |
|-----------------|--------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------------|--------------------|
| | | | Hogares | Profundidad agua (m) | Kit Mercado y aseo \$350.000 | Arriendo \$200.000 |
| COMUNA 5 | 503 | Los Guayacanes | 3.120 | 1,95 | 1.092.000.000 | 624.000.000 |
| | 504 | Chiminangos Segunda Etapa | 3.151 | 1,34 | 1.102.850.000 | 630.200.000 |
| | 505 | Chiminangos Primera Etapa | 1.538 | 2,04 | 538.300.000 | 307.600.000 |
| | 506 | Metropolitano del Norte | 2.340 | 2,54 | 819.000.000 | 468.000.000 |
| | 595 | Villa del Sol | 1.268 | 1,10 | 443.800.000 | 253.600.000 |
| | 599 | Villa del Prado - El Guabito | 4.112 | 1,86 | 1.439.200.000 | 822.400.000 |
| COMUNA 6 | 601 | San Luis | 3.273 | 3,76 | 1.145.550.000 | 654.600.000 |
| | 602 | Jorge Eliecer Gaitán | 3.344 | 3,48 | 1.170.400.000 | 668.800.000 |
| | 603 | Paso del Comercio | 2.067 | 3,22 | 723.450.000 | 413.400.000 |
| | 604 | Los Alcázares | 3.322 | 2,81 | 1.162.700.000 | 664.400.000 |
| | 605 | Petecuy Primera Etapa | 2.072 | 3,34 | 725.200.000 | 414.400.000 |
| | 606 | Petecuy Segunda Etapa | 1.764 | 3,65 | 617.400.000 | 352.800.000 |
| | 607 | La Rivera I | 1.126 | 3,20 | 394.100.000 | 225.200.000 |
| | 608 | Los Guadales | 3.085 | 1,49 | 1.079.750.000 | 617.000.000 |
| | 609 | Petecuy Tercera Etapa | 1.382 | 3,74 | 483.700.000 | 276.400.000 |
| | 610 | Ciudadela Floralia | 10.999 | 3,11 | 3.849.650.000 | 2.199.800.000 |

| | | | | | | |
|----------------------|------------|---------------------------------|-------|-------------|---------------|---------------|
| | 695 | Fonaviemcali | 780 | 3,77 | 273.000.000 | 156.000.000 |
| | 696 | San Luis II | 3.579 | 4,90 | 1.252.650.000 | 715.800.000 |
| | 697 | Urbanización Calimio | 1.893 | 3,38 | 662.550.000 | 378.600.000 |
| | 698 | Sector Puente del Comercio | 2.342 | 1,80 | 819.700.000 | 468.400.000 |
| COMUNA 7 | 701 | Alfonso López 1a. Etapa | 3.124 | 4,38 | 1.093.400.000 | 624.800.000 |
| | 702 | Alfonso López 2a. Etapa | 1.904 | 3,36 | 666.400.000 | 380.800.000 |
| | 703 | Alfonso López 3a. Etapa | 4.013 | 2,15 | 1.404.550.000 | 802.600.000 |
| | 705 | Puerto Mallarino | 1.063 | 1,08 | 372.050.000 | 212.600.000 |
| | 706 | Urbanización el Ángel del Hogar | 989 | 1,60 | 346.150.000 | 197.800.000 |
| | 707 | Siete de Agosto | 3.590 | 1,83 | 1.256.500.000 | 718.000.000 |
| | 708 | Los Pinos | 863 | 1,61 | 302.050.000 | 172.600.000 |
| | 711 | Base Aérea | 53 | 1,71 | 18.550.000 | 10.600.000 |
| | 798 | Fepicol | 1.090 | 2,42 | 381.500.000 | 218.000.000 |
| | 704 | Puerto Nuevo | 413 | 1,32 | 144.550.000 | 82.600.000 |
| COMUNA 8 | 818 | Urbanización La Nueva Base | 2.203 | 1 | 771.050.000 | 440.600.000 |
| COMUNA 13 | 1301 | Ulpiano Lloreda | 1.639 | 1,86 | 573.650.000 | 327.800.000 |
| | 1305 | Los Comuneros II Etapa | 3.277 | 1,28 | 1.146.950.000 | 655.400.000 |
| | 1306 | Ricardo Balcázar | 1.415 | 1,67 | 495.250.000 | 283.000.000 |
| | 1307 | Omar Torrijos | 1.482 | 1,44 | 518.700.000 | 296.400.000 |
| | 1309 | Lleras Restrepo | 418 | 1,52 | 146.300.000 | 83.600.000 |
| | 1310 | Villa del Lago | 2.643 | 1,73 | 925.050.000 | 528.600.000 |
| | 1312 | Rodrigo Lara Bonilla | 1.066 | 1,36 | 373.100.000 | 213.200.000 |
| | 1313 | Charco Azul | 1.106 | 1,36 | 387.100.000 | 221.200.000 |
| | 1314 | Villablanca | 1.015 | 1,95 | 355.250.000 | 203.000.000 |
| | 1390 | Yira Castro | 823 | 1,47 | 288.050.000 | 164.600.000 |
| | 1393 | Lleras Restrepo II | 1.145 | 1,41 | 400.750.000 | 229.000.000 |
| | 1394 | Marroquín III | 1.073 | 2,97 | 375.550.000 | 214.600.000 |
| | 1395 | Los Lagos | 2.747 | 2,30 | 961.450.000 | 549.400.000 |
| | 1397 | Sector Laguna del Pondaje | 2.893 | 2,80 | 1.012.550.000 | 578.600.000 |
| 1398 | El Pondaje | 1.001 | 1,16 | 350.350.000 | 200.200.000 | |
| COMUNA 14 | 1401 | Alfonso Bonilla Aragón | 6.004 | 1,33 | 2.101.400.000 | 1.200.800.000 |
| | 1402 | Alirio Mora Beltrán | 3.452 | 2,62 | 1.208.200.000 | 690.400.000 |
| | 1403 | Manuela Beltrán | 6.432 | 2,24 | 2.251.200.000 | 1.286.400.000 |
| | 1404 | Las Orquídeas | 3.019 | 1,47 | 1.056.650.000 | 603.800.000 |
| | 1405 | José Manuel Marroquín II Etapa | 4.324 | 2,11 | 1.513.400.000 | 864.800.000 |
| | 1406 | José Manuel Marroquín I Etapa | 5.315 | 2,19 | 1.860.250.000 | 1.063.000.000 |
| | 1495 | Puerta del Sol | 1.245 | 3,29 | 435.750.000 | 249.000.000 |
| | 1496 | Los Naranjos I | 728 | 1,91 | 254.800.000 | 145.600.000 |
| | 1498 | Promociones Populares B | 4.896 | 2,91 | 1.713.600.000 | 979.200.000 |

| | | | | | | |
|------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------|------------|-------------------------|-------------------------|
| | 1499 | Los Naranjos II | 1.908 | 2,76 | 667.800.000 | 381.600.000 |
| COMUNA 15 | 1501 | El Retiro | 2.359 | 1,51 | 825.650.000 | 471.800.000 |
| | 1503 | Laureano Gómez | 2.076 | 1,49 | 726.600.000 | 415.200.000 |
| COMUNA 16 | 1604 | Antonio Nariño | 6.458 | 1,12 | 2.260.300.000 | 1.291.600.000 |
| COMUNA 21 | 2103 | Calimio Desepez | 3.477 | 2,47 | 1.216.950.000 | 695.400.000 |
| | 2104 | El Remanso | 986 | 1,58 | 345.100.000 | 197.200.000 |
| | 2105 | Los Lideres | 542 | 2,80 | 189.700.000 | 108.400.000 |
| | 2106 | Desepez Invicali | 2.926 | 1,81 | 1.024.100.000 | 585.200.000 |
| | 2107 | Compartir | 2.325 | 3,34 | 813.750.000 | 465.000.000 |
| | 2108 | Ciudad Talanga | 2.948 | 3,17 | 1.031.800.000 | 589.600.000 |
| | 2194 | Villamercedes I-Villa Luz-Las Garzas | 504 | 1,51 | 176.400.000 | 100.800.000 |
| | 2195 | Pizamos III - Las Dalias | 522 | 1,80 | 182.700.000 | 104.400.000 |
| | 2196 | Potrero Grande | 79 | 1,31 | 27.650.000 | 15.800.000 |
| | 2197 | Ciudadela del Rio - CVC | 1.909 | 3,55 | 668.150.000 | 381.800.000 |
| | 2198 | Valle Grande | 2.398 | 3,08 | 839.300.000 | 479.600.000 |
| 2199 | Planta de Tratamiento | 178 | 2,80 | 62.300.000 | 35.600.000 | |
| TOTAL | | | | | \$58.315.250.000 | \$33.323.000.000 |

3.3.2.3 Sistema Integral de Transporte Masivo - MIO

“La Troncal de agua blanca será de gran beneficio para todas las personas que viven al oriente de la ciudad. Serán 400 mil usuarios los que se movilizarán por aquí”, sostuvo el alcalde, Jorge Iván Ospina Gómez.

“Para esta obra se estipuló una inversión de 154.800 millones de pesos, incluyendo la interventoría. Esta obra de 5.36 kilómetros va a permitir que Cali sea mirada con otros ojos, debido a que desde el oriente se están construyendo grandes obras”, afirmó el presidente de Metro Cali, Luis Eduardo Barrera Vergara.³¹

Según <http://www.metrocali.gov.co> la troncal de agua blanca moviliza 22.000 pasajeros diariamente, asumiendo que durante la ola invernal, colapsa el sistema,

³¹ <http://www.metrocali.gov.co/cms/la-troncal-de-aguablanca-le-dar-otra-mirada-a-cali/>

Metrocali dejaría de percibir ingresos por la troncal, como se muestra a continuación:

Tabla 56. Costo por transporte masivo

| PASAJEROS DIA | INGRESO POR DIA (PASAJE \$1600) (\$) | PASAJEROS MES | INGRESO MES (\$) |
|---------------|---|---------------|------------------|
| 400.000 | 640.000.000 | 12.000.000 | \$19.200.000.000 |

3.3.2.4 Infraestructura comercial en los barrios

Siguiendo la página web <http://www.sitimapa.com/index.php>, se efectuó la búsqueda de tiendas de barrio, panaderías, restaurantes y asaderos de pollo en los barrios de Cali, que según el modelo aplicado en este proyecto, serían susceptibles de inundarse.

La página web es creada por Servinformación, una empresa líder en soluciones de localización inteligente con más de 13 años de experiencia en el desarrollo de sistemas de información geográfica, mapas digitales, cartografía predial, bases de datos geo-referenciadas y recolección de información.

La Tabla 54 presenta el conteo de establecimientos comerciales por barrio y el estimativo de ingresos que perciben en promedio las tiendas y panaderías de barrio.

Según el artículo “La tienda de barrio, un negocio que sigue siendo rey en Cali” publicado en www.elpais.com.co, sólo en la ciudad de Cali existen 5.275 negocios dedicados a esta actividad, según el censo de Infocomercio realizado por Servinformación, compañía especializada en el desarrollo de sistemas geográficos.

Eso quiere decir, que el 29% de los pequeños negocios que se emprenden en los sectores populares son tiendas. Se estima que en el país hay en promedio 200

tiendas por kilómetro cuadrado y el 76% de ellas vende menos de \$300.000 día, es decir, entre \$5.000.000 y \$9.000.000 en el mes³².

Considerando en promedio que la tienda de barrio percibe aproximadamente un ingreso por día de \$300.000 se estimaron los ingresos por barrio.

De igual manera se considera que en promedio una panadería recibe ingresos diarios de \$300.000.

Tabla 57. Estimación de ingresos mensuales en tiendas y panaderías de barrio

| Nombre | Codigo_DAP | Comuna | Estrato | Tiendas | Panaderías | Ingresos x día_tienda | Ingresos x día_panaderia |
|----------------------------|------------|--------|---------|---------|------------|-----------------------|--------------------------|
| LOS ALCAZARES | 604 | 6 | 3 | 9 | 4 | \$2.700.000 | \$1.200.000 |
| VILLA DEL SOL | 595 | 5 | 3 | 0 | 0 | \$ | \$ - |
| PETECUY II | 606 | 6 | 2 | 64 | 2 | \$19.200.000 | \$600.000 |
| LOS PARQUES - BARRANQUILLA | 594 | 5 | 3 | 13 | 2 | \$3.900.000 | \$600.000 |
| CHIMINANGOS II | 504 | 5 | 3 | 12 | 2 | \$3.600.000 | \$600.000 |
| PETECUY III | 609 | 6 | 2 | 30 | 7 | \$9.000.000 | \$2.100.000 |
| PETECUY I | 605 | 6 | 2 | 18 | 6 | \$5.400.000 | \$1.800.000 |
| SAN MARINO | 709 | 7 | 2 | 13 | 2 | \$3.900.000 | \$600.000 |
| LOS PINOS | 708 | 7 | 2 | 10 | 1 | \$3.000.000 | \$300.000 |
| LAS CEIBAS | 710 | 7 | 3 | 10 | 10 | \$3.000.000 | \$3.000.000 |
| PUERTO MALLARINO | 705 | 7 | 2 | 18 | 2 | \$5.400.000 | \$600.000 |
| LLERAS RESTREPO | 1309 | 13 | 2 | 18 | 1 | \$5.400.000 | \$300.000 |
| LOS NARANJOS | 1496 | 14 | 2 | 13 | 4 | \$3.900.000 | \$1.200.000 |
| MARROQUIN III | 1394 | 13 | 2 | 14 | 3 | \$4.200.000 | \$900.000 |
| LOS LAGOS | 1395 | 13 | 2 | 43 | 6 | \$12.900.000 | \$1.800.000 |
| DESEPAZ INVICALI | 2106 | 21 | 1 | 0 | 0 | \$ | \$ - |
| RODRIGO LARA BONILLA | 1312 | 13 | 2 | 20 | | \$6.000.000 | \$ - |
| PIZAMOS III - LAS DALIAS | 2195 | 21 | 1 | 5 | | \$1.500.000 | \$ - |
| PIZAMOS II | 2102 | 21 | 0 | 47 | 5 | \$14.100.000 | \$1.500.000 |
| PIZAMOS I | 2101 | 21 | 1 | 10 | 4 | \$3.000.000 | \$1.200.000 |
| CHIMINANGOS I | 505 | 5 | 3 | 9 | 4 | \$2.700.000 | \$1.200.000 |
| OMAR TRUJILLOS | 1307 | 13 | 2 | 26 | 6 | \$7.800.000 | \$1.800.000 |
| FONAVIEMCALI | 695 | 6 | 3 | 3 | 4 | \$900.000 | \$1.200.000 |
| METROPOLITANO DEL NORTE | 506 | 5 | 3 | 7 | 2 | \$2.100.000 | \$600.000 |
| SAN LUIS | 601 | 6 | 2 | 38 | 8 | \$11.400.000 | \$2.400.000 |

³² <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/tienda-barrio-negocio-sigue-siendo-rey-en-cali>

| | | | | | | | |
|--------------------------------|------|----|----|-----|----|--------------|--------------|
| JORGE ELISER GAITAN | 602 | 6 | 2 | 44 | 11 | \$13.200.000 | \$3.300.000 |
| LA RIVERA I | 607 | 6 | 2 | 11 | 3 | \$3.300.000 | \$900.000 |
| LOS GUAYACANES | 503 | 5 | 3 | 34 | 10 | \$10.200.000 | \$3.000.000 |
| PASEO DE LOS ALMENDROS | 596 | 5 | 3 | 7 | 6 | \$2.100.000 | \$1.800.000 |
| LOS ANDES B-LA RIVERA-EL SAMAN | 597 | 5 | 3 | 13 | 5 | \$3.900.000 | \$1.500.000 |
| VILLA DEL PRADO-EL GUABITO | 599 | 5 | 3 | 0 | 0 | \$ | \$ - |
| FEPICOL | 798 | 7 | 3 | 4 | 2 | \$1.200.000 | \$600.000 |
| ALIRIO MORA BELTRAN | 1402 | 14 | 2 | 44 | 9 | \$13.200.000 | \$2.700.000 |
| VALLE GRANDE | 2198 | 21 | 2 | 40 | 10 | \$12.000.000 | \$3.000.000 |
| CIUDAD TALANGA | 2108 | 21 | 1 | 27 | 6 | \$8.100.000 | \$1.800.000 |
| LOS NARANJOS II | 1499 | 14 | 1 | 20 | 5 | \$6.000.000 | \$1.500.000 |
| PUERTA DEL SOL | 1495 | 14 | 1 | 11 | 3 | \$3.300.000 | \$900.000 |
| COMPARTIR | 2107 | 21 | 2 | | | \$ | \$ |
| LOS LIDERES | 2105 | 21 | 1 | 8 | 1 | \$2.400.000 | \$300.000 |
| EL REMANSO | 2104 | 21 | 1 | 16 | | \$4.800.000 | \$ |
| CALIMIO DECEPAZ | 2103 | 21 | 1 | 71 | 10 | \$21.300.000 | \$3.000.000 |
| POTRERO GRANDE | 2196 | 21 | 0 | 2 | 1 | \$600.000 | \$300.000 |
| ALFONSO LOPEZ I | 701 | 7 | 3 | 37 | 11 | \$11.100.000 | \$ 3.300.000 |
| ALFONSO LOPEZ II | 702 | 7 | 3 | 26 | 7 | \$7.800.000 | \$2.100.000 |
| ALFONSO LOPEZ III | 703 | 7 | 3 | 41 | 10 | \$12.300.000 | \$3.000.000 |
| RICARDO BALCAZAR | 1306 | 13 | 2 | 16 | 10 | \$4.800.000 | \$3.000.000 |
| VILLA DEL LAGO | 1310 | 13 | 3 | 10 | 5 | \$3.000.000 | \$1.500.000 |
| EL PONDAJE | 1398 | 13 | 2 | 6 | 2 | \$1.800.000 | \$600.000 |
| VILLABLANCA | 1314 | 13 | 2 | 9 | 2 | \$2.700.000 | \$600.000 |
| PROMOCIONES POPULARES B | 1498 | 14 | 1 | 130 | 15 | \$39.000.000 | \$4.500.000 |
| CIUADAELA DEL RIO | 2197 | 21 | 2 | 35 | 3 | \$10.500.000 | \$900.000 |
| JULIO RINCON | 1208 | 12 | 2 | 0 | 0 | \$ | \$ - |
| YIRA CASTRO | 1390 | 13 | 2 | 15 | 2 | \$4.500.000 | \$600.000 |
| CALIPSO | 1315 | 13 | 3 | 10 | 2 | \$3.000.000 | \$600.000 |
| EL DIAMANTE | 1308 | 13 | 2 | 22 | 10 | \$6.600.000 | \$3.000.000 |
| ANTONIO NARINO | 1604 | 16 | 2 | 61 | 13 | \$18.300.000 | \$3.900.000 |
| EL VERGEL | 1302 | 13 | 1 | 15 | 14 | \$4.500.000 | \$4.200.000 |
| LOS COMUNEROS I | 1502 | 15 | 2 | 89 | 17 | \$26.700.000 | \$5.100.000 |
| LAUREANO GOMEZ | 1503 | 15 | 1 | 24 | 2 | \$7.200.000 | \$600.000 |
| EL RETIRO | 1501 | 15 | 1 | 35 | 7 | \$10.500.000 | \$2.100.000 |
| LOS GUADUALES | 608 | 6 | 3 | 34 | 5 | \$10.200.000 | \$1.500.000 |
| URB. CALIMIO | 697 | 6 | 2 | 24 | 6 | \$7.200.000 | \$1.800.000 |
| SAN LUIS II | 696 | 6 | 2 | 55 | 7 | \$16.500.000 | \$2.100.000 |
| SECT. PUENTE DEL COMERCIO | 698 | 6 | 2 | 16 | 4 | \$4.800.000 | \$1.200.000 |
| BASE AEREA | 711 | 7 | 10 | 0 | 0 | \$ - | \$ - |

| | | | | | | | |
|-------------------------------|------|----|----|-------|-----|------------------|-----------------|
| URB. LA BASE | 818 | 8 | 2 | 15 | 5 | \$4.500.000 | \$1.500.000 |
| SIETE DE AGOSTO | 707 | 7 | 3 | 35 | 10 | \$10.500.000 | \$3.000.000 |
| URB. EL ANGEL DEL HOGAR | 706 | 7 | 2 | 26 | 2 | \$7.800.000 | \$600.000 |
| PLANTA DE TRATAMIENTO | 2199 | 21 | 10 | | | \$ - | \$ - |
| EL TREBOL | 816 | 8 | 3 | 10 | 5 | \$3.000.000 | \$1.500.000 |
| ULPIANO LLOREDA | 1301 | 13 | 2 | 28 | 6 | \$8.400.000 | \$1.800.000 |
| CHARCO AZUL | 1313 | 13 | 1 | 3 | 2 | \$900.000 | \$600.000 |
| NUEVA FLORESTA | 1207 | 12 | 3 | 50 | 11 | \$15.000.000 | \$3.300.000 |
| LLERAS - CINTA LARGA | 1393 | 13 | 1 | 18 | 1 | \$5.400.000 | \$ 300.000 |
| JOSE MANUEL MARROQUIN II | 1405 | 14 | 1 | 45 | 17 | \$13.500.000 | \$5.100.000 |
| SECTOR LAGUNA DEL PONDAJE | 1397 | 13 | 1 | 17 | 3 | \$5.100.000 | \$900.000 |
| FENALCO KENNEDY | | 12 | 3 | 2 | | \$600.000 | \$ - |
| SINDICAL | 1211 | 12 | 3 | 13 | 4 | \$3.900.000 | \$1.200.000 |
| LOS COMUNEROS II | 1305 | 13 | 2 | 63 | 8 | \$18.900.000 | \$2.400.000 |
| JOSE MANUEL MARROQUIN I | 1406 | 14 | 1 | 70 | 9 | \$21.000.000 | \$ 2.700.000 |
| ALFONZO BONILLA ARAGON | 1401 | 14 | 1 | 55 | 10 | \$16.500.000 | \$ 3.000.000 |
| MANUELA BELTRAN | 1403 | 14 | 1 | 139 | 7 | \$41.700.000 | \$2.100.000 |
| EL POBLADO II | 1304 | 13 | 2 | 74 | 11 | \$22.200.000 | \$ 3.300.000 |
| LOS ROBLES | 1311 | 13 | 2 | 19 | 3 | \$5.700.000 | \$900.000 |
| EL POBLADO I | 1303 | 13 | 2 | 34 | 10 | \$10.200.000 | \$3.000.000 |
| MOJICA | 1598 | 15 | 1 | 102 | 14 | \$30.600.000 | \$4.200.000 |
| LAS ORQUIDEAS | 1404 | 14 | 1 | 42 | 8 | \$12.600.000 | \$2.400.000 |
| VILLAMERCEDES I - VILLA LUZ - | 2194 | 21 | 1 | 3 | | \$900.000 | \$ - |
| PASO DEL COMERCIO | 603 | 6 | 2 | 25 | 8 | \$7.500.000 | \$2.400.000 |
| UNION DE VIVIEDA POPULAR | 1603 | 16 | 2 | 32 | 14 | \$9.600.000 | \$ 4.200.000 |
| REPUBLICA DE ISRAEL | | 16 | 2 | 45 | 10 | \$13.500.000 | \$3.000.000 |
| EL VALLADO | 1504 | 15 | 3 | 28 | 9 | \$8.400.000 | \$2.700.000 |
| CIUDAD CORDOBA | | 15 | 2 | 79 | 19 | \$23.700.000 | \$5.700.000 |
| BAJOS CIUDAD CORDOBA | | 15 | 2 | 46 | 6 | \$13.800.000 | \$1.800.000 |
| CIUDADELA FLORALIA | 610 | 6 | 2 | 85 | 22 | \$25.500.000 | \$6.600.000 |
| TOTAL | | | | 2.715 | 555 | \$814.500.000 | \$166.500.000 |
| TOTAL POR MES | | | | | | \$24.435.000.000 | \$4.995.000.000 |

3.3.2.5 Empleo en el sector salud

Para evaluar la afectación sobre el empleo, específicamente el personal médico que se desempeña en el área de la salud, se realizó una búsqueda por puestos de salud, centros de salud y hospitales de los barrios afectados en un TR 500 años,

con el fin de establecer que profesionales tienen al servicio de la comunidad y cuanto es el ingreso que perciben mensualmente.

En el documento Cali en cifras de 2010, se encontró información del personal que labora en puestos de salud, centros de salud y hospitales para 14 barrios de los 95 afectados (Ver Tabla 58).

Tabla 58. Ingresos Promedio de personal médico

| Nombre | Institución | Médico general | Ingreso (\$2.361.847) | Especialista | Ingreso (\$2.900.000) | Odontólogo | Ingreso (\$ 1.700.000) | Enfermeros | Ingreso (1.734.282) | Auxiliar Enfermería | Ingreso (\$1.000.000) | TOTAL SALARIOS |
|--------------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------------|------------|------------------------|------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------|
| PETECUY II | PS | 1 | \$2.361.847 | 0 | 0 | 1 | \$1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$ 6.796.129 |
| CHIMINANGOS II | PS | 1 | \$2.361.847 | 0 | 0 | 0 | \$ | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$5.096.129 |
| PETECUY III | PS | 2 | \$4.723.694 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$9.157.976 |
| PETECUY I | PS | 2 | \$4.723.694 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$9.157.976 |
| SAN MARINO | PS | 1 | \$2.361.847 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$6.796.129 |
| PUERTO MALLARINO | CS | 2 | \$4.723.694 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 2 | \$2.000.000 | \$10.157.976 |
| SAN LUIS | PS | 1 | \$2.361.847 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$6.796.129 |
| ALFONSO LOPEZ III | PS | 2 | \$4.723.694 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$9.157.976 |
| ANTONIO NARINO | CS | 3 | \$7.085.541 | 0 | 0 | 2 | \$3.400.000 | 1 | \$1.734.282 | 4 | \$4.000.000 | \$16.219.823 |
| SAN LUIS II | CS | 3 | \$7.085.541 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 2 | \$2.000.000 | \$12.519.823 |
| SIETE DE AGOSTO | PS | 1 | \$2.361.847 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$6.796.129 |
| UNION DE VIVIEDA POPULAR | PS | 3 | \$7.085.541 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$11.519.823 |
| CIUDADELA FLORALIA | CS | 3 | \$7.085.541 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 2 | \$2.000.000 | \$12.519.823 |
| CIUDADELA FLORALIA | PS | 1 | \$2.361.847 | 0 | 0 | 1 | 1.700.000 | 1 | \$1.734.282 | 1 | \$1.000.000 | \$6.796.129 |
| ALFONSO LOPEZ I | Hospital Joaquín Paz Borrero | 2 | \$4.723.694 | 1 | \$2.900.000 | 1 | 1.700.000 | 6 | \$10.405.692 | 17 | \$17.000.000 | \$36.729.386 |
| TOTAL | | | | | | | | | | | \$166.217.356 | |

PS. Puesto de Salud
CS. Centro de Salud

3.3.2.6 Impuesto por Megaobras

Del link <http://www.slideshare.net/jairocastillo/21-megaobras-cali#btnNext>, Cali, 21 Megaobras, se obtiene el valor recaudado por megaobras durante cinco años en las diferentes comunas de la ciudad.

La simulación para TR de 500 años con 6 boquetes de 150m arroja un escenario de inundación con afectación de 95 barrios, así que se estima el porcentaje de afectación por comuna al contabilizar cuantos de los barrios de cierta comuna se verían afectados. Este porcentaje de afectación se aplica al valor mensual recaudado. Tal como se muestra en la **Tabla 59**.

Tabla 59. Recaudo impuesto por Megaobras

| MEGAOBRAS | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|----------------------|--------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|
| Comuna | N° de barrios | N° barrios afectados | % Afectación | Total contribución (5 años) | Contribución (1mes) | Valor que no se recauda |
| 5 | 12 | 9 | 75 | \$34.182.753.343 | \$569.712.556 | \$427.284.417 |
| 6 | 14 | 14 | 100 | \$20.128.789.650 | \$335.479.828 | \$335.479.828 |
| 7 | 13 | 11 | 85 | \$14.171.636.925 | \$236.193.949 | \$199.856.418 |
| 8 | 18 | 2 | 11 | \$24.305.769.777 | \$405.096.163 | \$45.010.685 |
| 13 | 22 | 21 | 95 | \$16.627.202.789 | \$277.120.046 | \$264.523.681 |
| 14 | 10 | 10 | 100 | \$12.360.753.260 | \$206.012.554 | \$206.012.554 |
| 15 | 7 | 7 | 100 | \$16.071.038.271 | \$267.850.638 | \$267.850.638 |
| 16 | 7 | 3 | 43 | \$11.883.765.242 | \$198.062.754 | \$84.884.037 |
| 21 | 14 | 14 | 100 | \$16.162.247.823 | \$269.370.797 | \$269.370.797 |
| VALOR QUE NO SE RECAUDA | | | | | | \$2.100.273.055 |

3.3.2.7 Resumen de pérdidas indirectas

En la Tabla siguiente se presenta la síntesis de pérdidas económicas indirectas por mes.

Tabla 60. Pérdidas económicas por mes

| FACTORES A EVALUAR | COSTO MES (\$) |
|-------------------------------|--------------------------|
| SERVICIOS PUBLICOS | |
| Acueducto | \$19.537.431.330 |
| Alcantarillado | \$17.366.605.627 |
| Gas | \$1.464.828.887 |
| Energía | \$4.795.474.329 |
| METROCALI | |
| Troncal de Agua Blanca | \$19.200.000.000 |
| TIENDAS DE BARRIO | \$24.435.000.000 |
| PANADERIA DE BARRIO | \$4.995.000.000 |
| EMPLEO EN SECTOR SALUD | \$166.217.356 |
| MEGAOBRAS | \$2.100.273.055 |
| AYUDA HUMANITARIA | |
| Arriendo | \$33.323.000.000 |
| Kit Alimentos y aseo | \$58.315.250.000 |
| TOTAL | \$185.699.080.584 |

3.3.3 Estimación de pérdidas transitorias

La teoría económica establece que siendo los terrenos un activo fijo no tiene el mismo tratamiento que los demás de su rango, tales como, edificios, maquinaria, equipo, vehículos, etc., en cuanto a que se pueden depreciar³³ por el uso, deterioro natural u obsolescencia, razón por la cual, en el tiempo su valor tiende a cero, mientras que los terrenos por el contrario mantiene su valor.

³³ Depreciación.-una disminución en el valor de la propiedad debido al uso, al deterioro y a la caída en desuso. Anthony J Tarquin, Leland T. Blank. Ingeniería Económica. La depreciación es la disminución en el valor de mercado de un bien, la disminución en el valor de un activo para su propietario, o la asignación del costo uso o demerito de un activo a lo largo de su vida útil. <http://financierosudl/conceptosfinancieros>.

No obstante, el tratamiento pierde validez en situaciones en que el valor comercial de los terrenos se ve afectado en situaciones en que los fenómenos naturales tales como sismos o inundaciones los afecten de manera significativa, por cuanto su esencia representada o definida en el valor de uso ³⁴deja de ser la variable principal. Quiere decir esto que, en el caso concreto de este Estudio, los terrenos inundados dejan de ser demandados por la comunidad para la construcción de vivienda. Se tendría entonces que evaluar si los terrenos después de una experticia adquieren un valor alternativo³⁵ de acuerdo o en la eventualidad de una nueva destinación.

Para propósitos de la valoración de esta pérdida transitoria, consideramos que los terrenos objeto de este Estudio, su valor tiende a cero en la medida del tiempo y del alcance o penetración de la inundación de los predios que comprenden el área afectada. Así se ha considerado en la estimación de las pérdidas totales con motivo de la inundación, y así se mantendrá, en la medida en que se considere viable por parte del Gobierno Nacional, Departamental y Municipal, las inversiones necesarias para la recuperación de los predios representadas en los costos que demande el secado de los terrenos, la adecuación de los servicios públicos básicos, representado en agua, alcantarillado, luz, gas, comunicaciones de todo tipo, más la inversión en la reconstrucción del dique con las nuevas especificaciones técnicas. Todas estas variables combinadas en el tiempo nos darán la función que impulsarán la recuperación de los terrenos y por consiguiente su nuevo valor comercial. En la Tabla 61 se presentan las pérdidas transitorias estimadas por periodo de retorno.

³⁴ Valor de uso: utilidad de una cosa, capacidad que posee de satisfacer una necesidad cualquiera que sea ya sea del hombre o de la sociedad. El valor de uso está dado por las propiedades físicas, químicas y otras propiedades naturales del bien o cosa y también por las que haya adquirido a consecuencia de la actividad humana dirigida a su fin. El estudio del valor de uso como tal, es decir, de las propiedades naturales de las cosas, corresponde al peritazgo mercantil y de otras ciencias aplicadas. La particularidad de uso de un bien estriba en que tal valor ha de poseer las propiedades de satisfacer necesidades del que compra el bien, ha de actuar como valor social de uso. www.eumed.net/valordeuso

³⁵ Valor alternativo.-es el mayor y mejor valor de uso, distinto de aquel que se destina o pretende destinarle la propiedad o para el nuevo uso que se pretende explotar para la empresa o poseedor. www.euroval.com/glosariodeterminos.

Tabla 61. Perdidas transitorias

| Componente | Tr100 | | | Tr250 | | | Tr500 | | |
|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|------------|
| | Expuesto | Perdidas | % perdidas | Expuesto | Perdidas | % perdid | Expuesto | Perdidas | % perdidas |
| SUELO | 1,7413E+12 | 1,7413E+12 | 100,00 | 1,97236E+12 | 1,97236E+12 | 100,00 | 2,26E+12 | 2,26E+12 | 100,00 |

3.3.4 Resumen de pérdidas totales

En las siguientes tablas se presenta la síntesis de los resultados de los costos totales que representan la sumatoria de los costos directos, indirectos y transitorios, tanto para exposición como de perdidas

Tabla 62. Costos de los elementos expuestos

| COSTOS DE EXPOSICIÓN | TR 500 | TR 250 | TR 100 |
|---|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| EXPOSICIÓN DIRECTA | \$ 6.928.542.120.887,00 | \$ 6.097.117.066.380,56 | \$ 4.877.693.653.104,45 |
| EXPOSICIÓN INDIRECTA | \$ 835.645.862.627,45 | \$ 742.796.322.335,51 | \$ 612.806.965.926,80 |
| EXPOSICIÓN TRANSITORIA | \$ 2.262.930.000.000,00 | \$ 1.972.360.000.000,00 | \$ 1.741.300.000.000,00 |
| COSTO TOTAL | \$ 10.027.117.983.514,50 | \$ 8.812.273.388.716,07 | \$ 7.231.800.619.031,25 |
| | USD 5.515.466.437,58 | USD 4.847.235.087,30 | USD 3.977.888.129,28 |
| Porcentaje expuesto en relación con el PIB 2011 | 1,7% | 1,5% | 1,2% |

Tabla 63. Costos de pérdida

| PERDIDAS | TR 500 | TR 250 | TR 100 |
|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| PERDIDAS DIRECTAS | \$ 4.191.307.833.266,00 | \$ 3.791.244.076.835,00 | \$ 3.183.548.950.217,00 |
| PERDIDAS INDIRECTAS | \$ 835.645.862.627,45 | \$ 742.796.322.335,51 | \$ 612.806.965.926,80 |
| PERDIDAS TRANSITORIAS | \$ 2.262.930.000.000,00 | \$ 1.972.360.000.000,00 | \$ 1.741.300.000.000,00 |
| COSTO TOTAL | \$ 7.289.883.695.893,45 | \$ 6.506.400.399.170,51 | \$ 5.537.655.916.143,80 |
| | USD 4.009.837.016,44 | USD 3.578.878.107,35 | USD 3.046.015.355,41 |
| Porcentaje de pérdida en relación con el PIB 2011 | 1,2% | 1,1% | 0,92% |

3.3.5 Curva de optimización económica

Las curvas de optimización económica se elaboran para poder definir cuál es la mejor opción para invertir en la protección de elementos considerados frente a inundaciones para diferentes periodos de retorno. Para el caso de este estudio se definieron cuatro TR: 100, 250, 500 y 2000 años.

En ese sentido la decisión se toma con base en la integración de las curvas de Inversión, el valor de riesgo y los costos totales.

En este estudio se aplican los principios utilizados en los Países Bajos para la estimación del riesgo basado en el diseño de sistemas de protección contra inundaciones. Esto consiste en realizar un **análisis de optimización económica**³⁶ para definir la altura optima de los diques a intervenir, que considera la valoración y cruce de tres variables: (A). La inversión para intervenir los diques; (B). El costo de perdida de los elementos expuestos; y (C). El costo total (A+B).

Tabla 64. Costos de inversión

| TR | ELEVACIÓN DIQUE* + RELOCALIZACIÓN DE VIVIENDAS** | REFORZAMIENTO O SÍSMICO CIMENTACIÓN DIQUES*** | PLANTA PUERTO MALLARINO | PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - PTAR | PLANTA DE BOMBEO ESTACIÓN PASO DEL COMERCIO | BASURO DE NAVARRO | TOTAL (PESOS) |
|------|--|---|-------------------------|--|---|-------------------|--------------------|
| 100 | \$105.884.875.000 | \$ 57.600.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 2.500.000.000 | \$ 21.300.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 209.284.875.000 |
| 250 | \$110.181.226.563 | \$ 57.600.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 2.500.000.000 | \$ 21.300.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 213.581.226.563 |
| 500 | \$112.859.635.000 | \$ 57.600.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 2.500.000.000 | \$ 21.300.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 216.259.635.000 |
| 2000 | \$117.312.751.000 | \$ 57.600.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 2.500.000.000 | \$ 21.300.000.000 | \$ 11.000.000.000 | \$ 220.712.751.000 |
| * | Elevación dique (1 m mas alto) | | | | | | |
| ** | 2620 viviendas x \$40.000.000 cada una | | | | | | |
| *** | Dique aguablanca 10 km a (3600 millones x km) Dique canal interceptor sur 6 km (2700 millones x km) | | | | | | |

³⁶ El análisis de optimización económica fue planteado después del desastre ocurrido al sur oeste de Holanda en 1953, donde la Delta Commission pregunto al profesor Van Dantzing como resolver el problema de la decisión económica relacionada con la altura optima de los diques (Eijgenramm, 2006).

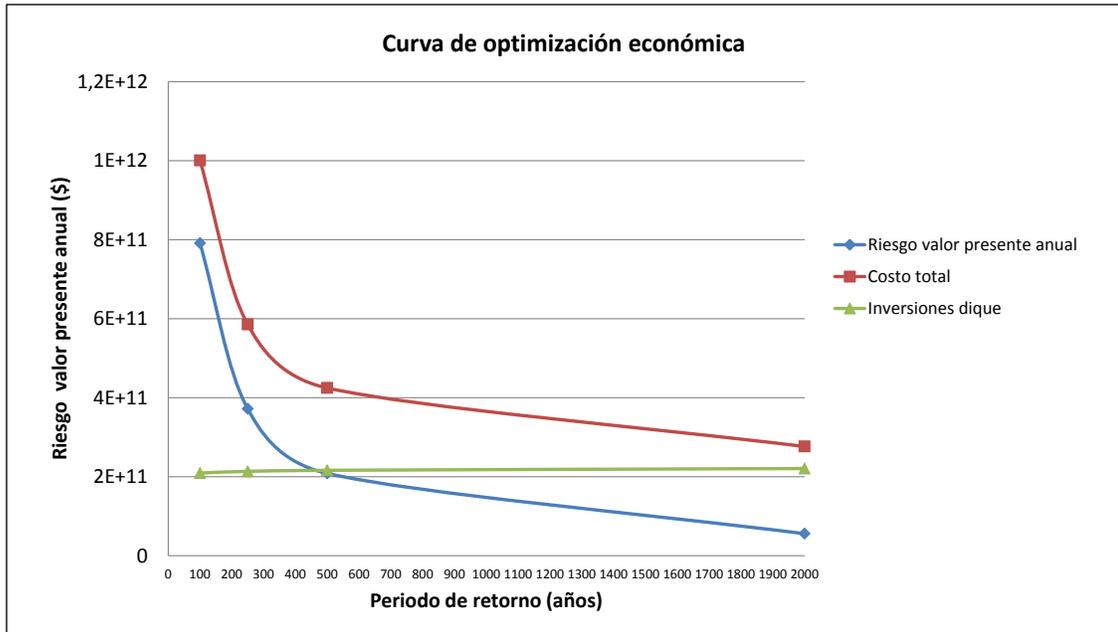


Figura 105. Curva de optimización económica

BIBLOGRAFÍA

- Bubeck, P., de Moel, H., Bouwer, L. M., and Aerts, J. C. J. H.: How reliable are projections of future flood damage?, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 3293-3306, doi:10.5194/nhess-11-3293-2011, 2011.
- Bussi, G., Ortiz, E., Francés, F., Pujol, L., Gabaldón, R., Guna, V., Bellver, V., Sempere, J.: Modelación hidráulica y análisis del riesgo de inundación según las líneas guía de la Directiva Marco de Agua. El caso de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante). 2011.
- CVC – Universidad del Valle (2005). Optimización y aplicaciones de los modelos hidrodinámico, sedimentológico y morfológico del río Cauca tramo La Balsa – La Virginia. PMC Fase II. Cali, Colombia.
- Davis, S., Skaggs, L.: Catalog of residential depth-damage functions used by the Army Corps of Engineers in flood damage estimation, IWR, report, 92-R3, 1992.
- Eijgenraam C.J.J. Optimal safety standards for dike-ring areas. CPB Discussion Paper No. 62, March 2006.
- Genovese, E.: A methodological approach to land use-based flood damage assessment in urban areas: Prague case study. European Commission. ISSN 1018-5593, p. 49, 2006.
- Jonkman, S., Kok, M., Ledden, M., Vrijling.: Risk- based desing of flood defence systems: a preliminary analysis of the optimal protection level for the New orleansmetropolitan área. *Journal of flood Risk Management*. DOI:10.1111/j.1753-318x.2009.01036.x, 2009.
- Ley 1523/2012, de 24 de abril, Diario oficial N, 48.411. Por la cual se adopta la política nacional de gestión de riesgo de desastres y se establece el

Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre y se dictan otras disposiciones. P, 16.

- Pistrika, A: Flood damage estimation based on flood simulation scenarios and GIS platform, *European Water*, 30: 3-11, 2010.
- Sandoval (2012) Protección contra inundaciones del Valle del Cauca. María Clemencia Sandoval. CVC. Descargado 28 de septiembre de 2012.
- Witharana, C. Meyer, T. Civco, D. Osleeb, J: Developing a new ArcGIS tool to quantify building-content vulnerability from Storm – Surge Inundation. University of Connecticut.
- Vanneuville, W., De Rouck, K., Maeghe, K., Deschamps, M., De Maeyer, P., Mostaert, F.: Spatial calculation of flood damage and risk ranking. 2004
- Zhang, Y. (2006) CCHE-GUI – Graphical User Interface for NCCHE model. User's Manual v3.0. University of Mississippi, MS, USA.