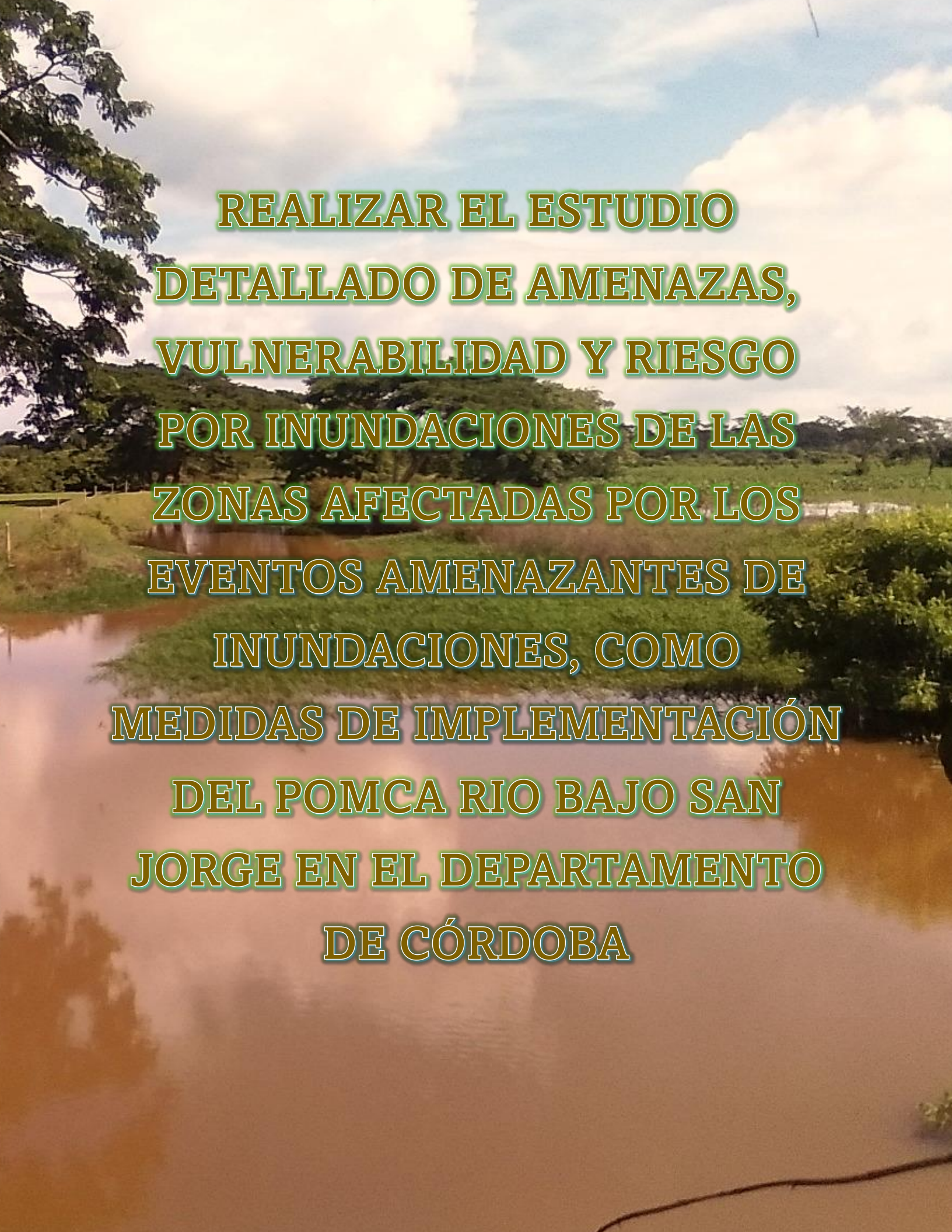


REALIZAR EL ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR INUNDACIONES DE LAS ZONAS AFECTADAS POR LOS EVENTOS AMENAZANTES DE INUNDACIONES, COMO MEDIDAS DE IMPLEMENTACIÓN DEL POMCA RIO BAJO SAN JORGE EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

CONSORCIO
CAÑO ARCIAL

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINU Y DEL SAN JORGE
CVS
Cordoba
Territorio Sostenible

INFORME FINAL

CONSORCIO CAÑO ARCIAL
CONSULTOR

MONTERIA, DICIEMBRE 2023

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Director General

Dr. Orlando Rodrigo Medina Marsiglia

Asesor de Dirección

Dra. María Angélica Sáenz Espinoza

Secretario General

Dr. Cesar Otero Flórez

Subdirector de Planeación y Supervisor

Dr. Marcelo Escalante Barguil

Subdirector de Gestión Ambiental

Dr. Albeiro Arrieta López

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge

Carrera 6 No. 61-25 Barrio Los Bongos

PBX(60+4)7890605

Montería 2023

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

www.cvs.gov.co
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN 12
2. ESTUDIOS TÉCNICOS ANTECEDENTES 14
3. MARCO NORMATIVO Y LEGAL 18
3.1 Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974 18
3.2 Ley 09 de 1989 18
3.3 Constitución política de la república de Colombia 18
3.4 Ley 152 de 1994 18
3.5 Ley 388 de julio de 1997 18
3.6 Ley 400 de 1997 18
3.7 Decreto 879 de 1998 18
3.8 Decreto 4002 de 2004 18
3.9 Ley 1523 de 2012. 19
3.10 Decreto 1807 del 19 de septiembre del 2014. 21
3.11 Análisis detallado de amenaza de inundación. 21
3.12 Evaluación de vulnerabilidad. 22
3.13 Evaluación del riesgo. 22
3.14 Medidas de Intervención. 23
3.15 Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015. 23
3.16 Ley 1955 de 2019 23
4. MARCO TEÓRICO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO 24
4.1 Conceptualización de Amenazas. 24
4.2 Conceptualización de la Vulnerabilidad. 24
4.3 Elementos expuestos 25
4.4 Mitigación 25
4.5 Periodo de retorno 25
4.6 Probabilidad 25
4.7 Riesgo 25
5. METODOLOGÍA. 25
5.1 Método para el análisis de amenazas naturales por inundación 25
5.2 Metodología para la evaluación y categorización de la vulnerabilidad 28
5.3 Evaluación de la exposición (física). 30

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

5.4 Identificación de la susceptibilidad o fragilidad 31
5.5 Identificación de la susceptibilidad económica 35
5.6 Metodología para el análisis de Riesgo 37
6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 38
6.1 Caracterización del área de estudio 38
6.1.1 Descripción general 38
6.1.2 Antecedentes históricos de tenencia de la tierra. 41
6.1.3 Antecedentes de la gestión del riesgo en el municipio. 41
6.1.4 Geología regional. 42
6.1.5 Estratigrafía local. 44
6.1.6 Geomorfología. 44
6.1.7 Suelos 54
6.1.8 Coberturas de la tierra 56
6.1.9 Climatología. 58
6.1.10 Características socioeconómicas 58
7. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 59
7.1 ANÁLISIS DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN. 60
7.1.1 Caracterización general del área de estudio 60
7.1.2 USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO 62
7.1.3 Análisis de precipitación 64
7.1.4 Análisis de consistencia 66
7.1.5 Análisis de homogeneidad 68
7.1.6 Precipitaciones totales 73
7.1.7 Estimación de curvas IDF 74
7.1.8 Distribución temporal de la precipitación - tormenta de diseño 77
7.1.9 Modelo lluvia – escorrentía y acoplamiento modelo hidráulico 78
7.1.10 Modelo lluvia-escorrentía: soil conservation service (scs) 79
7.1.11 Modelo hidrológico-hidráulico: HEC-RAS 2D 81
7.1.12 Tiempo de concentración (Tc) 81
7.1.13 Análisis hidráulico 84
7.1.14 Parámetros y variables del modelo hidráulico 85
7.1.15 Resumen de caudales de entrada al área de estudio 97

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.16 Condiciones de contorno de salida 99
7.1.17 Condición inicial del sistema 99
7.1.18 Salidas del modelo hidráulico 100
7.1.19 Validación del modelo hidráulico 100
7.1.20 Resultados condición actual 102
7.1.21 Zonificación de amenazas por inundación 103
7.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA ZONA (SIN MEDIDAS DE INTERVENCIÓN) 105
7.2.1 Análisis de exposición 105
7.2.2 Viviendas. 106
7.2.3 Zonas de producción. 108
7.2.4 Análisis de susceptibilidad 108
7.2.5 Función de Profundidad- Daño para bienes muebles. 108
7.2.6 Función de Profundidad- Daño para Infraestructura de vivienda (bienes inmuebles) 109
7.2.7 Función de Profundidad- Daño para Cultivos. 111
7.2.8 Vulnerabilidad física 112
7.2.9 Vulnerabilidad bioquímica 117
7.2.10 Resultados 122
7.2.11 Resultados evaluación de daños en infraestructura de vivienda proyectada... 122
7.2.12 Resultados evaluación de daños en contenido de vivienda proyectada. 124
7.2.13 Resultados evaluación de daños en cultivos. 126
7.2.14 Evaluación o valoración económica de la vulnerabilidad 135
7.2.15 Evaluación económica de construcciones. 135
7.2.16 Evaluación económica de contenidos o bienes muebles (de las viviendas). ... 136
7.2.17 Valoración económica de cultivos. 136
7.2.18 Pérdidas económicas según porcentaje de daño esperado 137
7.2.19 Pérdidas económicas por daños a bienes muebles. 137
7.2.20 Pérdidas económicas por daños a la estructura de la vivienda. 138
7.2.21 Pérdidas económicas por daños en cultivos. 140
7.2.22 Clasificación Normativa de Vulnerabilidad. 146
7.3 ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIONES (SIN MEDIDAS DE INTERVENCIÓN O SITUACIÓN ACTUAL). 147

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3.1 Representación cartográfica de las pérdidas económicas por períodos de retorno. 150
7.3.2 Mapa de Riesgo 154
7.3.3 Evaluación del riesgo con medidas de intervención 156
7.3.4 Propuestas y evaluación de Alternativa de mitigación 158
7.3.5 Ampliación y reconformación de canal principal 160
7.3.6 Cuencas de retención para amortiguar crecidas 161
7.3.7 Inundación del área con medidas de intervención 164
7.4 RESULTADOS. 167
7.4.1 Análisis presupuestal de medidas de intervención. 168
7.4.2 Análisis costo de oportunidad de las medidas de intervención. 170
7.4.3 Cuadro de análisis costo de oportunidad de las medidas de intervención. 173
7.4.4 Zonificación de amenazas por inundación con las medidas de mitigación. 174
7.4.5 Zonificación de la vulnerabilidad por inundación con las medidas de mitigación. 175
7.4.6 Zonificación de riesgo por inundación con las medidas de mitigación. 177
7.4.7 Análisis de las medidas de intervención en la ronda hídrica 179
7.4.8 Medida de intervención (o mitigación) y su incidencia en la ronda hídrica. 179
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 182
8.1 Conclusiones Generales. 182
8.2 Conclusiones Específicas. 183
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 185

Tabla de Figuras

Figura 1 Susceptibilidad por inundaciones ____ *15*
Figura 2 Mapa de amenaza por inundaciones Pueblo Nuevo ____ *16*
Figura 3 Mapa de áreas inundables ____ *17*
Figura 4 Tipos de daños por inundación y condiciones de flujo ____ *28*
Figura 5 Función de vulnerabilidad ____ *30*
Figura 6 Función de vulnerabilidad ____ *32*
Figura 7. Función de vulnerabilidad para el tipo Acero_1. ____ *33*
Figura 8. Función de vulnerabilidad para el tipo Ladrillo_1. ____ *33*
Figura 9. Función de vulnerabilidad para el tipo Tubos Metálicos y Metálicos PVC_1. ____ *33*
Figura 10. Función de vulnerabilidad para el tipo Madera_1. ____ *33*
Figura 11. Función de vulnerabilidad para el tipo Concreto base_1. ____ *34*
Figura 12. Vulnerabilidad física del Maíz en etapa de siembra ____ *34*
Figura 13. Vulnerabilidad física de Arroz en etapa de siembra ____ *34*

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Figura 14. Vulnerabilidad física del Maíz en etapa vegetativa 34
Figura 15. Vulnerabilidad física de Arroz en etapa vegetativa 34
Figura 16. Vulnerabilidad bioquímica del Plátano en etapa vegetativa. Inundación de 2 días 35
Figura 17. Vulnerabilidad bioquímica del Plátano en etapa de siembra. Inundación de 2 días 35
Figura 18 Ubicación general área de estudio 40
Figura 19. Mapa geológico los colores siguiendo el estándar del Servicio Geológico Colombiano. 43
Figura 20 Mapa Geomorfológico escala 1:100.000 45
Figura 21 Modelo de elevación digital combinado de 4 metros de resolución 47
Figura 22 Modelo de Elevaciones 0,5 m de resolución espacial (LIDAR) 48
Figura 23 Mapa de pendientes del terreno 50
Figura 24 Mapa de Subunidades Geomorfológicas 54
Figura 25 Tipos de Suelos 55
Figura 26 Coberturas de la tierra 56
Figura 27 Uso Actual del suelo 57
Figura 28. Localización cuenca principal 61
Figura 29. Modelo digital de elevación de la cuenca de estudio 62
Figura 30. Mapa del uso y cobertura del suelo de la cuenca de estudio. 63
Figura 31. Localización de las estaciones pluviométricas disponibles y seleccionadas. 65
Figura 32. Análisis de doble masa para precipitaciones medias mensuales para la estación Cintura y Planeta Rica entre 1976 y 2022. 66
Figura 33 Comparación de las series de precipitación diaria adimensional para las estaciones seleccionadas. 67
Figura 34.Comparación de las series de precipitación media mensual adimensional para las estaciones seleccionadas. 68
Figura 35. Prueba de detección de cambio en la media en la estación Cintura 70
Figura 36. Prueba de detección de cambio en la media en la estación Planeta Rica 71
Figura 37. Tendencia de la media en los registros de la estación Cintura. 72
Figura 38. Tendencia de la media en los registros de la estación Planeta Rica. 73
Figura 39. Ciclo anual de precipitación en estación analizada 74
Figura 40. Curva IDF sintética para estación representativa. 77
Figura 41. Hietogramas de proyecto para diferentes periodos de retorno. 78
Figura 42. Discretización de la cuenca en células computacionales sobre las cuales se aplica la separación lluvia-escorrentía 79
Figura 43. Mapa distribuido de CN para la cuenca de estudio. 81
Figura 44. Hidrograma de salida de la cuenca para una lluvia constante/uniforme de 100 mm/h, considerando tres resoluciones de malla computacional. 82
Figura 45. Tiempo de concentración de los tres principales afluentes y salida de la cuenca aferente. 83
Figura 46 - Modelo digital de terreno de 4m x 4m acoplado con ALOS Palsar de 12,5m x 12,5m. Malla computacional de modelo de cuenca aferente. 86
Figura 47- Modelo Digital de Terreno derivado de satélite de 4m x 4m acoplado con modelo LiDAR de 0,5m x 0,5m. Izquierda: malla computacional de modelo de detalle. En rojo se muestran los predios objeto de restitución. 87
Figura 48 – Malla computacional de modelo hidrológico-hidráulico distribuido de cuenca aferente completa. 88
Figura 49– Malla computacional del modelo hidráulico de la ciénaga Arcial alimentado en sus afluentes y que a su vez alimentará el modelo detalle de la zona de interés. 89
Figura 50 – Malla computacional del modelo hidráulico de zona de estudio. Este modelo es alimentado por las salidas de la ciénaga Arcial y los aportes por desbordamiento del río San Jorge. 89

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Figura 51. Mapa distribuido del coeficiente de Manning de la cuenca aferente. 90
Figura 52. Mapa distribuido del coeficiente de Manning del área de estudio. 91
Figura 53. Análisis de frecuencia de caudales máximos en estación Marralu. 92
Figura 54. Izquierda: tormenta de diseño uniformemente distribuida sobre cuenca aferente con salida libre (profundidad normal). Derecha: hidrogramas de diseño introducidos en modelo de refinado de Ciénaga Arcial con salida libre (profundidad normal). 94
Figura 55. Hidrogramas de caudales de entrada al área de estudio provenientes de la cuenca de Ciénaga Arcial, para diferentes periodos de retorno. 96
Figura 56. Análisis de frecuencia de caudales máximos en estación Marralu. 98
Figura 57. Espejo de agua observado y simulado después de la calibración del modelo. 101
Figura 58. Inundación simulada comparada con puntos de nivel y alcance de la inundación levantados en campo. 102
Figura 59. Profundidad y velocidad en el momento de máxima inundación. 103
Figura 60 Mapa de zonificación de amenazas por inundación 104
Figura 61 Planimetría especificaciones técnicas vivienda rural 107
Figura 62 Curva de daño contenidos de vivienda 109
Figura 63 Curva de daños elementos estructurales tipo muro 110
Figura 64 Curva de daños elementos estructurales tipo puertas metálicas 110
Figura 65 Curva de daños elementos estructurales tipo piso esmaltado 111
Figura 66 Curva de daños elementos estructurales tipo ventana metálica 111
Figura 67 Función de vulnerabilidad física.(Arroz_fase 1) 113
Figura 68 Función de vulnerabilidad física.(Arroz_fase 2) 113
Figura 69 Función de vulnerabilidad física.(Maíz_fase 1) 114
Figura 70 Función de vulnerabilidad física.(Maíz_fase 2) 114
Figura 71 Función de vulnerabilidad física. (Patilla_fase 1) 115
Figura 72 Función de vulnerabilidad física. (Patilla_fase 2) 115
Figura 73 Función de vulnerabilidad física. (Yuca_fase 1) 116
Figura 74 Función de vulnerabilidad física. (Yuca_fase 2) 116
Figura 75 Vulnerabilidad Física cultivos Fase 1 y 2 117
Figura 76 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 1_dia 0) 119
Figura 77 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 1_dia 01) 119
Figura 78 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 1_dia 2) 120
Figura 79 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 0) 120
Figura 80 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 1) 121
Figura 81 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 2) 121
Figura 82 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 4) 122
Figura 83 Mapa de daños tangibles en infraestructura de vivienda – según ubicación proyectada 123
Figura 84 Mapa de daños tangibles en bienes muebles o contenidos de vivienda – en caso de ubicación en áreas inundables 125
Figura 85 Vulnerabilidad física cultivos de Arroz Fase 1. 127
Figura 86 Vulnerabilidad física cultivos de Arroz Fase 2. 128
Figura 87 Vulnerabilidad física cultivos de Maiz Fase 1. 129
Figura 88 Vulnerabilidad física cultivos de Maiz Fase 2. 130
Figura 89 Vulnerabilidad física cultivos de Plátano Fase 1. 131
Figura 90 Vulnerabilidad física cultivos de Plátano Fase 2. 132
Figura 91 Vulnerabilidad física cultivos de Yuca Fase 1. 133

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Figura 92 Vulnerabilidad física cultivos de Yuca Fase 2. 134
Figura 93 Pérdidas económicas directas para bienes muebles o contenidos más probables de encontrar 138
Figura 94 Pérdidas económicas directas para infraestructura de vivienda tipo 140
Figura 95 Zonificación de vulnerabilidad por inundación (sin medidas de intervención) 146
Figura 96. Pérdidas económicas probables 148
Figura 97 Mapa de pérdidas económicas esperadas anualmente 149
Figura 98 Pérdidas económicas totales tr 10 años. 151
Figura 99 Pérdidas económicas totales tr 50 años. 152
Figura 100 Pérdidas económicas totales tr 100 años. 153
Figura 101 Zonificación de riesgo por inundación (sin medidas de intervención) 155
Figura 102 Zonificación de la ronda hídrica para los predios de estudio 157
Figura 103. Localización de las medidas de mitigación para la alternativa 1 159
Figura 104. Perfil transversal y longitudinal de canal principal en condición actual y proyectado. 160
Figura 105. VIVIENDA PALAFÍTICA TIPO 162
Figura 106. Criterios para la construcción de una vivienda palafítica 163
Figura 107. Distribución espacial vivienda palafítica tipo 164
Figura 108. Mapa de profundidad y velocidad máximo de inundación, para evento de periodo de retorno de 100 años sin y con medidas de mitigación propuestas. 165
Figura 109. Mapa de profundidades de inundación tr 100 167
Figura 110 Zonificación de amenaza por inundación (con medida de intervención) Alternativa 1 174
Figura 111 Vulnerabilidad alternativa 1 176
Figura 112 Riesgo por inundaciones (No Mitigable) 178
Figura 113 Impacto medida intervención ronda hídrica 180

Tabla de Tablas

Tabla 1 Métodos de análisis para estudios básicos y detallados. 26
Tabla 2 Criterios y rangos para zonificación de amenazas por inundación 28
Tabla 3 Categorización de la Vulnerabilidad 36
Tabla 4. Nivel de Riesgo 38
Tabla 5 Rangos de pendientes en porcentaje. 49
Tabla 6. Parámetros morfométricos de cuencas analizadas. 62
Tabla 7. Uso del suelo de la cuenca de estudio. 63
Tabla 8. Características generales de las estaciones pluviométricas 65
Tabla 9. Resultados de detección de Outliers para la estación Cintura 69
Tabla 10. Parámetros utilizados 71
Tabla 11. Valores de los parámetros de regresión en Colombia. 75
Tabla 12. Valores de N, M y PT en estación empleada. 75
Tabla 13. Para diferentes resoluciones de malla: tiempo de concentración, número de células computacionales, tiempo de cálculo y el cociente entre el tiempo real simulado y el tiempo que tomó hacer el cálculo. 83
Tabla 14. Número de Manning en función de la cobertura. 90
Tabla 15. Caudales máximos (m3/s) en el río San Jorge para diferentes periodos de retorno (ajuste a una distribución normal de probabilidad). El caudal efectivamente aplicado es obtenido restando el caudal medio diario de 379,65 m3/s. 93

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 16. Caudales máximos de hidrogramas de entrada por los canales resultado de las bifurcaciones de Caño Molino. 97
Tabla 17. Análisis de frecuencia de caudales máximos en estación Marralu. 99
Tabla 18 Daños bienes muebles 137
Tabla 19 Daños elementos estructurales tipo muro ladrillo 138
Tabla 20 Daños elementos estructurales tipo puerta metálica 139
Tabla 21 Daños elementos estructurales tipo piso esmaltado 139
Tabla 22 Daños elementos estructurales tipo Ventana metálica 139
Tabla 23 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de arroz fase 1. 141
Tabla 24 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de arroz fase 2. 141
Tabla 25 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de maíz fase 1. 142
Tabla 26 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de maíz fase 2. 142
Tabla 27 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de yuca fase 1. 143
Tabla 28 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de yuca fase 2. 143
Tabla 29 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 1- menos de 1 día. 143
Tabla 30 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 1- día 1. 144
Tabla 31 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 1- día 2. 144
Tabla 32 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- menos de 1 día. 144
Tabla 33 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- día 1. 145
Tabla 34 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- día 2. 145
Tabla 35 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- día 4. 145
Tabla 36. Cálculos de la pérdida económica anual esperada 147
Tabla 37. Cálculos de la pérdida económica anual esperada propuesto por las comunidades 148
Tabla 38. Características de las estructuras propuestas para alternativa de mitigación A1. 159
Tabla 39 Costos de intervención_ alternativa: Vivienda palafítica 168
Tabla 40 Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 1: Canal 169
Tabla 41. Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 2: Cuenca de retención N° 1 169
Tabla 42. Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 3: Cuenca de retención N° 2 169
Tabla 43. Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 4: Cuenca de retención N° 3 170
Tabla 44 Análisis financiero del impacto económico intervención sobre riesgo de inundaciones en la zona 173

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

1. INTRODUCCIÓN

La Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge CVS, tiene como función analizar, hacer seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes, en virtud de lo estipulado en la Leyes 99 de 1993 y 1523 del 2012, y en los decretos 2811 de 1974, 4002 del 2004, 1807 del 2014 y 1077 del 2015. En razón a ello, la CVS viene detectando desde hace más de 30 años la problemática ambiental ocasionada por las inundaciones en su jurisdicción, especialmente en las subzonas hidrográficas Rio Medio y Bajo Sinú y Rio Bajo San Jorge.

El Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Pueblo Nuevo (2017), registró que el 27% del territorio está localizado en zonas de amenaza alta sujeta a fenómenos de inundaciones. Esta población, generalmente se encuentra asentada en zonas de influencia de los cauces y unidades aluviales tales como Basines, Orillares, Madrevieja, entre otras, que por sus características geomorfológicas y fenómenos hidroclimatológicos como lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas, ocasionan crecientes que desbordan y dispersan el agua, generando impacto en sus zonas adyacentes, como las llanuras aluviales, las cuales en condiciones normales no se encuentran sumergidas, estas áreas se han identificado principalmente en los corregimientos de Nueva Esperanza, El chipal, Arcial, Puerto Santo y Cintura. Así mismo, para el caso de Buenavista, El Esquema de Ordenamiento Territorial de Buenavista (2017), registró que el 22% del territorio se encuentra en amenaza alta por inundación especialmente correspondiente a los corregimientos de Tierra Santa y Villa Fátima.

Para atender la problemática ambiental generada por las inundaciones, la corporación ha contratado la consultoría para REALIZAR EL ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR INUNDACIONES PARA 4 PREDIOS OBJETO DE RESTITUCIÓN DE TIERRAS DE LAS SENTENCIAS 23001-31-21-001-2018-00136-01, 23001-31-21-003-2018-00002-01, 23001-31-21-002-2017-00149-00, 23001312100120170014401, EN LOS MUNICIPIOS DE PUEBLO NUEVO Y BUENAVISTA, DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

Las investigaciones para el análisis de riesgos naturales se fundamentan en el conocimiento de los peligros o amenazas naturales a los que está expuesto el ser humano, y a partir de ahí, se establecen a distintos niveles de escala y detalle los elementos del territorio con los que cuenta el ser humano para hacerle frente a dicha amenaza; es decir, lo que se conoce como vulnerabilidad.

De hecho, la normatividad colombiana busca como objeto principal, la aplicación de los estudios para el inventario, señalamiento, delimitación y tratamiento de los asentamientos expuestos con el fin primordial de preservar la vida de las comunidades y sus bienes esenciales (la vivienda y medios de subsistencia o producción).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

El documento del fallo del Tribunal Superior de Antioquía determinó que existe una necesidad de conocer las condiciones actuales del predio solicitado en restitución (…) también las mejoras realizadas, el estado actual de conservación del predio ya que según el líbelo demandatario e informes de la UAEGRTD-CORDOBA indica que "tiene amenaza por inundación (…). Así mismo, indicar el nivel de mitigabilidad del riesgo de amenaza por inundación, señalándonos si existen acciones para disminuir ese riesgo y como consecuencia si es factible la explotación de la parcela", se ha pronunciado el juzgado. Así las cosas, para la ejecución de cualquier proyecto de desarrollo rural en las parcelas objeto de las sentencias radicados 23001-31-21-001-2018-00136-01, 23001-31-21-003-2018-00002-01, 23001-31-21-002-2017-00149-00, 23001312100120170014401, se requiere ejecutarse en un área cuyo desarrollo ha quedado condicionado a la identificación detallada de las condiciones de riesgos por inundaciones que puedan aplicar para el sector.

Esta consultoría, desarrolló un estudio en el que se ilustra de manera detallada las condiciones de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por inundaciones, a partir de información primaria levantada en campo con equipos y tecnologías idóneas para el caso, y de información secundaria requerida para complementar el análisis. El estudio identificó las condiciones de amenazas naturales por inundaciones (desbordamiento y encharcamiento) a las que se pueda ver sometida la zona, a partir de esto se realizó una caracterización de los elementos expuestos (vivienda y zonas de producción) de la zona con su respectiva cuantificación para establecer su grado de vulnerabilidad, hasta realizar una caracterización del riesgo en términos económicos, principalmente. Todo eso para intentar ofrecer soluciones científicas a la problemática de inundaciones, que procuren el desarrollo de las parcelas.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

2. ESTUDIOS TÉCNICOS ANTECEDENTES

En los primeros estudios de amenazas naturales realizados para el POMCA Río Bajo San Jorge, el área de estudio esta categorizada en algunos sectores con amenaza alta por inundaciones (Figura 1). Pero en recientes estudios de amenazas naturales por inundaciones adelantados por CVS-EAFIT (2013) la zona del proyecto se ubica en áreas con geomorfología de llanura aluvial y fluvio lacustre con basines y valles aluviocoluviales, con amenaza alta y media por inundaciones.

Pero luego el IDEAM-IGAC (2014) elaboró un análisis multitemporal a escala rural para establecer áreas inundables afectadas por el fenómeno de la niña donde delimitó las áreas históricamente inundables, y para los años 1988, 2000, 2010 y 2012, el análisis delimitó la zona objeto de investigación, como área inundable.

Por otra parte, el PBOT del municipio de Pueblo Nuevo del año 2017 categoriza algunas áreas de influencia del estudio con amenaza alta por inundaciones. Y en lo referente a otras temáticas ambientales, determina que no son significativas las amenazas sísmicas y las amenazas por movimientos en masa, otorgándole categoría Baja. La zonificación del POMCA Rio Bajo San Jorge, señala que son áreas para la producción agrícola, ganadera y de uso sostenible de los recursos naturales.

En esas circunstancias, es de gran importancia adelantar los estudios detallados tal como lo establece el 1077 de 2015 y establecer las características de la zona en lo relacionado con la gestión del riesgo y la viabilidad del aprovechamiento y desarrollo de las parcelas.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

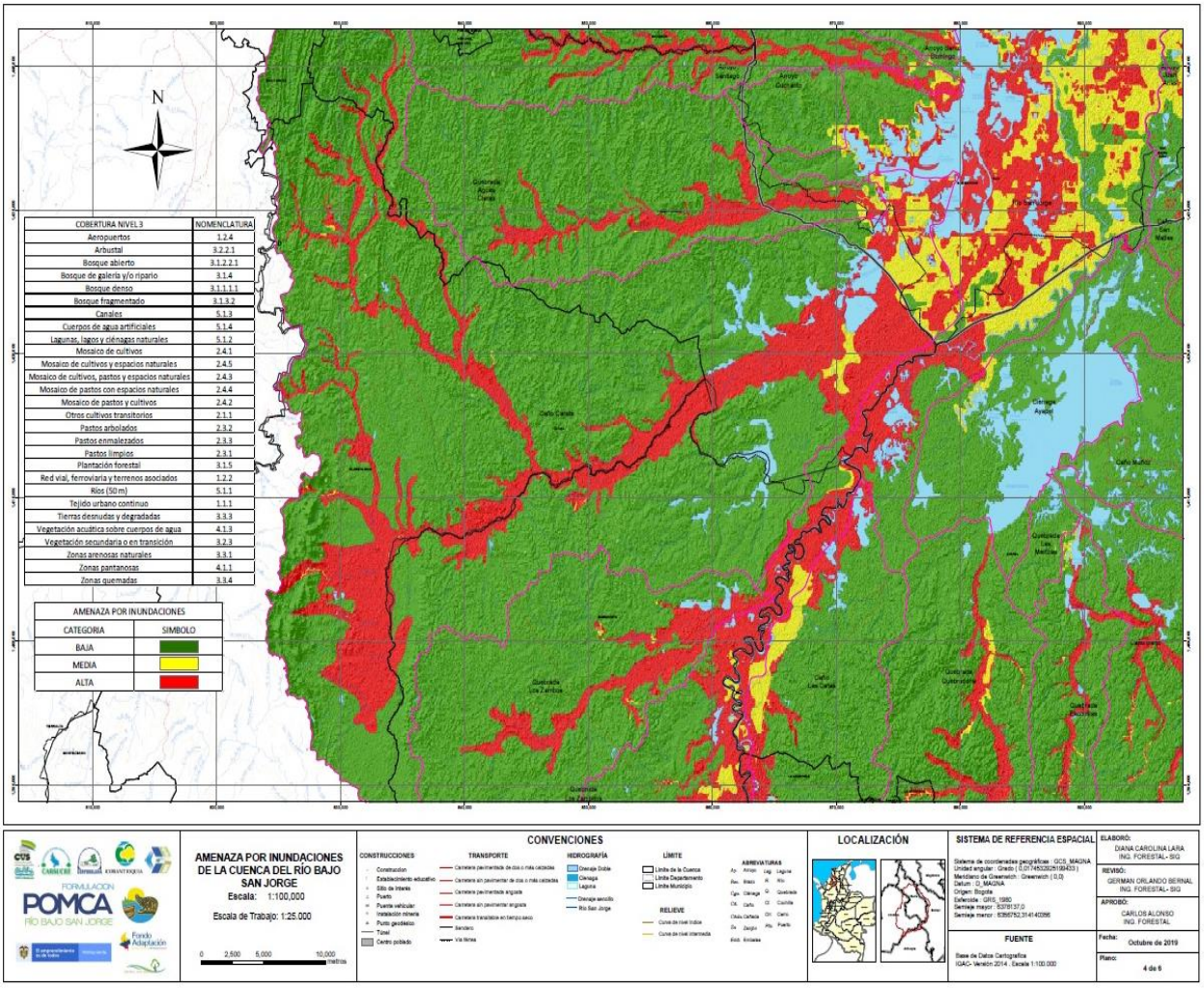


Figura 1 Susceptibilidad por inundaciones

Fuente: POMCA Rio Bajo San Jorge, 2020.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

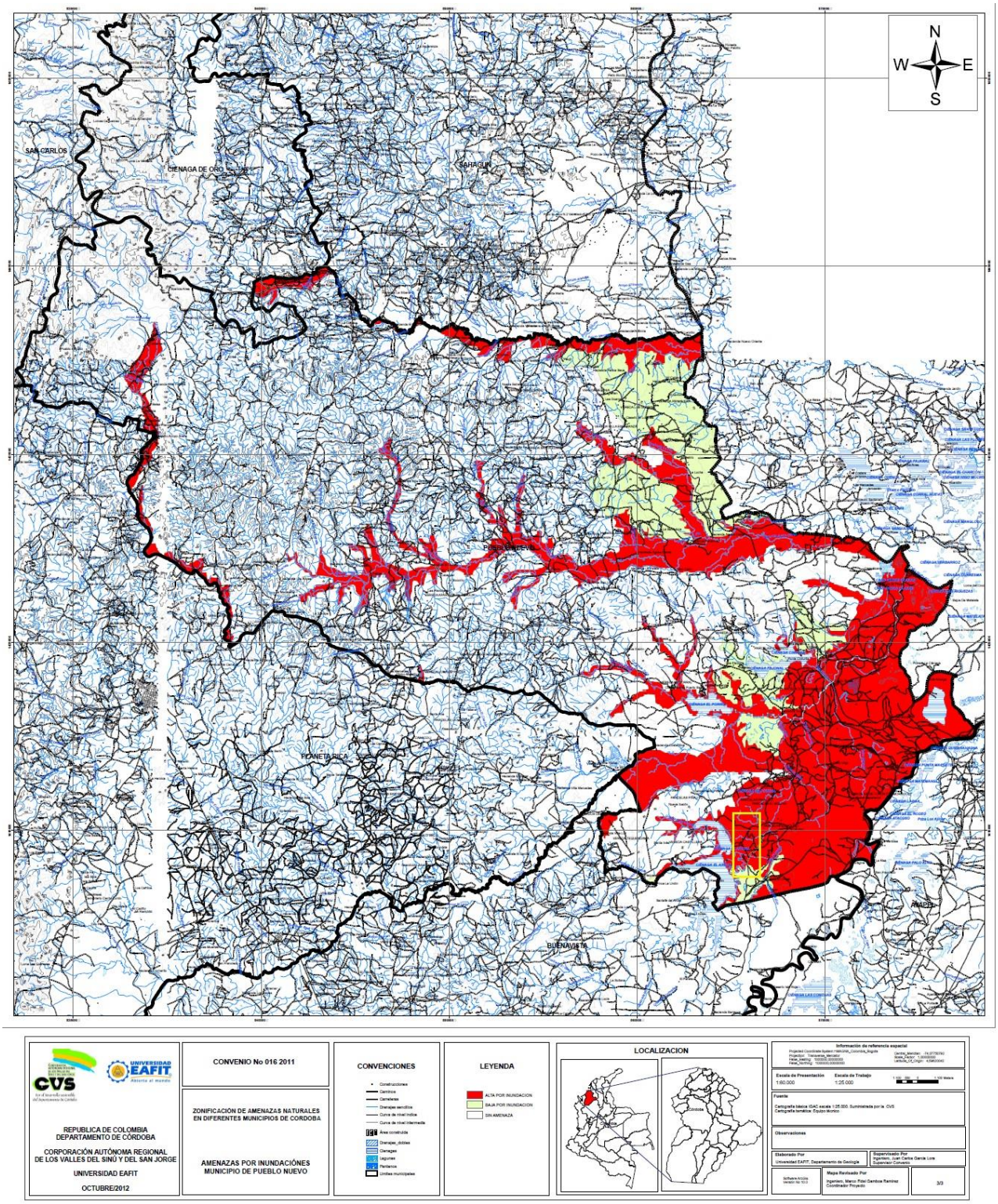


Figura 2 Mapa de amenaza por inundaciones Pueblo Nuevo
Fuente: EAFIT-CVS, 2012

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

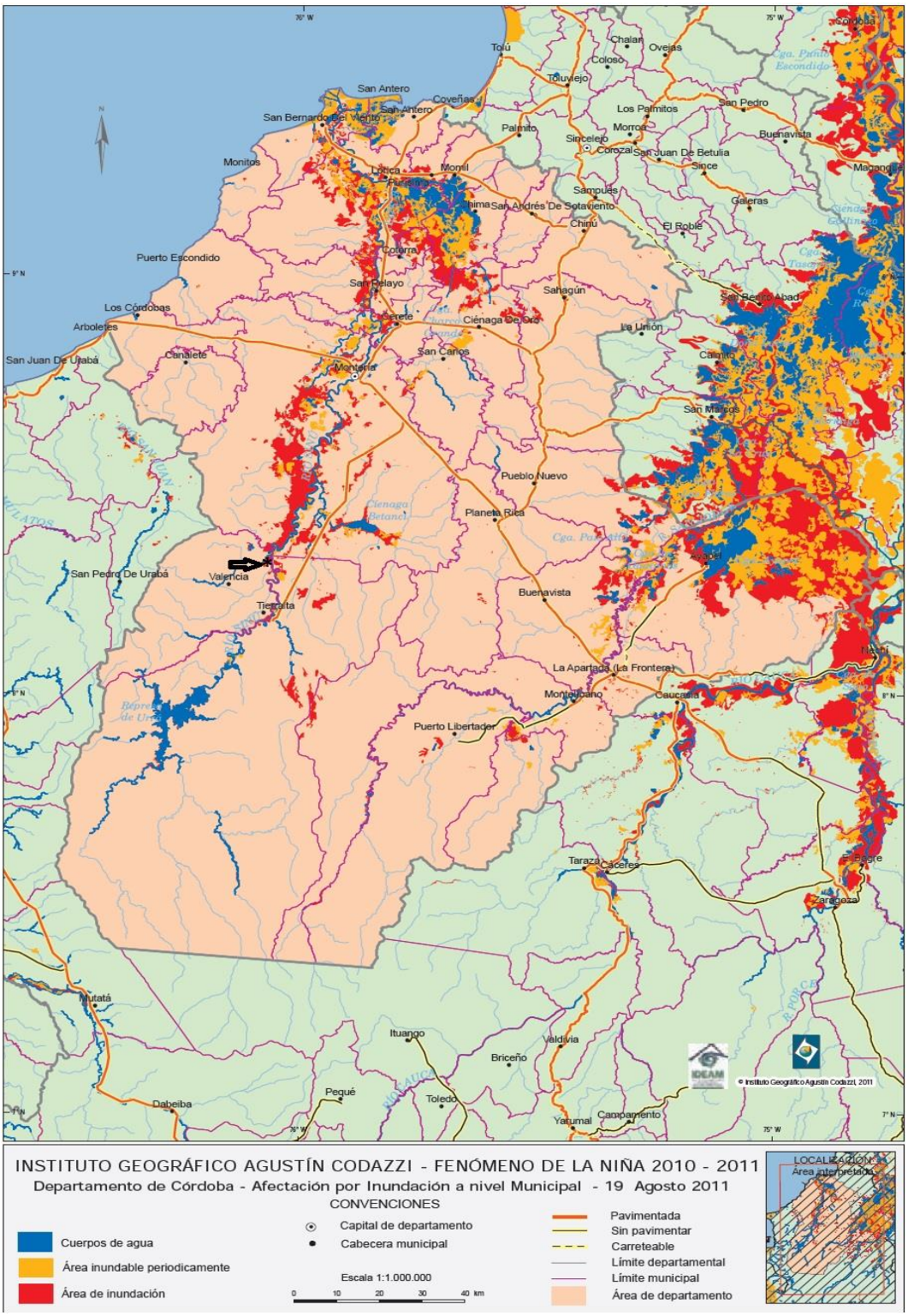


Figura 3 Mapa de áreas inundables
IDEAM-IGAC, 2014.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

3. MARCO NORMATIVO Y LEGAL

3.1 Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974

Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. De la Presidencia de la República.

3.2 Ley 09 de 1989

Por la cual se definió la responsabilidad de las autoridades municipales de Reforma Urbana en cuanto a la seguridad de los habitantes de las zonas urbanas ante los peligros naturales.

3.3 Constitución política de la república de Colombia

Que reglamentó a través del artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

Así como el artículo 51. Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El Estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho.

3.4 Ley 152 de 1994

Por medio de la cual se establecen los procedimientos y mecanismos para la elaboración, aprobación, ejecución, seguimiento, evaluación y control de los planes de desarrollo tanto de la Nación y de las entidades territoriales como de los organismos públicos de todo orden.

3.5 Ley 388 de julio de 1997

Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones.

3.6 Ley 400 de 1997

Por el cual se reglamentaron las construcciones sismo-resistentes.

3.7 Decreto 879 de 1998

Por el cual se reglamentan las disposiciones referentes al ordenamiento del territorio municipal y distrital y a los Planes de Ordenamiento Territorial.

3.8 Decreto 4002 de 2004

Por el cual se establece que teniendo en cuenta razones de excepcional de 2004 interés público, o de fuerza mayor o caso fortuito, el alcalde municipal o distrital podrá iniciar el proceso de revisión del plan, las cuáles serán: *La declaratoria de desastre o calamidad pública y por los resultados de estudios técnicos detallados sobre amenazas, riesgos y*

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

vulnerabilidad que justifiquen la recalificación de áreas de riesgo no mitigable y otras condiciones de restricción diferentes a las inicialmente adoptadas en el POT.

3.9 Ley 1523 de 2012.

Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. La ley también establece los siguientes principios generales de la gestión del riesgo:

1) **Principio de igualdad:** todas las personas naturales tendrán la misma ayuda y el mismo trato al momento de atendérseles con ayuda humanitaria, en las situaciones de desastre y peligro que desarrolla esta ley.

2) **Principio de protección:** los residentes en Colombia deben ser protegidos por las autoridades en su vida e integridad física y mental, en sus bienes y en sus derechos colectivos a la seguridad, la tranquilidad y la salubridad públicas y a gozar de un ambiente sano, frente a posibles desastres o fenómenos peligrosos que amenacen o infieran daño a los valores enunciados.

3) **Principio de solidaridad social:** todas las personas naturales y jurídicas, sean estas últimas de derecho público o privado, apoyarán con acciones humanitarias a las situaciones de desastre y peligro para la vida o la salud de las personas.

4) **Principio de autoconservación:** toda persona natural o jurídica, bien sea de derecho público o privado, tiene el deber de adoptar las medidas necesarias para una adecuada gestión del riesgo en su ámbito personal y funcional, con miras a salvaguardarse, que es condición necesaria para el ejercicio de la solidaridad social.

5) **Principio participativo:** es deber de las autoridades y entidades del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, reconocer, facilitar y promover la organización y participación de comunidades étnicas, asociaciones cívicas, comunitarias, vecinales, benéficas, de voluntariado y de utilidad común. Es deber de todas las personas hacer parte del proceso de gestión del riesgo en su comunidad.

6) **Principio de diversidad cultural:** en reconocimiento de los derechos económicos, sociales y culturales de las personas, los procesos de la gestión del riesgo deben ser respetuosos de las particularidades culturales de cada comunidad y aprovechar al máximo los recursos culturales de la misma.

7) **Principio del interés público o social:** en toda situación de riesgo o de desastre, el interés público o social prevalecerá sobre el interés particular. Los intereses locales, regionales, sectoriales y colectivos cederán frente al interés nacional, sin detrimento de los derechos fundamentales del individuo y, sin demérito, de la autonomía de las entidades territoriales.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

8) **Principio de precaución:** cuando exista la posibilidad de daños graves o irreversibles a las vidas, a los bienes y derechos de las personas, a las instituciones y a los ecosistemas como resultado de la materialización del riesgo en desastre, las autoridades y los particulares aplicarán el principio de precaución en virtud del cual la falta de certeza científica absoluta no será óbice para adoptar medidas encaminadas a prevenir, mitigar la situación de riesgo.

9) **Principio de sostenibilidad ambiental:** el desarrollo es sostenible cuando satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de los sistemas ambientales de satisfacer las necesidades futuras e implica tener en cuenta la dimensión económica, social y ambiental del desarrollo. El riesgo de desastre se deriva de procesos de uso y ocupación insostenible del territorio, por tanto, la explotación racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente constituyen características irreductibles de sostenibilidad ambiental y contribuyen a la gestión del riesgo de desastres.

10) **Principio de gradualidad:** la gestión del riesgo se despliega de manera continua, mediante procesos secuenciales en tiempos y alcances que se renuevan permanentemente. Dicha gestión continuada estará regida por los principios de gestión pública consagrados en el artículo 209 de la Constitución y debe entenderse a la luz del desarrollo político, histórico y socioeconómico de la sociedad que se beneficia.

11) **Principio sistémico:** la política de gestión del riesgo se hará efectiva mediante un sistema administrativo de coordinación de actividades estatales y particulares. El sistema operará en modos de integración sectorial y territorial; garantizará la continuidad de los procesos, la interacción y enlazamiento de las actividades mediante bases de acción comunes y coordinación de competencias. Como sistema abierto, estructurado y organizado, exhibirá las calidades de interconexión, diferenciación, recursividad, control, sinergia y reiteración.

12) **Principio de coordinación:** La coordinación de competencias es la actuación integrada de servicios tanto estatales como privados y comunitarios especializados y diferenciados, cuyas funciones tienen objetivos comunes para garantizar la armonía en el ejercicio de las funciones y el logro de los fines o cometidos del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

13) **Principio de concurrencia:** la concurrencia de competencias entre entidades nacionales y territoriales de los ámbitos público, privado y comunitario que constituyen el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres, tiene lugar cuando la eficacia en los procesos, acciones y tareas se logre mediante la unión de esfuerzos y la colaboración no jerárquica entre las autoridades y entidades involucradas. La acción concurrente puede darse en beneficio de todas o de algunas de las entidades. El ejercicio concurrente de

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

competencias exige el respeto de las atribuciones propias de las autoridades involucradas, el acuerdo expreso sobre las metas comunes y sobre los procesos y procedimientos para alcanzarlas.

14) **Principio de subsidiariedad:** se refiere al reconocimiento de la autonomía de las entidades territoriales para ejercer sus competencias. La subsidiariedad puede ser de dos tipos: la subsidiariedad negativa, cuando la autoridad territorial de rango superior se abstiene de intervenir el riesgo y su materialización en el ámbito de las autoridades de rango inferior, si estas tienen los medios para hacerlo. La subsidiariedad positiva, impone a las autoridades de rango superior, el deber de acudir en ayuda de las autoridades de rango inferior, cuando estas últimas, no tengan los medios para enfrentar el riesgo y su materialización en desastre o cuando esté en riesgo un valor, un interés o un bien jurídico protegido relevante para la autoridad superior que acude en ayuda de la entidad afectada.

15) **Principio de oportuna información:** para todos los efectos de esta ley, es obligación de las autoridades del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mantener debidamente informadas a todas las personas naturales y jurídicas sobre: Posibilidades de riesgo, gestión de desastres, acciones de rehabilitación y construcción, así como también sobre las donaciones recibidas, las donaciones administradas y las donaciones entregadas.

3.10 Decreto 1807 del 19 de septiembre del 2014.

Por el cual se reglamenta el artículo 189 del decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.

Especialmente, lo consignado en el artículo 14. Estudios detallados. Los estudios detallados deben contener lo siguiente para cada uno de los eventos analizados:

- Análisis detallado de amenaza
- Evaluación de vulnerabilidad
- Evaluación del riesgo
- Determinación de medidas de mitigación.

3.11 Análisis detallado de amenaza de inundación.

Para determinar las condiciones de amenaza por inundación; los estudios tienen las siguientes especificaciones mínimas:

- Área de estudio: Se referirá a las áreas con condiciones de riesgo y amenaza por inundación delimitadas en el plan de ordenamiento territorial, a partir de los estudios básicos de que trata el presente decreto y articulado con los análisis del Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas -POMCA- aprobado.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

- Insumos: Se deben utilizar como mínimo los siguientes insumas: a. Información de hidrología e hidráulica. b. Información topográfica y batimétrica detallada de los tramos de cauce analizados, incluyendo aquellos elementos o tramos que estén asociados con el origen de la inundación.
- Alcance: El análisis de la amenaza a nivel detallado se realizará teniendo en cuenta criterios históricos, geomorfológicos, hidrológico-hidráulicos empleando métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica.
- Productos: Mapa o mapas de zonificación de amenaza por inundación por desbordamiento, el cual delimita y caracteriza los diferentes niveles de amenaza que presenta el territorio estudiado, según lo dispuesto en el presente artículo. Se debe elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

3.12 Evaluación de vulnerabilidad.

Para evaluar la vulnerabilidad se consideran los siguientes aspectos:

De acuerdo con los resultados del estudio detallado de amenazas para cada fenómeno analizado, se deben identificar y localizar en la cartografía correspondiente los elementos expuestos.

- Se debe establecer las características de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial.
- Se deben identificar los diferentes tipos de daño o efecto esperado sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural.
- Esta información debe zonificarse en un mapa a la misma escala del mapa de amenazas detallados estableciendo categorías de vulnerabilidad alta, media y baja, de acuerdo a las características de los elementos expuestos.

3.13 Evaluación del riesgo.

La evaluación de riesgo es el resultado de relacionar la zonificación detallada de amenaza y la evaluación de la vulnerabilidad. Con base en ello, se categorizará el riesgo en alto, medio y bajo, en función del nivel de afectación esperada. Para las zonas en alto riesgo se definirá la mitigabilidad o no mitigabilidad, a partir de las alternativas de intervención física para reducir y evitar el incremento de la amenaza y/o vulnerabilidad. Para estas alternativas se deberá evaluar su viabilidad de ejecución desde el punto de vista técnico, financiero y urbanístico. Bajo estas evaluaciones se obtendrá la definición del riesgo alto mitigable o riesgo alto no mitigable. 3.20.1.4 Contenidos de la evaluación del riesgo. Los

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

estudios de evaluación de riesgo deben acompañarse de los siguientes documentos por cada fenómeno analizado:

- Documento técnico que contenga metodología de evaluación empleada y los resultados.
- Fichas de evaluación de vulnerabilidad.
- Mapa de vulnerabilidad categorizada en alta, media y baja.
- Mapa de riesgo, categorizado en alto, medio y bajo, señalando para el riesgo alto si es mitigable o no mitigable.
- Mapas de localización y dimensionamiento de las medidas de intervención propuestas.
- Presupuestos estimados de costos de las alternativas planteadas.
- Inventario de viviendas en alto riesgo no mitigable.

3.14 Medidas de Intervención.

Para la prevención, mitigación del riesgo y/o reducción de la amenaza y/o vulnerabilidad de conformidad con lo previsto en el artículo anterior, el estudio de evaluación de riesgo planteará medidas que podrán ser estructurales y no estructurales.

- Las medidas estructurales, son medidas físicas encaminadas a la realización de acciones y obras para atender las condiciones de riesgo ya existentes. Entre otras se consideran las siguientes: obras de estabilización y de reforzamiento de edificaciones e infraestructura, las cuales deben ser predimensionadas sobre la cartografía a nivel de prediseño, con el estimativo de costos correspondiente. En la determinación de este tipo de medidas se deben considerar los potenciales efectos que producirán aguas abajo. En las zonas donde se define que el riesgo es no mitigable se deben identificar en detalle las viviendas y construcciones que serán objeto de reasentamiento, además de las obras de estabilización necesarias para evitar que aumente la influencia del fenómeno en estudio.
- Las medidas no estructurales, orientadas a regular el uso, la ocupación y el aprovechamiento del suelo mediante la determinación de normas urbanísticas, proyectos para la implementación de sistemas de alertas tempranas en los casos que aplique, así como la socialización y apropiación cultural de los principios de responsabilidad y precaución.

3.15 Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015.

Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

3.16 Ley 1955 de 2019

Por el cual se adopta el Plan Nacional de Desarrollo - PND 2018 - 2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”, que, en la línea estratégica de pactos transversales,

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

estableció el “Pacto por la sostenibilidad”, entre cuyos objetivos tiene el de promover el conocimiento en la comunidad sobre los riesgos de desastres y el cambio climático para tomar mejores decisiones en el territorio.

4. MARCO TEÓRICO DE LA GESTIÓN DEL RIESGO

La gestión del riesgo colectivo involucra tres políticas públicas distintas: la identificación del riesgo (percepción individual, representación social y estimación objetiva), la reducción del riesgo (prevención – mitigación) y el manejo de desastres (respuesta y recuperación) Cardona (2005). La literatura sobre identificación y valoración de riesgos naturales define primero el conocimiento de las amenazas naturales que se presentan en un territorio, para luego establecer a distintos niveles de escala y detalle, las consecuencias negativas que ocasiona la exposición indebida de las personas frente a dicha amenaza. En este apartado se consignan las definiciones y conceptos adoptados y aceptados a nivel internacional y nacional respecto a los tres componentes del riesgo (amenaza, vulnerabilidad y riesgo).

4.1 Conceptualización de Amenazas.

La UNISDR (2009) define una amenaza natural como un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. Tales amenazas surgen de una gran variedad de fuentes geológicas, meteorológicas, hidrológicas, oceánicas y biológicas que algunas veces actúan de forma combinada (UNISDR, 2009). Otros autores, han contribuido al entendimiento de la amenaza, describiendo detalladamente algunos aspectos que la constituyen en su definición. Tal es el caso de Cardona (2005), que define las amenazas naturales como un peligro latente en un sistema, que se puede expresar como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso natural con una cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo determinado.

4.2 Conceptualización de la Vulnerabilidad.

Según Cardona (2005) son de gran importancia los postulados de Anderson y Woodrow (1989), quienes expresaron la vulnerabilidad como una serie de procesos que afectan la capacidad de las comunidades y la hacen susceptible a sufrir consecuencias; estos procesos tienen características: físico-material, social-organizacional y motivacional. La vulnerabilidad expresa las características de ubicación de elementos en áreas propensas y las deficiencias de resistencia de esos elementos expuestos, de los que depende su capacidad de absorber la acción del suceso que representa la amenaza. (Cardona, 2005). Esas características se pueden identificar en detalle usando metodologías para calcular los daños potenciales.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Para abordar íntegramente y de manera general el concepto de vulnerabilidad se requiere anotar que la exposición es considerada por la UNISDIR (2009) como la medida en que la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales. Para el caso de la susceptibilidad, existen varias definiciones con grandes similitudes, como las expuestas por Salazar (2013) quien citando a Samuels et al., (2009) define este aspecto como la propensión de los receptores a sufrir daños, o a Merz et al. (2010a) que define susceptibilidad como el grado de daño.

4.3 Elementos expuestos

Se incluye a la población, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que pueden ser afectados potencialmente afectados por las amenazas. (ley 1253, 2012)

4.4 Mitigación

Conjunto de medidas y estrategias dirigidas a la reducción de los daños potenciales sobre la vida y bienes causados por una amenaza. (PNUD y UNGRD, 2012)

4.5 Periodo de retorno

Intervalo de tiempo en la que puede ocurrir algún evento de cierta magnitud (SGC, 2017)

4.6 Probabilidad

Es la medida de la posibilidad de que un evento ocurra en un periodo de tiempo, esta medida puede ser cualitativa o cuantitativamente en términos de probabilidad o frecuencia. (SGC, 2017)

4.7 Riesgo

El riesgo se define como la probabilidad de pérdidas futuras, es el resultado de la existencia de un peligro latente asociado con la posibilidad de que se presenten fenómenos peligrosos y de unas características propias o intrínsecas de la sociedad que la predisponen a sufrir daños en diversos grados (Cardona, 2005).

Salazar (2013), identifica el riesgo; que lo plantea integrando la vulnerabilidad expresada como el grado de pérdidas resultado del evento potencialmente dañino que tiene una probabilidad de ocurrencia en un periodo de tiempo y se expresa como el daño esperado o la esperanza de daño en un periodo de tiempo.

5. METODOLOGÍA.

5.1 Método para el análisis de amenazas naturales por inundación

Para dar alcance a las especificaciones técnicas mínimas y el desarrollo secuencial enmarcado en el decreto 1077 del 2015 se plantea un desarrollo metodológico - científico orientado a cumplir los requerimientos normativos. La norma específica que, para

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

estudios básicos y detallados se debe cumplir como mínimo lo siguiente, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1 Métodos de análisis para estudios básicos y detallados.

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA
Estudio básico	Urbano	1:5000
	Expansión urbana	1:5000
	Rural	1:25000
Estudio detallado	Urbano	1:2000
	expansión urbana	1:2000
	Rural suburbano	1.5000

Fuente: Decreto 1077 del 2015.

Por otra parte, en la Guía de integración de la Gestión del Riesgo y el ordenamiento Territorial Municipal, señala las metodologías que deben usarse según la escala de trabajo en que se presenta el estudio, tales metodologías son: método determinístico (escala1:2000 / 1:5000), Método probabilístico (escala 1:2000/ 1:5000), método estadístico (1:5000), método heurístico (escala 1:25000).

La amenaza por inundación se estima a partir de la delimitación de la inundación (manchas de inundación) para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y años, como lo especifica la norma. Pero el estudio, con la finalidad de mejorar el análisis prospectivo ante los escenarios de variabilidad climática, calculó las manchas de inundación para el período de retorno hasta de 500 años. Esos periodos de retorno fueron seleccionados con fundamento en las guías metodológicas promulgadas por las entidades adscritas al Sistema Nacional Ambiental (SINA) y los autores de la literatura científica expuesta en el item 4 (Marco teórico), quien recomiendan el cálculo de los períodos de retorno cuando se intenta realizar una solución discreta de la integral de riesgo (dilucidado en la metodología de vulnerabilidad y riesgo). Adicionalmente el protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación de Cuencas Hidrográficas establece que para estudios de amenazas por inundación se debe contemplar el análisis de inundación con períodos de retorno como mínimo para 15, 50, 100. Años (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS y Fondo Adaptación, 2014).

El esquema general de la estimación de la amenaza corresponde en este caso con la utilización de modelos lluvia - escorrentía para calcular el caudal de los períodos de retorno seleccionados, para luego ajustarlos a partir de aforos realizados a los cuerpos de agua del estudio, y posteriormente realizar las modelaciones hidráulicas sobre la zona. Antes de realizar la modelación hidrológica e hidráulica, se establece la caracterización morfométrica del área utilizando un modelo de elevación digital de terreno (MDT). Según Salazar (2013) los MDT son fundamentales para la representación de los parámetros topográficos de pendientes, dirección de drenajes de flujo y celdas acumuladas que establecen la red de drenaje; en pocas palabras para la caracterización morfométrica de

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

la cuenca. Así mismo, Salazar (2013) resalta la importancia de combinar modelos de elevación digital de alta resolución con otros de baja resolución para el análisis hidrodinámico en un estudio de riesgos. Según Salazar (2013), esto obedece a que el análisis de las inundaciones en planicies de inundación requieren del uso de modelos bidimensionales (2D) porque calculan la extensión, profundidad y duración del flujo, hecho que permite identificar con mayor precisión sus características fuera del cauce; ese análisis 2D requiere de modelos digitales de terreno a una escala de detalle definida según el uso del suelo, para asegurar una representación adecuada de las características hidráulicas predominantes en la zona que se pretende analizar y optimizar tiempos computacionales.

El primer paso de la metodología empleada, es crear dos modelos de elevación generados con el uso un SIG (ArcGis, HecRasMapper, y otros) y teniendo los siguientes insumos: la topografía y batimetría del área directa del estudio, a un nivel de detalle que permita generar mapas a una escala de 1:2.000 y la topografía de las zonas aledañas al área de estudio a una escala de menor detalle (puede ser de 1:5.000). Así mismo, se usó para el área general de la subcuenca un modelo de elevación digital de 12.5 m.

Los puntos y/o curvas de elevación para la escala detallada (o de alta resolución) se construyen a través del levantamiento fotogramétrico, la medición topográfica y el levantamiento batimétrico de campo; con este insumo, se obtiene un Modelo de Elevación Digital con elevaciones en metros a una escala de detalle de1:2.000. Esta escala de detalle se plantea generosa con el análisis, si se tiene en cuenta que para los estudios detallados el decreto 1077 del 2015 establece una escala de 1:5.000 para la clase de suelo rural suburbano y/o rural.

La zonificación de la amenaza por inundación se obtiene siguiendo la metodología establecida por la Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación-IDEAM (2017), que fundamenta la amenaza fluvial a partir de diferentes parámetros: la velocidad, la profundidad del flujo, el entorno físico (entorno geomorfológico y coberturas) y el daño que pueda ocasionar la corriente (Vélez et al, 2003). Para esto se precisa que la metodología expuesta por IDEAM asigna criterios de ponderación significativos para la variable de velocidad, cuando se trata de inundaciones rápidas; pero en el caso de inundaciones lentas, el procedimiento técnico le asigna prelación a los parámetros de profundidad.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

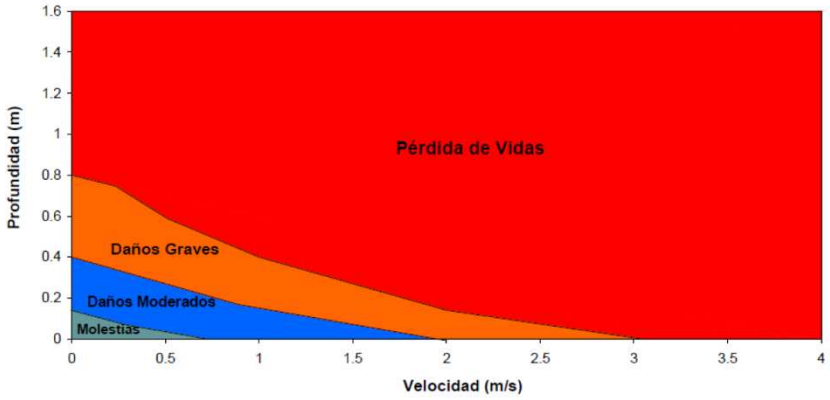


Figura 4 Tipos de daños por inundación y condiciones de flujo
Fuente: (IDEAM, 2017).

Tabla 2 Criterios y rangos para zonificación de amenazas por inundación

CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUDACIÓN		
PARÁMETRO	**Rangos de Velocidad (m/s)**	**Categoria**
Rangos de Profundidad (m)		
0 ≤ 0.1 m	0 ≤ 0.75 m	**Baja**
> 0.1 m ≤ 0.4 m	> 0.75 m ≤ 2 m	**Media**
> 0.4 m	> 2 m/s	**Alta**

Fuente: (IDEAM, 2017)

5.2 Metodología para la evaluación y categorización de la vulnerabilidad

Para la identificación de la susceptibilidad de los elementos expuestos es usado un método cuantitativo, como el más idóneo para el análisis detallado. Este método se fundamenta en la cuantificación de los daños expresados como el grado de pérdida que pueden sufrir los elementos. Dentro del método cuantitativo, a nivel mundial son ampliamente utilizadas las funciones de profundidad-daño, dirigidas específicamente al establecimiento de los daños causados por las inundaciones en función de la intensidad, frecuencia y nivel de agua de la inundación. Esas funciones de daño están catalogadas por Dutta et al. 2003, Smith (1994), Salazar (2013) y Cardona (2014), como un método idóneo para estimar el riesgo por inundaciones en zonas urbanas y rurales.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

La metodología de Salazar- 2013 se fundamenta en los postulados de Smith y Wards (1998) para hacer referencia a la exposición de los elementos o los receptores cuando ocurre un evento de inundaciones con unas características hidrodinámicas definidas; dicha exposición puede medirse en términos del número y tipo de elementos expuestos. Salazar (2013) citó a Messner et., al (2007), a Smtih y Wards (1998) para definir los daños directos que se producen por el contacto físico directo entre la inundación y los elementos que esta encuentra a su paso.

Cardona (2014) logró establecer que la evaluación probabilística del riesgo requiere de la modelación de las pérdidas procedentes de la afectación que sufren los elementos expuestos, a través de funciones de vulnerabilidad. Según Cardona (2014), para la caracterización de la vulnerabilidad de los elementos expuestos se usan curvas de vulnerabilidad, que describen el comportamiento de un elemento físico (construcción) durante la ocurrencia de un fenómeno natural peligroso. Estas funciones precisan la distribución de probabilidad de pérdida (p) según la intensidad (s) y ocurrencia de un evento especifico.

Las funciones de vulnerabilidad las define Cardona (2014) apoyado en los postulados de Ordaz (2008) a través de curvas que asocian el valor esperado del daño y su desviación estándar, con la intensidad de la inundación. Ese proceso generaliza la curva del valor esperado de la pérdida, *E(p|s),* como:

$$E)p\,|\,s(=1-\exp\left(\ln 0.5\left(\frac{s}{s_0}\right)^{\varepsilon}\right)$$

En donde s_0 corresponde a la intensidad que produce un valor esperado de pérdida del 50%, y ε es un exponente que controla la pendiente de la curva para la intensidad s_0.

Y calculan la varianza de la pérdida empleando la expresión de distribución de la probabilidad del informe ATC-13 (ATC-13, 1985) cuya varianza tiene la siguiente forma funcional (Cardona, 2014):

$$\sigma^2\,(p\mid s) = Q\left(E\,(p\mid s)\right)^2\left(1-E\,(p\mid s)\right)^{\text{m-1}}$$

Donde,

$$Q = \frac{VMax}{{D_0}^2\,(1-D^0)^{\text{m-1}}}$$

Para la cual, *Vmax y* D_0 son parámetros según el tipo estructural. Vmax es la varianza máxima y D_0 es el nivel de daño para el que ocurre esta varianza máxima. Tal como se describe en la siguiente figura.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

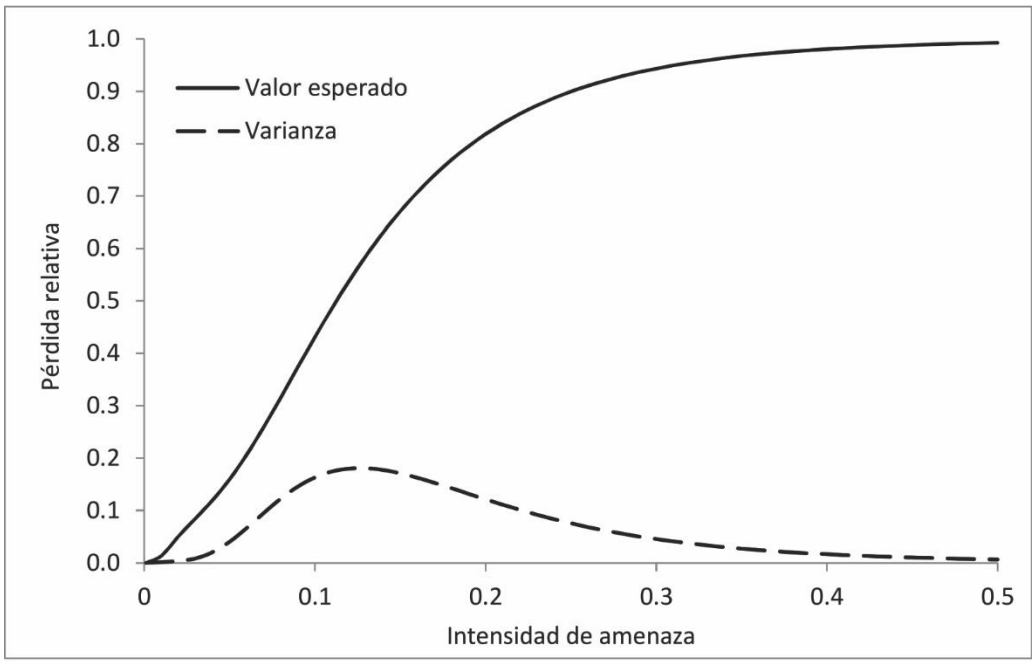


Figura 5 Función de vulnerabilidad
Fuente: Cardona & F.A, 2014

En esta metodología solo se abordará el análisis empleando los conceptos de daños directos tangibles, mediante la exposición y susceptibilidad, entendido este último como el grado de resistencia de los elementos expuestos. Y se usará una representación matemática de la vulnerabilidad (funciones de vulnerabilidad), en términos de la pérdida económica esperada sobre el valor de reposición de los elementos expuestos.

En el concepto general, puede precisarse que la pérdida total ocasionada por la afectación de una inundación sobre un elemento expuesto, corresponde a la suma de las pérdidas individuales de todos los componentes de dicho elemento (Cardona & F.A, 2014).

5.3 Evaluación de la exposición (física).

Como también se ha expresado que el análisis parte desde la clasificación de los receptores, las metodologías de Dutta (2001) y Salazar (2013) indican que, en principio, resulta necesario hacer el inventario y clasificación de estos elementos pues ello permite conocer sus características y a partir de esto realizar un diagnóstico de su comportamiento cuando están sometidas a las inundaciones.

Por tratarse de un proyecto en zona rural constituida de varios tipos de coberturas de la tierra, para el índice de exposición se listan y clasifican tres tipos de elementos expuestos: edificaciones y/o construcciones (tipo vivienda) y bienes muebles (contenido estándar del amueblamiento de la vivienda) y zonas de producción agropecuaria (cultivos). La metodología usada en este estudio (Dutta et al, 2001), (Salazar, 2013) (Cardona & F.A, 2014) permite asumir que, cada categoría de elemento expuesto tiene un tipo

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

constructivo; es decir, los elementos residenciales tienen un mismo tipo constructivo para todas las viviendas y los bienes muebles un mismo tipo entre sí. Así mismo, el enfoque metodológico propuesto por Dutta et al (2001), permite basarse en los patrones de uso de la tierra para agrupar los daños según el tipo de cultivos o productos agrícolas. De tal manera que, dentro del modelo de riesgo, la vulnerabilidad de un elemento expuesto no solo caracteriza su propia vulnerabilidad sino la de la categoría de elemento al cual pertenece (Cardona & F.A, 2014).

Para el cálculo del valor de exposición se estima entonces que, el tipo constructivo (aspectos estructurales) de la vivienda rural está representado en 2 variables para la evaluación de la vulnerabilidad física: las características y los materiales de la vivienda (modelo de vivienda). Mientras que para el tipo de elemento bienes muebles (o contenido de la vivienda), según estratificación socio-económica se tendrá como mínimo: enseres y electrodomésticos. Para el caso de las zonas de producción agrícola se clasificarán según los tipos de cultivos predominantes, fundamentados en los estudios existentes, las condiciones culturales de las comunidades y la aptitud del suelo. Las categorías de elementos a partir de las cuales se evalúa la exposición física se describen en el ítem 5.22

5.4 Identificación de la susceptibilidad o fragilidad

La identificación de la vulnerabilidad es un insumo esencial dentro del análisis de riesgo, puesto que permite conocer de manera específica el grado (valor y/o porcentaje) de daño que experimentan los elementos expuestos. Tal como se ha venido describiendo está metodología aplica los conceptos de daños directos tangibles, concretándolos como daños en construcción y/o vivienda rural que se subdivide de forma simple en daños a las estructuras y daños a los bienes muebles, y daños en las zonas de producción agrícola; todos esos, según su naturaleza y sus características. Esto implica que se utilizaran las funciones “Profundidad-Daño” y/o “profundidad-velocidad-daño”, que definen la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño en función de cierto parámetro de intensidad y duración del fenómeno.

Para el establecimiento de las funciones de daño en este enfoque metodológico se utiliza el conocimiento generado para medir daños tangibles en zonas con características similares y expuestas al mismo tipo de fenómenos naturales (por encharcamientos o inundaciones lentas). Para lo cual se emplearán las funciones de daño construidas en el estudio para *la modelación probabilística de la vulnerabilidad y el riesgo de inundación en la Mojana* (Cardona & F.A, 2016). Cardona & F.A (2016) representan el daño en los elementos expuestos por medio de funciones de fragilidad. Para eso, las funciones de fragilidad propuestas estipulan cuánto vale la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño como función de cierto parámetro de intensidad. En donde hipotéticamente existen N estados de daño, que llamaremos EDi, i=0…N. Entonces, las funciones de fragilidad estipulan que la probabilidad (Pi) de que se alcance o exceda el i-ésimo estado de daño (dsi), dado que se presentó una intensidad s, de la siguiente manera (Cardona & F.A, 2016):

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

$$P_i = \Pr(DS \geq ds_i|s) \qquad Ec\ 4.$$

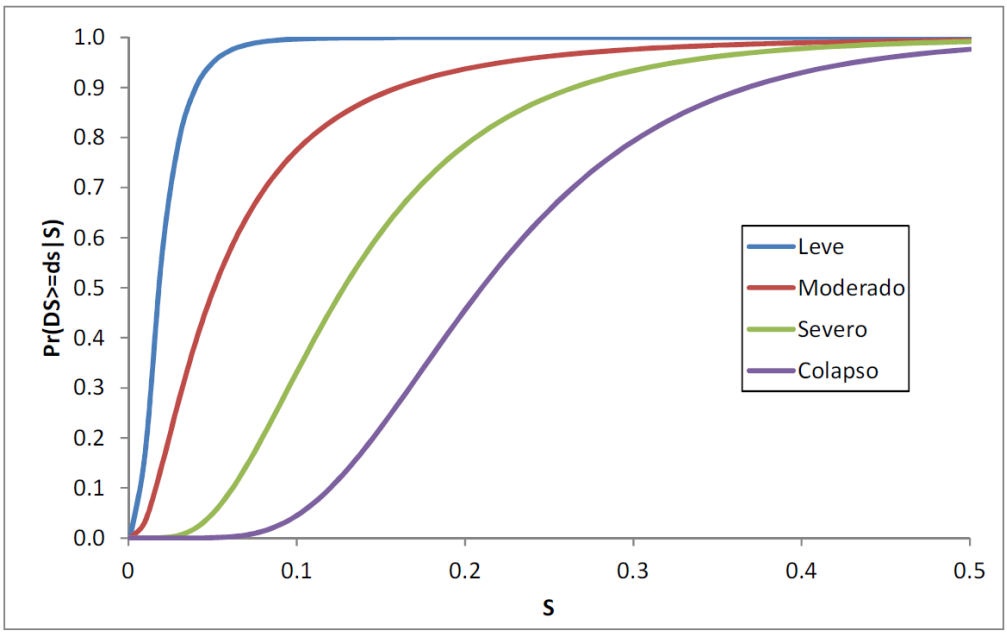


Figura 6 Función de vulnerabilidad
Fuente: Cardona & F.A, 2014

Una vez obtenidas las funciones de vulnerabilidad y definidos los daños por elementos se puede calcular el daño total de todos los elementos expuestos según la expresión usada por Salazar et al., (2013) y Messner et al., (2007) que enuncia el daño total de la siguiente manera:

$$Dt = \sum_{k=1}^{n} \sum_{u=1}^{m} D_{k,u} \qquad Ec\ 5.$$

Donde,

Dt= Daño total
U= elemento unitario de una clase o categoría
M= número total de elementos de una categoría o clase
K= categoría o clase del elemento unitario expuesto
N= número total de categorías o clases
$D_{k,u}$= Daño unitario del elemento u de la categoría o clase K

Finalmente, estas funciones de daño son correlacionadas con un rango inundaciones según su periodo de retorno; hecho que se logra cuando se considera las probabilidades de excedencia de las inundaciones esperadas.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

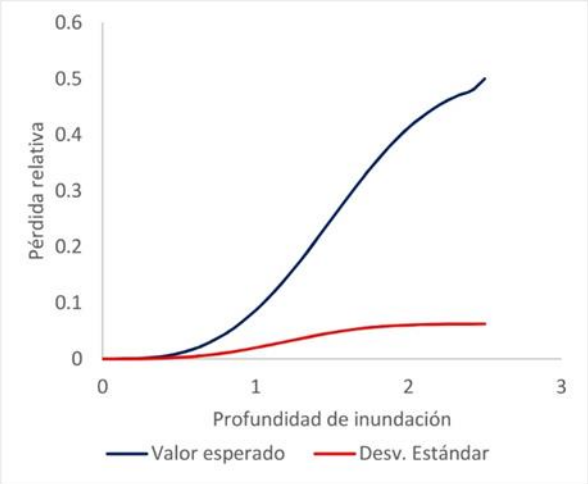


Figura 8. Función de vulnerabilidad para el tipo Ladrillo_1.
Fuente: Cardona & F.A (2014)

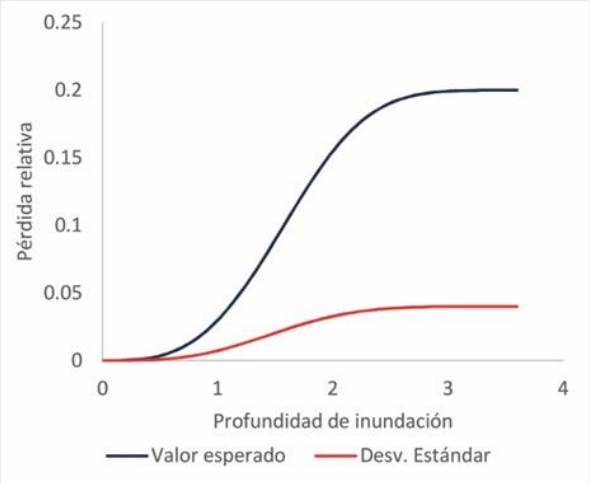


Figura 7. Función de vulnerabilidad para el tipo Acero_1.
Fuente: Cardona & F.A (2014)

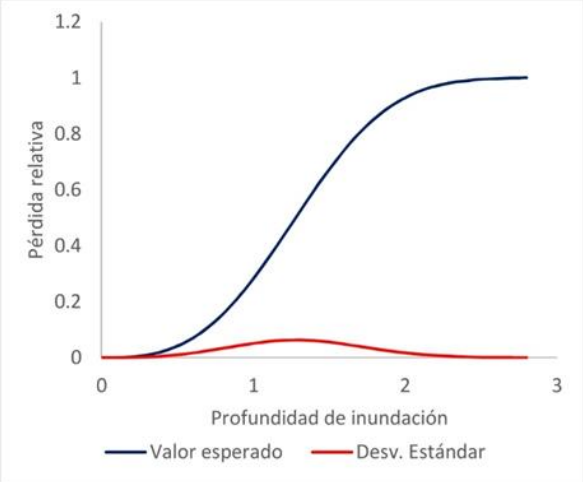


Figura 10. Función de vulnerabilidad para el tipo Madera_1.
Fuente: Cardona & F.A (2014)

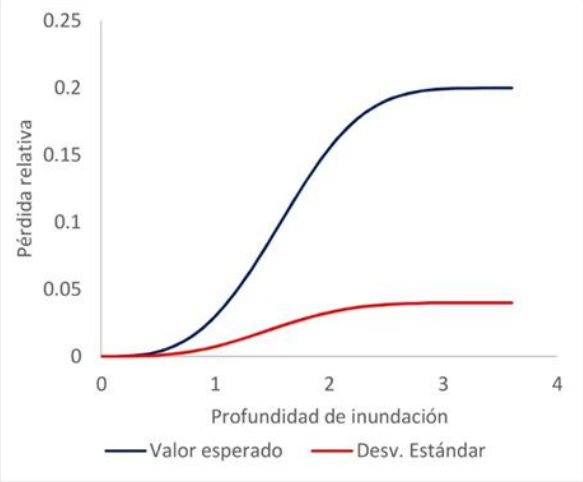


Figura 9. Función de vulnerabilidad para el tipo Tubos Metálicos y Metálicos PVC_1.
Fuente: Cardona & F.A (2014)

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

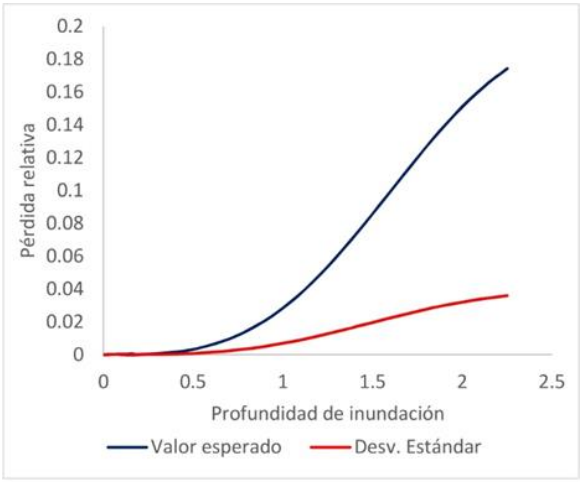


Figura 11. Función de vulnerabilidad para el tipo Concreto base_1.
Fuente: Cardona & F.A (2014)

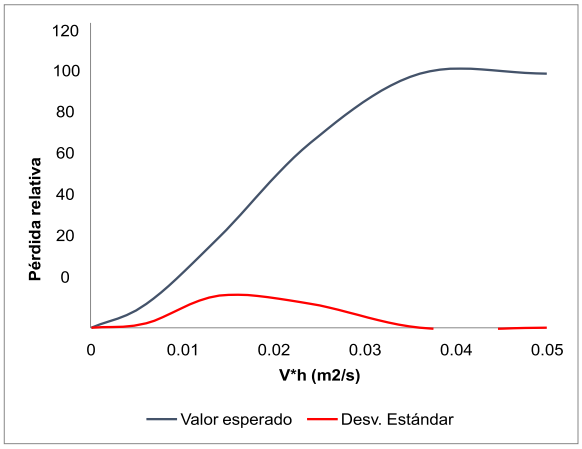


Figura 13. Vulnerabilidad física de Arroz en etapa de siembra

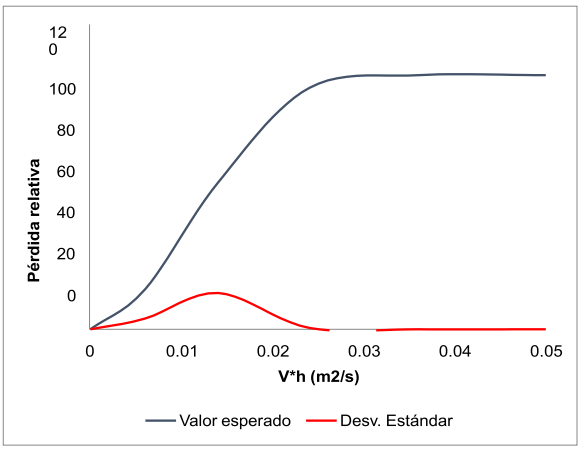


Figura 15. Vulnerabilidad física de Arroz en etapa vegetativa

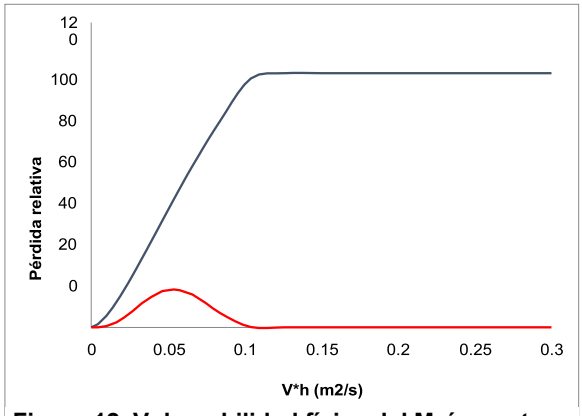


Figura 12. Vulnerabilidad física del Maíz en etapa de siembra

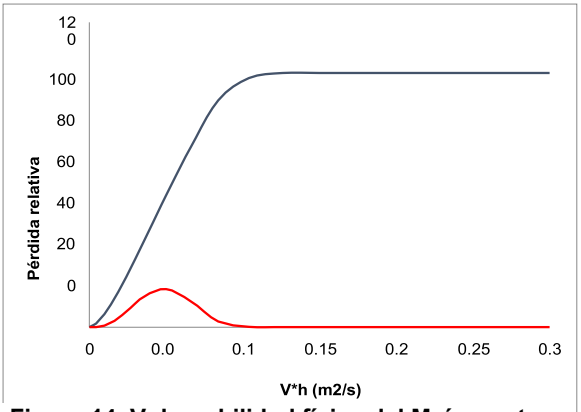


Figura 14. Vulnerabilidad física del Maíz en etapa vegetativa

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

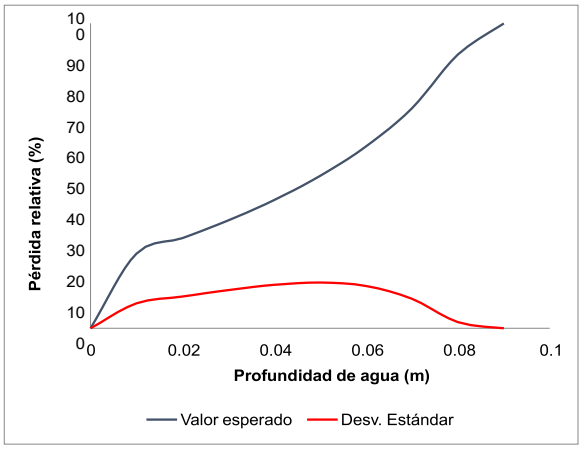


Figura 17. Vulnerabilidad bioquímica del Plátano en etapa de siembra. Inundación de 2 días

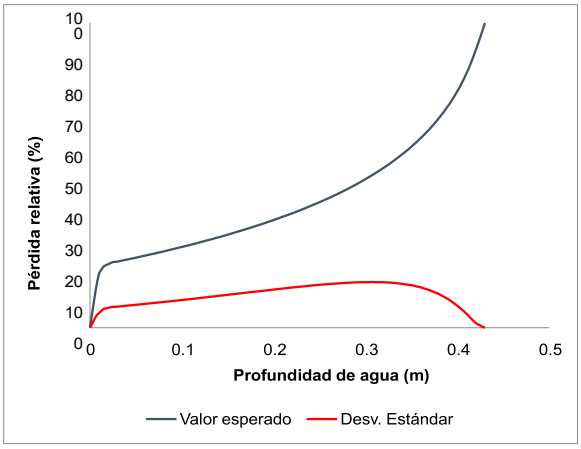


Figura 16. Vulnerabilidad bioquímica del Plátano en etapa vegetativa. Inundación de 2 días

5.5 Identificación de la susceptibilidad económica

Como ya se ha dilucidado, las funciones de daño miden los daños directos tangibles de los elementos expuestos a inundaciones, pero las pérdidas (y las incertidumbres) pueden reducirse dependiendo de la capacidad económica de las comunidades asentadas en la zona de estudio. Para ello, la susceptibilidad económica se expresa en función de la capacidad de respuesta que tienen las comunidades para reponer sus bienes ante la ocurrencia de un evento de inundación. O dicho, en otros términos, en las funciones de vulnerabilidad, la predisposición al daño se entiende como la perdida relativa (p) al valor de reposición del elemento expuesto (Cardona & FA, 2014).

Para lo cual se complementa la expresión general del daño unitario propuesta por Salazar (2013), así:

$$D_u = S_u\,(h_u) - Rc(t)\,(h_u) \qquad \text{Ec. 6}$$

Dónde:
D_u= Daño del elemento unitario
S_u= Susceptibilidad del elemento unitario
h_u= Profundidad o umbral de inundación máximo del elemento unitario.
Rc (t) (hu)= Valor de reposición del elemento (p.e. valor fiscal, de reposición o valor comercial). (Respuesta de la comunidad al momento de la ocurrencia del umbral de inundación).

Para la aplicación numérica de este método entonces es necesario de antemano conocer el valor de reposición de cada elemento, lo que la final aporta el valor total de reposición

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

del predio. Generalmente, este valor de reposición se conoce como el costo financiero equivalente a la recuperación parcial o total del elemento o los elementos afectados.

Finalmente, la evaluación adicional de la vulnerabilidad en los términos referidos en el decreto 1077 del 2015, asignándole categorías de vulnerabilidad de acuerdo a las características de los elementos expuestos, se realiza relacionando los resultados del análisis de exposición, de fragilidad y de susceptibilidad económica con el criterio de la capacidad de adaptación o recuperación. En donde se consideran 3 variables esenciales: el nivel de elevación del área y la resistencia al daño de los elementos, las posibilidades físicas de recuperación de los elementos y las posibilidades económicas de realizar dichas adecuaciones u obras de recuperación. Cada vez que se cumplan por lo menos 2 de las tres variables, se entenderá que aplica para una determinada categoría de amenaza. Entonces se considera para la categorización los condicionantes quedan así:

Tabla 3 Categorización de la Vulnerabilidad

CATEGORIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD							
% Daño Total esperado	**Valor Puntuación (DT)**	**Viabilidad Técnica**	**Valor Puntuación (Vt)**	**Posibilidad Económica**	**Valor Puntuación (Pe)**	**Puntos por categoria**	**Categoria**
Dt >= 40%	*3*	*Muy compleja, por requerir de modificar o reemplazar casi toda la vivienda o elemento*	*2*	*Baja capacidad adquisitiva de los propietarios para realizar las reposiciones*	2	5 _ 7	Alta
20 =>*Dt* < 40%	2	*Poco compleja, por requerir de modificaciones que no requieren de cambios en el diseño y la estructura de la vivienda o elemento*	*1*	*capacidad adquisitiva de los propietarios suficiente para realizar las reposiciones correspondientes*	1	2 _ 4	Media
Dt < 20	*1*	*Poco compleja, por requerir de modificaciones que no requieren de ningún cambio en el diseño y la estructura de la vivienda o elemento*	*0*	*capacidad adquisitiva de los propietarios suficiente para realizar las reposiciones correspondientes*	0	1	Baja

Notas: 1. (la capacidad adquisitiva para un hogar de este tipo en Pueblo Nuevo, estos datos se obtuvieron de la encuesta nacional de presupuesto de los hogares (DANE 2016 -2017) Donde se mide la distribución de ingresos corrientes monetarios para la región según el tipo de hogar. 2. Los parámetros de vivienda y viabilidad técnica se eligieron considerando que la *guía metodológica para el inventario de asentamientos en riesgo*, resalta en todo su desarrollo la importancia de los parámetros físicos y económicos para los elementos expuestos.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

5.6 Metodología para el análisis de Riesgo

el objetivo del análisis probabilista del riesgo es la caracterización, también probabilística, de las pérdidas esperadas sobre un conjunto de elementos expuestos, dada la ocurrencia de una inundación (Cardona & F.A, 2016).

Es necesario retomar entonces lo expuesto en los item anteriores donde se expuso que, en el cálculo probabilístico de las pérdidas, la amenaza y la vulnerabilidad están representadas también de manera probabilística. De esta manera, el enfoque metodológico que la función de densidad de probabilidad de la pérdida en el elemento j, está condicionada a la ocurrencia del escenario i, f(pj | Ei) marcado por la frecuencia anual de ocurrencia de un evento; en donde el número total de escenarios de amenaza y la frecuencia anual de ocurrencia del escenario i, hace que se produzca una tasa de excedencia de la pérdida. En otras palabras, probabilidad de la pérdida (*p*) está condicionada ocurrencia de un nivel de intensidad (s).

La expresión del riesgo, tal como lo especifica la norma (decreto 1077 del 2015), debe realizarse en función del nivel de afectación esperado. Y como el nivel de afectación esperado lo definen los daños ocurridos; la esencia de la norma, y como tal este enfoque metodológico, buscan que el riesgo se ilustre como la pérdida económica anual esperada sobre el valor de reposición de los elementos expuesto. Para ello, Según Salazar (2013) el análisis del riesgo debe incorporar la variable económica en el desarrollo de las funciones de daño.

El procedimiento de estimación de la cuantificación económica del riesgo en términos de la exposición general de las categorías para un amplio rango de inundaciones, demanda el uso de procedimientos como el usado por Salazar (2103), y también por Cardona & F.A (2016), mediante la siguiente ecuación:

$$Rtr = \sum_{pr=1}^{m} (R_u)\,(h,t) * (f_H, t) * (N°Vi) \qquad Ec\ 7.$$

Donde,

Rpr = Riesgo total para un periodo de retorno r
Ru = Riesgo o daño unitario esperado para un periodo de retorno r
h,t = la profundidad umbral del agua que produjo el daño en un periodo de retorno r
fh= Probabilidad de excedencia de la inundación (1/Tr).
N°Vi = Número de viviendas o unidades residenciales o unidad de área expuestas a la profundidad h,t

Como la normatividad colombiana también conmina que la evaluación del riesgo alcance hasta una categorización por niveles: en alto, medio y bajo. Se adopta el concepto de

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

expresión descriptiva del riesgo según la Matriz de peligro y vulnerabilidad para estimación del riesgo, de la guía metodológica para la elaboración de planes departamentales para la Gestión del Riesgo UNGRD, PNUD (2012). Para esto, se definieron algunos rangos numéricos y se acuñarán algunos conceptos, que se usarán como herramientas de concatenación del análisis probabilístico con la expresión por niveles exigida por la norma (ver tabla 4).

Riesgo alto: rango de riesgo que supera en nivel de excedencia para un período de retorno de 10 años y que se presentan pérdidas económicas anuales esperadas.

Riesgo medio: rango de riesgo que supera en nivel de excedencia para un período de retorno de hasta 50 años, y que se presentan pérdidas económicas anuales esperadas.

Riesgo bajo: rango de riesgo que supera en nivel de excedencia para un período de retorno de 100 años o más y que se presentan pérdidas económicas anuales esperadas.

Tabla 4. Nivel de Riesgo

Amenaza Alta	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Alto
Amenaza Media	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Amenaza Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta

Fuente: (PNUD y UNGRD , 2012).

6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se realiza una exposición generalizada de las características físicas, bióticas y socioeconómicas del área sometida a investigación. Estas características se exponen a partir de información levantada en campo por el consultor e información secundaria de instituciones oficiales según su competencia en el tema.

6.1 Caracterización del área de estudio

6.1.1 Descripción general

Las parcelas objeto de restitución de tierras números #7 CAMPO BELLO -NUEVA ESPERANZA, #6 TORONTO GRUPO NUEVA ESPERANZA, #5 TORONTO GRUPO NUEVA ESPERANZA, #4 PARCELA #4 TORONTO, #3 TORONTO GRUPO NUEVA ESPERANZA N° 2, #9 LA SOLUCIÓN, #4 CASTILLERAL 1A , #2 TORONTO GRUPO 2, #1 TORONTO CASTILLERAL 1A , #6 PARCELA GRUPO CASTILLERAL 1B y #9 NUEVA ESPERANZA 1, se encuentran localizadas en los corregimientos de Arcial, Puerto Santo y El Chipal, del municipio de Pueblo Nuevo al sur oriente del Departamento de Córdoba y al nor -occidente de Colombia; con mayor precisión en las coordenadas Norte (Y) 8° 20´ 5,68” Este (X) 75° 17´28,57”.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Estos corregimientos son colindantes entre sí, y se encuentran ubicados en la planicie inundable de la cuenca o subzona hidrográfica Rio Bajo San Jorge, con un clima cálido tropical, de un régimen semi –húmedo, la temperatura media anual es de 28°C y picos superiores a los 37°C en algunos meses del año (IDEAM, Base de datos actualizada 2020). El relieve en Pueblo Nuevo es relativamente plano en aproximadamente el 65% del territorio municipal, y la zona objeto del estudio registra pendientes de terreno que no superan el 3%.

En el contexto general de los drenajes o cuerpos de agua que influencian el área de estudio, se encontró que, el Caño El Molino, El Caño Corredor y El Caño La Balsa, se encuentran surcando la zona de influencia analizada y sus trazados corresponden (en ese sector) a la dinámica de cuerpos de agua naturales propios de planicies del Rio Bajo San Jorge, pero también presenta algunas geoformas de obras antrópicas puntuales planificadas y concebidas por el hombre con maquinaria y equipo para ellos, esto se identificó en campo con los perfiles u las formas de los terraplenes que delimita cada uno de los cauces de los cuerpos de agua analizados y encontradas en la zona de influencia de las parcelas.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

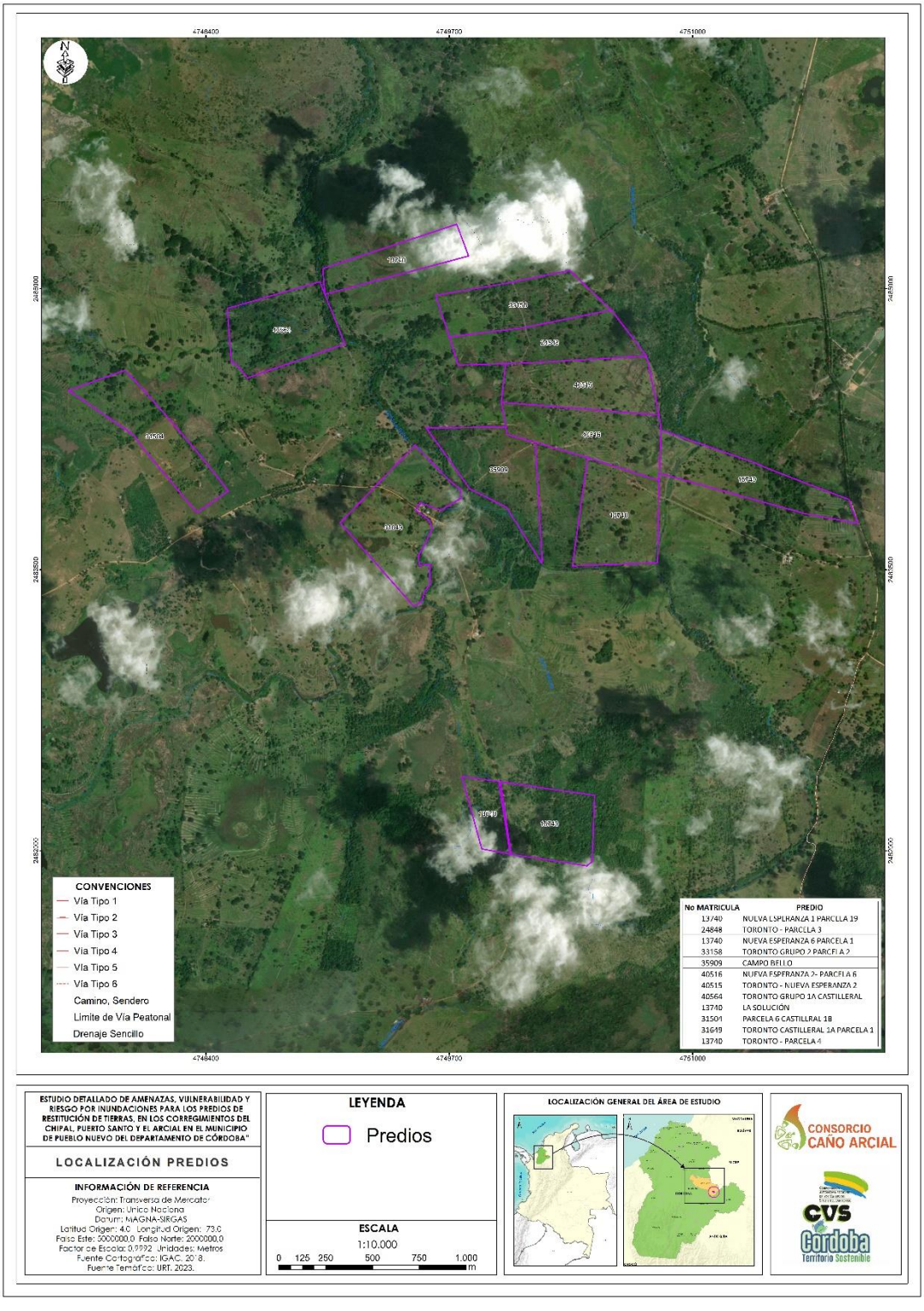


Figura 18 Ubicación general área de estudio
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.2 Antecedentes históricos de tenencia de la tierra.

Los registros judiciales de la Unidad de Restitución de Tierras, consignados en las sentencias 23001312100120160000301, 23001312100220170009100, 23001312100120160010900, 23001312100120180006100, 23001312100320180006700, 23001312100220180005901, 23001312100120160010800 y 23001312100120180005100 del tribunal superior de Antioquia, indican que los terrenos donde hoy se encuentran las parcelas objeto del estudio pertenecieron o fueron habitados por familias de campesinos, desde hace más de 5 décadas hasta los años 90, donde cambiaron de poseedores o tenedores en varias ocasiones; en donde inclusive, estuvieron en algún tiempo a cargo de grupos armados al margen de la ley. Todos esos poseedores, según los registros, realizaron intervenciones antrópicas en la zona, con fines de aprovechamiento para alguna actividad productiva. (ver anexo 7)

6.1.3 Antecedentes de la gestión del riesgo en el municipio.

Las bases de datos oficiales de la oficina de gestión del riesgo municipal de Pueblo Nuevo, que soportan el Plan Municipal de Gestión del Riesgo del Municipio (2020), el PBOT Pueblo Nuevo (2017) y el registro único de damnificados, han sido los únicos instrumentos de gestión municipal con los que en os últimos años se vienen implementando los procesos de gestión del riesgo nivel local (municipal). Esas herramientas han coincidido en identificar que existe una problemática en el territorio por el fenómeno de inundaciones; que, según las temáticas de investigación de esos documentos técnicos, está fuertemente ligada al comportamiento hídrico de los cuerpos de agua cenagosos y caños, de su régimen de aguas y de su condición de planicies inundables. (Ver anexo 8)

Esa condición ocasiona daños y pérdidas materiales anualmente, tanto en las zonas rurales como en algunos centros poblados del municipio, así como también afecta la estabilidad social, económica e institucional del municipio. Cuando se trata del área rural, las perdidas generalmente obedecen a cultivos y vías (PMGRD, 2020), mientras que en las zonas urbanas las pérdidas se sintetizan en afectaciones a viviendas e infraestructura de servicios públicos.

No obstante, a los esfuerzos locales, hasta el momento, las gestiones solamente se han concentrado en la atención de las emergencias, representado en su gran mayoría en ayudas humanitarias. Pero han sido muy pocos los logros en la generación de conocimiento del riesgo y la proposición y ejecución de medidas para la intervención del territorio con fines de adaptación y desarrollo.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.4 Geología regional.

6.1.4.1 Grupo Sincelejo

El Grupo Sincelejo está constituido por intercalaciones de facies arenosas, arcillosas, limosas y en menor proporción facies lodosas y arenosas ligeramente conglomeráticas. Aflora en un área de 1852 Km^2 asociado con geoformas de colinas bajas redondeadas cubiertas superficialmente por un horizonte de suelo areno limoso de color pardo a ocre que cubre y deja muy poca exposición de la unidad sedimentaria.

Las arenitas son de color pardo, rojo y ocre, localmente abigarradas, en avanzado estado de meteorización, algunas lateritizadas, poco litificadas, deleznables; se encuentran como capas tabulares delgadas hasta gruesas paralelas a onduladas no paralelas y lenticulares, pueden mostrar contactos erosivos cuando reposan sobre lodolitas y arcillolitas, son de grano fino a medio, pueden mostrar láminas, barras y lentes de areniscas conglomeráticas de guijos finos y gránulos. Están constituidas por granos de cuarzo subredondeados a subangulares, de chert subredondeado, láminas finas de mica blanca y fragmentos líticos de rocas sedimentarias y menos frecuentes de metamórficas y plutónicas, los granos son angulosos a subredondeados, localmente presentan intraclastos de lodo de color gris claro, intraclastos que se presentan principalmente en la base de las areniscas, tienen selección moderada a buena y empaquetamiento puntual a tangencial con matriz arcillo-limosa de color ocre a rojo.

En general las arenitas son homogéneas, localmente con laminación ondulosa paralela y cruzada. En la zona se presentan estructuras penecontemporáneas tipo b*all and pillow* dadas por nódulos de areniscas finas a medias con laminación de granos de cuarzo y chert de tamaño guijos que se adapta a la forma de los nódulos indicativos de hundimiento local de las areniscas sobre lodos.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

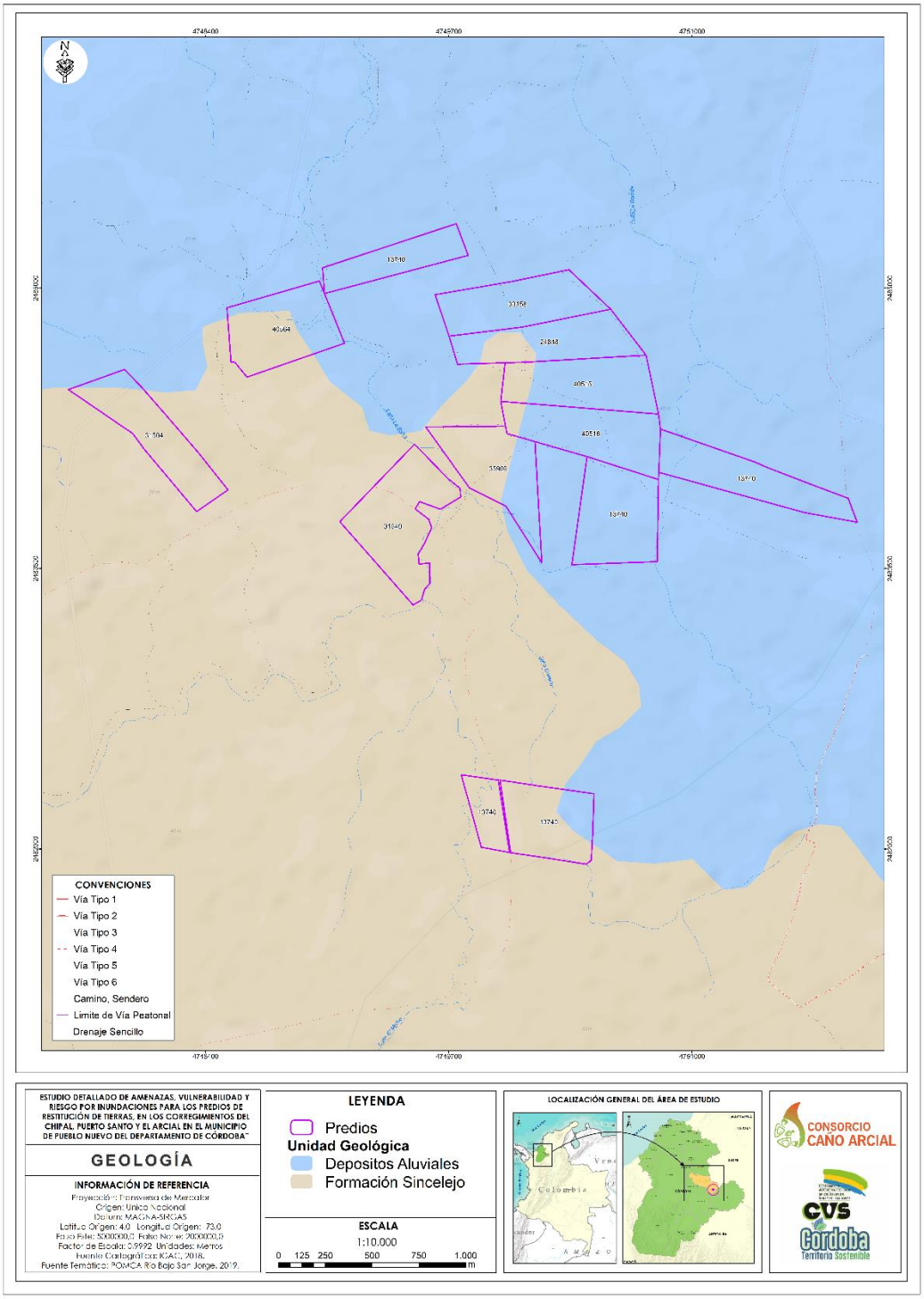


Figura 19. Mapa geológico los colores siguiendo el estándar del Servicio Geológico Colombiano. Fuente: SGC, 2015

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.5 Estratigrafía local.

En el contexto regional, las diferentes unidades geológicas encontradas en la región se relacionan con predominio de depósitos aluviales, de terrazas y de llanuras aluviales de edad cuaternaria. En estos depósitos se presentan variaciones en tamaños de grano desde conglomerados, arenitas líticas conglomeraticas intercaladas con arcillolitas, limolitas y turbas, adicional y de manera local, algunos reportes de capas de depósitos ricos en diatomeas.

6.1.6 Geomorfología.

Para entender y exponer el contexto geomorfológico del área de estudio, se realizó una metodología de búsqueda y generación de información secundaria y primaria respectivamente.

Para la búsqueda de los documentos con información geomorfológica confiable y oficial, se consultará el Motor de Integración de Información Geocientífica (MIIG), el portal de IGAC Colombia en Mapas y la memoria y geomorfológica oficial del Servicio Geológico Colombiano.

6.1.6.1 Geomorfología Regional

El área influenciada por la ciénaga El Arcial presenta predominio de geoformas asociadas a ambientes de formación fluvial y deposicional. Basados en el mapa geomorfológico de la plancha 72 Pueblo Nuevo las geoformas presentes en el área de estudio son; montículos y ondulaciones (Dmo), terraza aluvial (Fte), lomeríos disectados (Dili), lomeríos muy disectados y el espejo de agua de la ciénaga (Fcg)

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

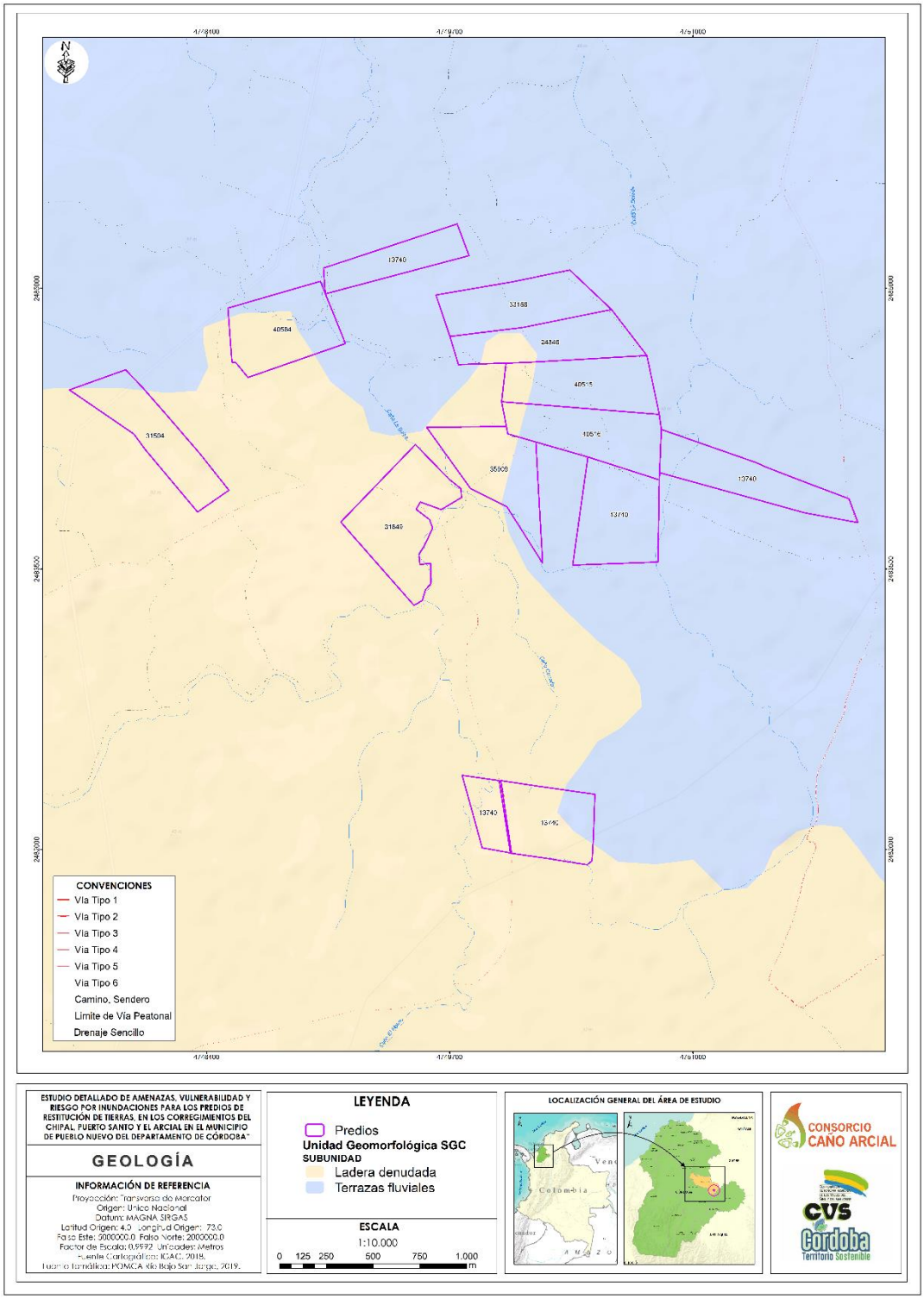


Figura 20 Mapa Geomorfológico escala 1:100.000
Fuente: SGC, 2015

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.6.2 Geomorfología de la Zona de Estudio

Respecto a las subunidades geomorfológicas identificadas en el área objeto de estudio se evidencian dos ambientes predominantes: 1) Fluvial, y 2) Denudacional, y adicionalmente se presentan un tercer ambiente; el antropogénico. El primero corresponde a todas las subunidades geomorfológicas relacionadas con procesos erosivos o denudativos actuales con zonas de erosión y depositación asociados con la dinámica fluvial reciente. En este caso cubre bastante área en la zona de interés. El segundo corresponde a geoformas asociadas con procesos netamente denudativos, los cuales, son evidentes y activos. Estas subunidades geomorfológicas propuestas en este informe corresponden con terminologías usadas en trabajos de escala semidetallada y detallada siguiendo la metodología oficial y actualizada del Servicio Geológico Colombiano, ajustadas a la zona objeto de estudio.

Para identificar las geoformas presentes en el área de influencia de la zona de estudio, el proyecto adquirió imágenes satelitales con resolución de 4 metros de pixel y se levantó mediante tecnología LIDAR un modelo de elevación digital de terreno con resolución de 0,5 metros de pixel como insumo importante en el ejercicio de la delimitación de la microcuenca y la identificación detallada de los cauces de influencia.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

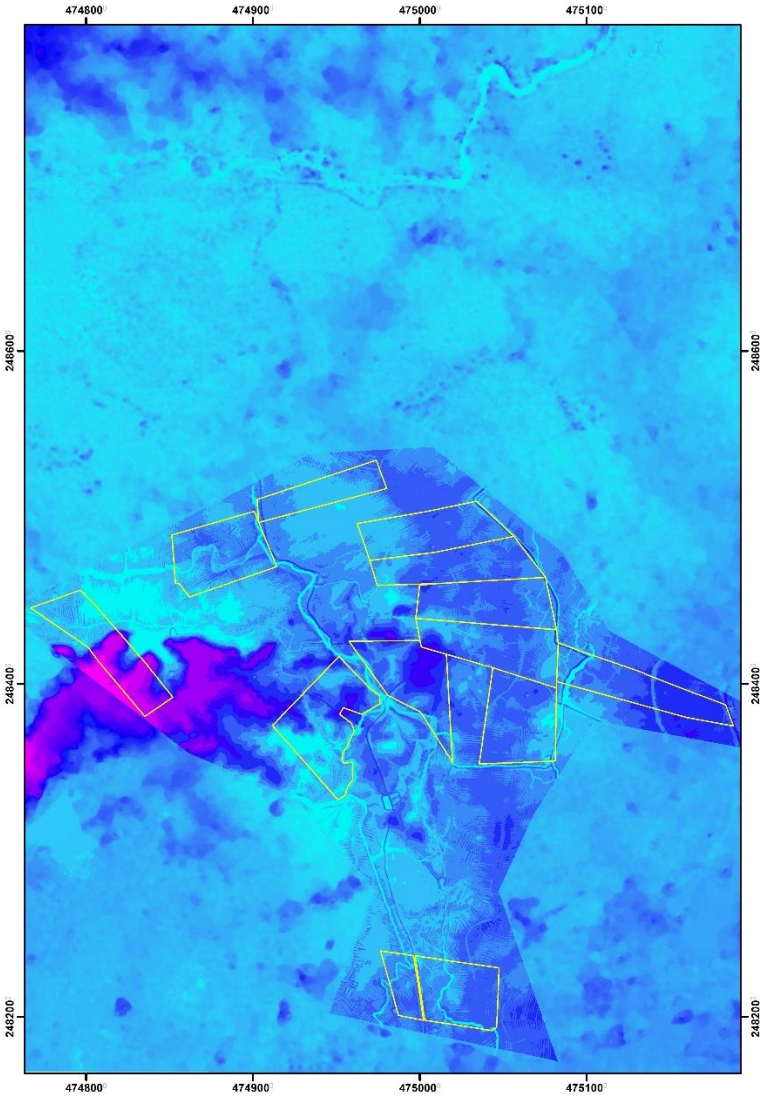


Figura 21 Modelo de elevación digital combinado de 4 metros de resolución
Fuente: Consorcio Caño Arcial

6.1.6.3 Análisis de elevación

En análisis del patrón del relieve es un criterio importante a la hora de delimitar unidades geomorfológicas, por lo tanto, como herramienta se realizó una reclasificación del DEM de la zona de estudio en cotas separadas cada 1 metro para identificar la distribución de las zonas bajas potencialmente, y las zonas con topografías accidentadas donde predomina la escorrentía.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

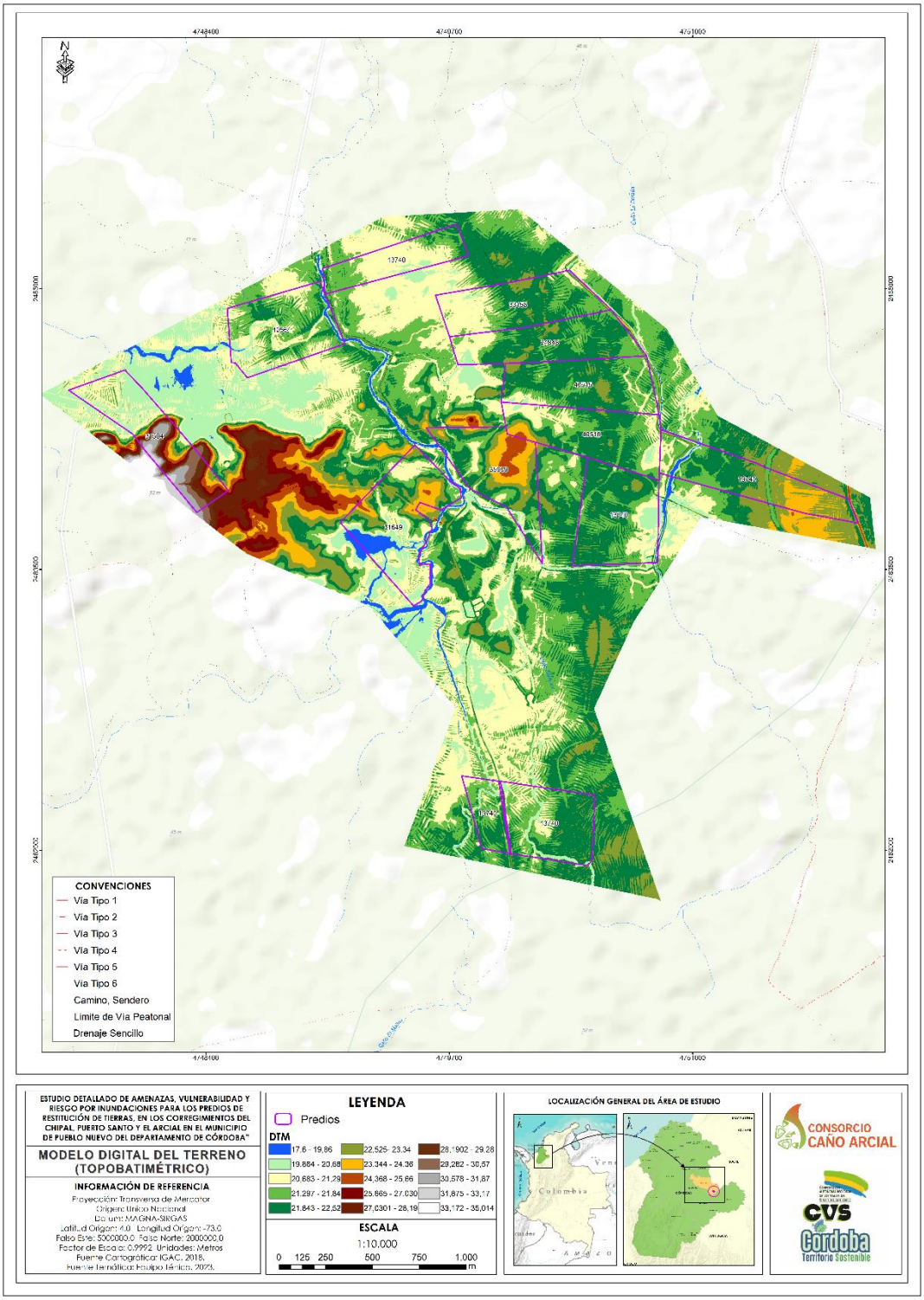


Figura 22 Modelo de Elevaciones 0,5 m de resolución espacial (LIDAR)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.6.4 Análisis de pendientes el terreno

De acuerdo con la reseña metodológica mencionada estipulada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se establecen siete (7) categorías de clasificación de las pendientes, siendo las siguientes resumidas en la tabla 5.

Tabla 5 Rangos de pendientes en porcentaje.

Rango (%)	Interpretación
0 – 3	A nivel
3 – 5	Ligeramente inclinadas
5 – 12	Moderadamente inclinadas
12 – 25	Fuertemente inclinadas
25 – 50	Ligeramente empinadas o ligeramente escarpadas
50 – 75	Moderadamente empinadas o moderadamente escarpada
75 – 100	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada

Fuente: IGAC, 2017.

La Figura 23 presenta la distribución de las pendientes del terreno y de igual forma nos permite visualizar las áreas con 0 - 3% de inclinación en el área puntual de la ciénaga y zona potencialmente indudable, también es una herramienta que permite visualizar la distribución de la inclinación en las áreas circundantes y de esta forma identificar las diferentes geoformas que rodean la ciénaga.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

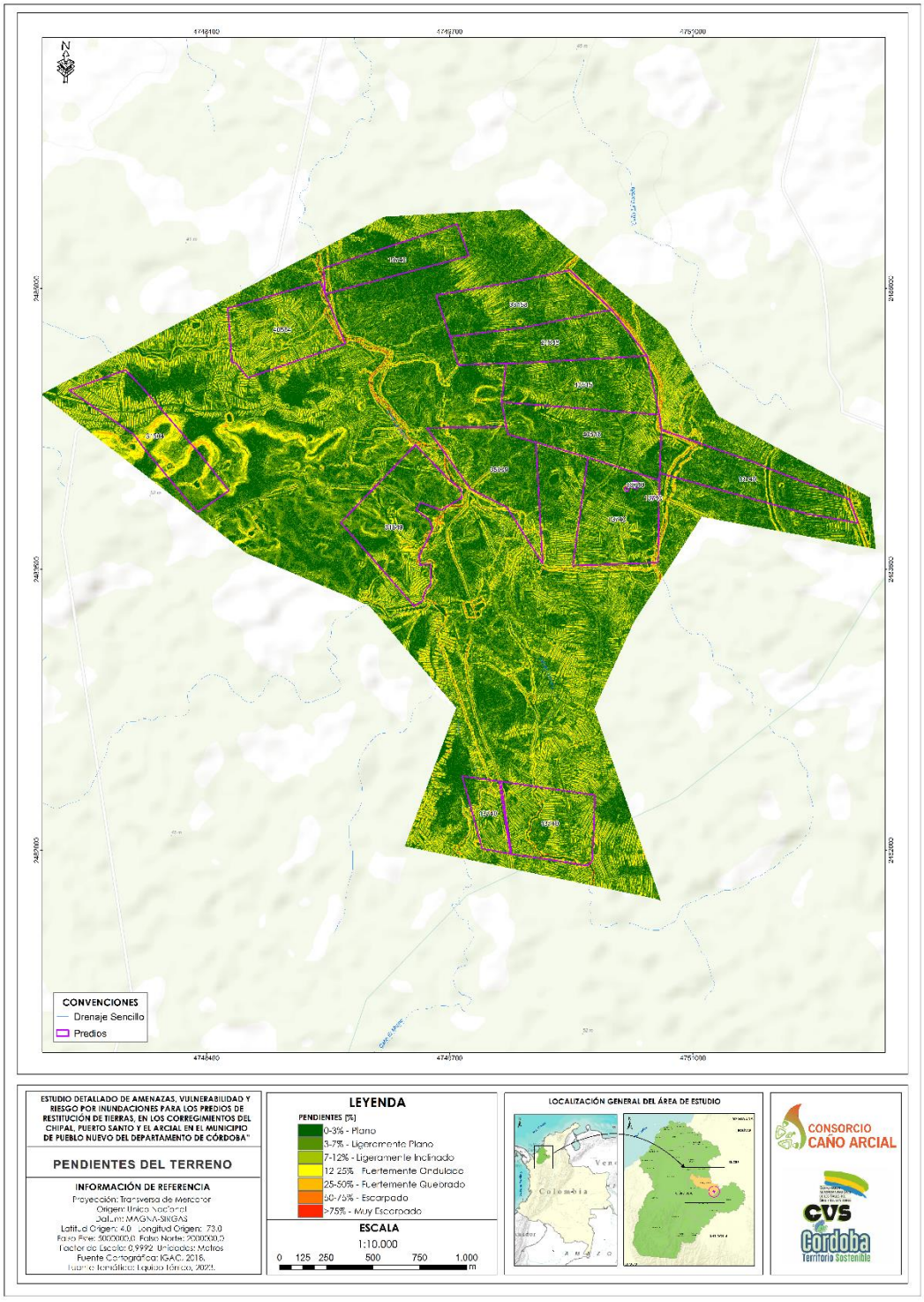


Figura 23 Mapa de pendientes del terreno
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.6.5 Geoformas

Estas subunidades fueron clasificadas preferencialmente en términos de laderas siguiendo los rangos de pendientes presentados en el mapa de la figura 23, los cuales, son insumo para la geomorfología. Del mismo modo, las tonalidades presentes en el mapa de subunidades geomorfológicas son acordes con el ambiente y el grado de la pendiente, todo esto de acuerdo con estándares internacionales. Al mismo tiempo, en la zona se encuentran subunidades antropogénicas asociadas con pequeñas construcciones y vías, para la finalidad de este trabajo y las posibles adecuaciones en el tiempo, estos rasgos fueron resaltados

En un principio la geomorfología parte de la cartografía regional semidetallada, en la zona de interés, en términos regionales se puede clasificar como:

Origen Fluvial

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

Espejo de Agua

Se caracteriza como un aglomerado de pequeños cuerpos de agua, que están conectados y relacionado con un río principal, en este caso por el río San Jorge, que permite la renovación del agua y sedimentos en la ciénaga. Se desarrolla como una depresión en zonas de morfología plana.

Plano o Llanura de Inundación

Conjunto de planicies o llanuras de inundación asociadas al río San Jorge y la ciénaga de Arcial y algunos drenajes tributarios. Los drenajes son del tipo meándrico, producen valles en forma de “U”, con pendientes planas a suavemente inclinadas (0°-5°), de morfología baja y ondulada. Están conformadas por materiales depositados predominantemente materiales de grano fino.

Terraza Aluvial

Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

lo largo del cauce de un río. Su origen está relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su depósito está constituido por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del rio.

Terraza Aluvial Denudada

Es una superficie elongada, con pendiente plana a suavemente ondulada, en algunos casos está limitadas por escarpes de diferentes alturas, se presenta de forma alterna, no pareada, a lo largo del cauce del río San Jorge y unidades geomorfológicas asociadas como el plano anegadizo. El origen está relacionado a procesos de erosión aluvial lateral y procesos de levantamiento tectónico que afectan el sustrato rocoso.

Valle Aluvial

Canales aluviales pronunciados e irregular alargada, en forma de “U” o “V” formados por la acción erosiva de las aguas sobre las formaciones geológicas del Grupo Sincelejo, y por donde fluyen los cuces de los principales cuerpos de aguas loticos de vierten sus aguas a la ciénaga El Arcial.

Valle Aluvial Poco Profundo

Canales aluviales intermitentes de forma irregular excavados por las corrientes dentro de los sedimentos aluviales, esta unidad está asociada al cauce de afluentes de la ciénaga.

Ambiente Denudacional

Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera crean nuevas por la acumulación de sedimentos.

Colinas Bajas Redondeadas

Presenta morfología colinada, con cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas de formas que varías entre rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas e índices de relieves bajos. Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y las laderas se caracterizan por la moderada disección, generan valles en “U” con fondo redondeado a plano.

Colinas Altas Denudadas

Con morfología colinada, con pendientes suavemente inclinadas. El origen está relacionado a procesos de meteorización y erosión intensa, sobre rocas blandas y en

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

sedimentos no consolidados, dispuestos de manera horizontal a ligeramente inclinados. En la zona de estudio se modela principalmente en rocas clásticas consolidadas.

Talud Erosional

Plano vertical a subvertical, escalonado, que borde a las terrazas aluviales de erosión. El origen está relacionado con la incisión y profundización del cauce sobre el estrato rocoso. La altura de este escarpe es de aproximadamente 10 metros y se desarrolla en el material del depósito aluvial (el mismo que conforma la terraza de erosión).

Geoformas de Origen Antrópico

Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno.

Canales

Corresponde a una obra hidráulica desarrollada por medio de excavaciones longitudinales que permitan el flujo de agua para riesgos, abastecimiento de poblaciones alejadas de los cuerpos de agua o incluso para mitigar el represamiento de aguas.

Terraplén

Corresponde a obras hidráulicas desarrolladas por medio de movimiento de tierra, que funciona como una barrera para retener las inundaciones generadas durante épocas de alta precipitación. Esta geoforma de identifica como un zona elevada y alargada que rodea el cauce de la ciénaga interrumpiendo su dinámica natural.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

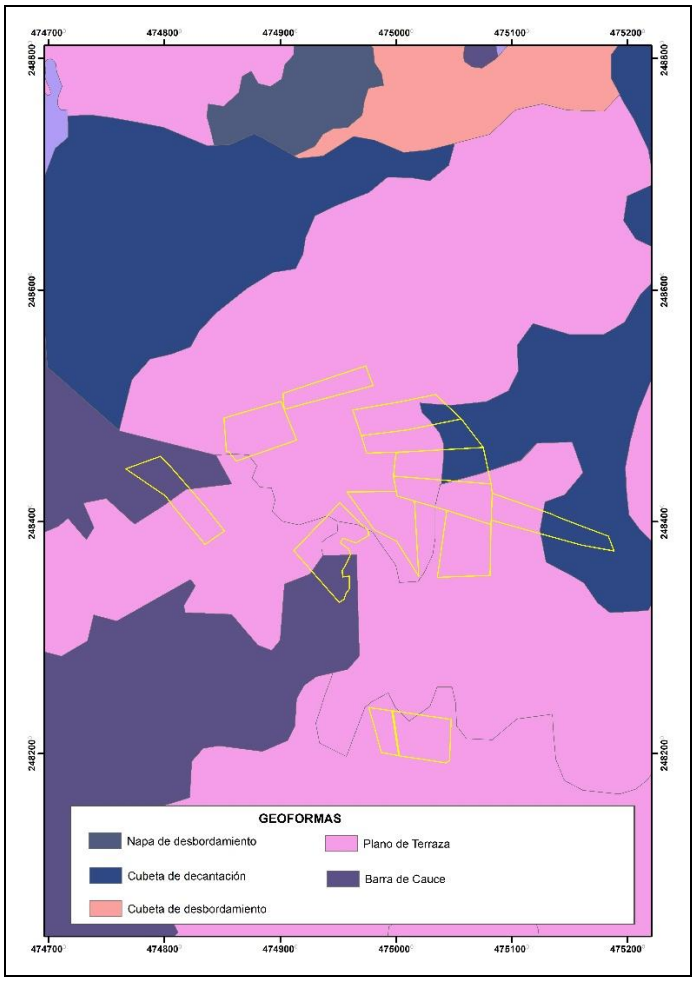


Figura 24 Mapa de Subunidades Geomorfológicas
Fuente: Consorcio Caño Arcial

6.1.7 Suelos

En los corregimientos del Chipal, Puerto Santo y Arcial, y especialmente la zona del estudio se presentan en su gran mayoría suelos clase V, en esta clase se identifican suelos donde el uso de las tierras en estado natural se limita a agricultura y ganadería estacional escasamente tecnificada, agroforestería, conservación y preservación de los recursos naturales y ecoturismo. Son suelos pobremente drenados, (IGAC, 2014). Las tierras de la clase 5 no son aptas para agricultura convencional por limitaciones diferentes a erosión, como por ejemplo, la ocurrencia de inundaciones prolongadas y la presencia de pedregosidad superficial. Con la implementación de sistemas de cultivo y prácticas de manejo especiales, en estas tierras se podrían adelantar actividades agrícolas y ganaderas con rendimientos aceptables. Pero actualmente estos suelos están siendo utilizados para actividades de pastoreo (o ganadería) extensivo.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

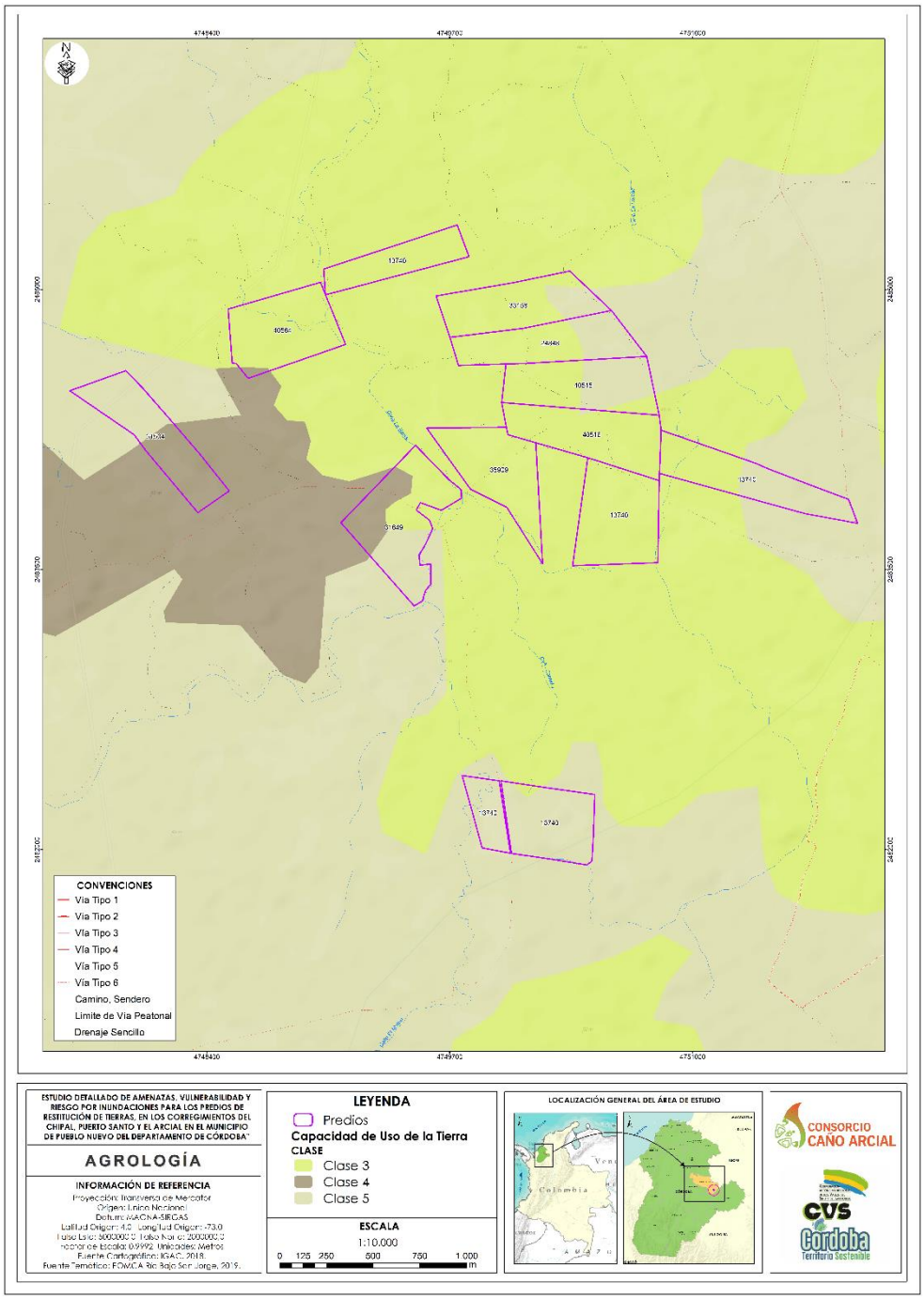


Figura 25 Tipos de Suelos
Fuente: IGAC

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.8 Coberturas de la tierra

Aplicando la metodología Corin Land Cover, adaptada para Colombia, se encontró que la zona del estudio está conformada por coberturas de pastos limpios, pastos arbolados, mosaico de cultivos, espacios naturales, zonas pantanosas, cuerpos de agua naturales y tejido urbano discontinuo. Las coberturas como pastos se presentan usualmente en terrenos con desarrollo de actividades pecuarias; frecuentemente los pastos naturales crecen de forma silvestre sin aplicación de agroquímicos. Las zonas pantanosas (muy semejantes a herbazales densos inundables) son características de áreas humedales. La metodología indica que los cuerpos de agua presentes en la zona (canales y cuerpos artificiales) tienen características propias de corrientes elaboradas por la acción del hombre.

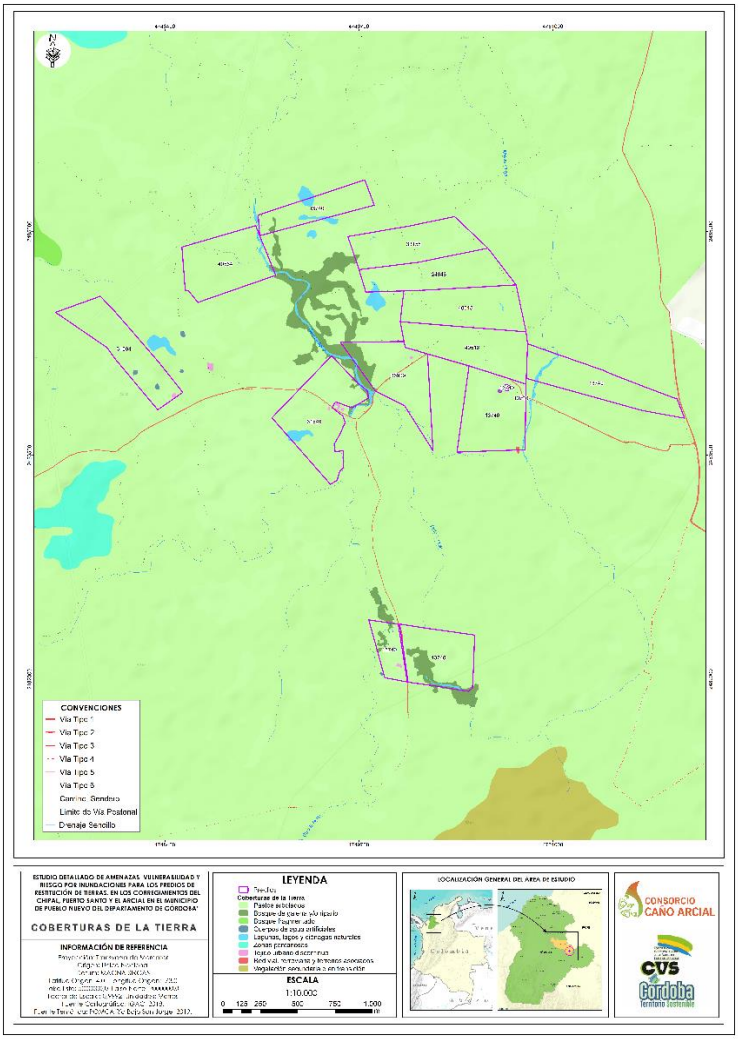


Figura 26 Coberturas de la tierra
Fuente: IGAC

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

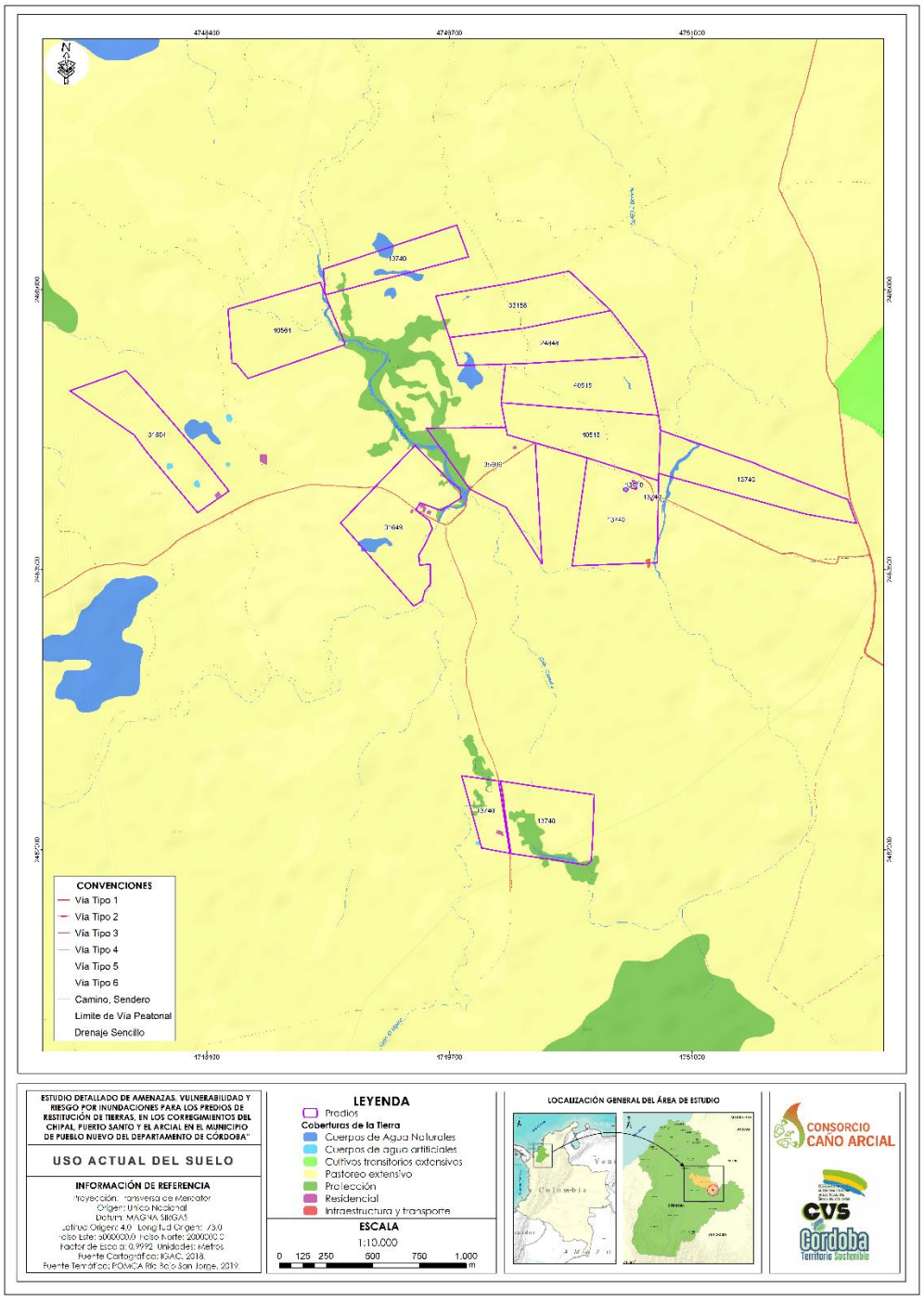


Figura 27 Uso Actual del suelo
Fuente: POMCA RIO BAJO SAN JORGE (2019)

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.9 Climatología.

La distribución media anual de precipitación el municipio de Pueblo Nuevo presenta una variación espacial considerable, siendo de los municipios con mayor pluviosidad anual con valores mínimos en el área del orden de 1568 mm y valores máximos del orden de 2160 mm, con un valor medio en todo el municipio de 1811 mm (EAFIT-CVS, 2013). Según los registros históricos de las estaciones de IDEAM en la zona, se identifica una distribución monomodal con valores elevados de precipitación desde el mes de abril hasta noviembre. En esos periodos se registran valores de precipitaciones promedio anual de 1811 mm, y donde se registran meses muy secos como el mes de enero con valores promedio de 19.5 mm y el mes más húmedo, como el mes de agosto con valores promedio de 210.9 mm.

En el área de estudio las estaciones cercanas registran un promedio de humedad relativa anual del 82%, con un brillo solar promedio anual de 1802 horas que generan una evaporación total anual de 1488 mm.

6.1.10 Características socioeconómicas

6.1.10.1 Demografía.

El municipio de Pueblo Nuevo registra según el DANE y la base del DNP un total de 42.466 habitantes aproximadamente. De los cuales el 33.30 % se encuentra agrupado en la cabecera municipal y el restante 67.7 % diseminado en los diferentes centros poblados corregimentales y veredales. Lo que indica una marcada tendencia de la población al desarrollo de actividades productivas rurales.

6.1.10.2 Vivienda

Se analizó concretamente la zona del corregimiento del Chipal como la más significativa puesto que corresponde al contexto local del área de estudio; en donde se encontró, según cifras del DANE (2018), se presenta un promedio de 3 hogares por vivienda. Ya en el caso de las parcelas objeto de estudio encontramos que la mitad encuentra sin unidades de vivienda campesina y las otras 2 presentan vivienda, y una de estas 2 viviendas presenta buen estado.

6.1.10.3 Educación

Las cifras del Ministerio de Educación nacional indican que para el municipio de Pueblo Nuevo se presenta una tasa de cobertura educativa neta (para educación básica transición, primaria y secundaria) del 98,6%. Según cifras de secretaría de educación municipal, en general la población campesina asentada o que vive en el área de del proyecto, solo llega hasta este nivel de escolaridad (básica secundaria), debido a que quienes ingresan a la universidad, migran hacia otros lugares.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

6.1.10.4 Servicios públicos domiciliarios

En general la cobertura de servicios públicos domiciliarios es muy deficiente en el corregimiento de El Chipal, donde en general no se cuenta con el servicio público de acueducto, alcantarillado ni aseo; solamente existe cobertura de redes energéticas, pero este subsistema no cubre las parcelas que no se encuentran consolidadas y/o desarrolladas.

6.1.10.5 Actividades de producción

El Municipio de Pueblo Nuevo sustenta su estructura económica en tres sectores: Sector primario: Conformado por las actividades económicas del sector agropecuario, como lo son la agricultura, ganadería, pesca, minería. El Sector secundario: Conformado por las actividades industriales las cuales son pocas en el municipio. El Sector terciario: Conformado por las actividades de comercio, turismo y servicios. (PBOT, 2017). La actividad pecuaria predomina sobre los demás renglones de la economía; aun así, existe una gran sinergia con el sector agrícola. Su potencial agrícola es de 25.577,03 hectáreas o sea el 30,19% del área municipal, pero solo se están utilizando en esta actividad 8.075,1 hectáreas. No todas se encuentran en suelos de vocación agrícola. Pueblo Nuevo dispone de suficientes suelos y tierras que, mediante la planificación y ordenamiento territorial, pueden consolidar su seguridad alimentaria y producir recursos para sí mismo y demás sin deteriorar un recurso tan valioso como lo es el suelo y el agua.

El sector agrícola del municipio está conformado por: Cultivos transitorios (arroz mecanizado, arroz tradicional, maíz tecnificado, maíz tradicional, patilla, ajonjolí, frijol), cultivos anuales (yuca, ñame), cultivos permanentes (plátano, coco, piña, marañón)

6.1.10.6 Preparación ante emergencias

El sistema municipal de gestión el riesgo, prácticamente no está articulado y no funciona en el municipio de Pueblo Nuevo. Los mecanismos de preparación ante emergencias solo se limitan a la conformación del Consejo municipal de gestión del riesgo, que sesiona solamente cuando ha ocurrido una emergencia de algún origen natural y/o antrópico; pero que no cuenta con la preparación técnica o científica, los procedimientos, los recursos financieros, ni equipos o bienes para responder efectivamente ante un evento desastroso. Las comunidades por su parte, aunque tienen una percepción de lo que puede ser el riesgo, no han sido capacitadas en ningún aspecto para la gestión del riesgo de desastre, pero tampoco cuentan con recursos de ningún tipo para hacerle frente a las emergencias por inundaciones.

7. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este acápite se expone la aplicación metodológica descrita en el capítulo 5 para la zona de estudio, para luego converger en unos resultados obtenidos para el caso. En el

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

primer apartado se describe en detalle el análisis hidrológico e hidráulico realizado, así como los procedimientos de uso de la información primaria física y geo-científica levantada en el marco de la consultoría, y su armonización con la información secundaria existente. En el segundo apartado se describe detalladamente el análisis cuantitativo de vulnerabilidad a partir de la concatenación entre la base de información técnico-científica existente y las mediciones realizadas por la consultoría. Se explica detalladamente el uso de las funciones de daño, con sus alcances, incertidumbres y su injerencia en la zonificación de vulnerabilidad. Finalmente se presentan para cada período de retorno seleccionado las pérdidas económicas distribuidas espacialmente en la zona y la pérdida económica anual esperada, como representación matemática del riesgo por inundaciones en las parcelas, acompañada de la zonificación de riesgo señalada por la normatividad. Este ejercicio se repite una vez calculadas, analizadas y propuestas las medidas de intervención para el área investigada.

7.1 ANÁLISIS DE AMENAZAS POR INUNDACIÓN.

7.1.1 Caracterización general del área de estudio

7.1.1.1 Descripción y delimitación de la cuenca de estudio

El área de estudio hace parte de un ecosistema de ciénaga contenido en la cabecera de la cuenca del río San Jorge, estando delimitada por dos cuerpos lénticos: ciénaga Arcial aguas arriba y ciénaga El Porro aguas abajo (Figura 2). La ciénaga Arcial tiene como afluente principal al caño Molino además de un sistema pantanoso cuando la ciénaga desborda por la margen izquierda en eventos extremos. Estas dos afluencias alimentan la zona de estudio, mientras que la ciénaga El Porro impone una condición de nivel aguas abajo.

Cabe destacar que el caño Molino se bifurca en dos puntos antes de entrar en la zona de interés, de manera que el aporte de caño Molino es distribuido en tres puntos de entrada al área de estudio (Figura 28). La cuenca hidrográfica hasta la entrada a la zona de interés tiene un área de drenaje de aproximadamente 168 km^2. Este valor es aproximado puesto que, en la salida de la cuenca, debido a las bajas pendientes, no existe un cauce principal bien definido a partir del cual se puede trazar una cuenca aferente de detalle.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

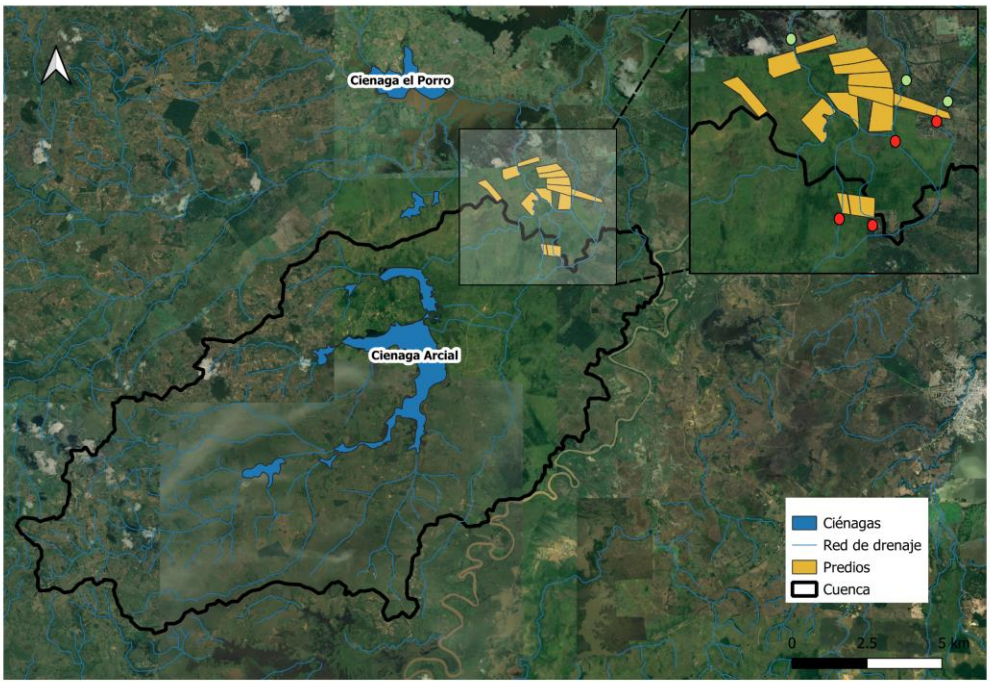


Figura 28. Localización cuenca principal
Fuente: Consorcio Caño Arcial

El mapa de la Figura 29 muestra el relieve de la cuenca aferente y su entorno. La elevación varía entre 88 m (en la cabecera) hasta 22 m (en la entrada al área de estudio). En la Tabla 6 se presentan las características morfométricas de la cuenca. Las características fueron obtenidas a partir de trabajos de geoprocesamiento sobre el Modelo Digital de Elevación (MDE) ANADEM de 30 m de resolución *(*ANA, 2023). Debido a que ecuaciones empíricas para la estimación del tiempo de concentración (Tc), como la ecuación de Kirpich (Kirpich, 1940), no son representativas en sistemas lénticos, el Tc fue obtenido por simulación hidrodinámica (ver sección 3.3).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

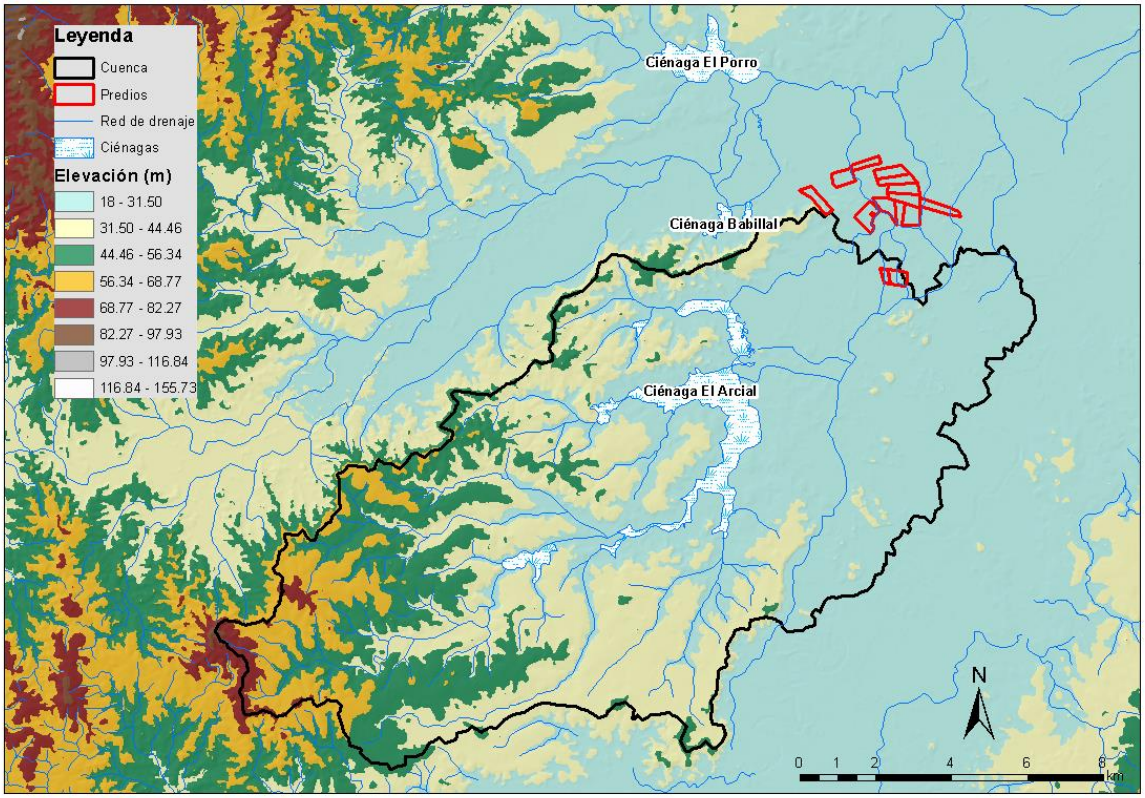


Figura 29. Modelo digital de elevación de la cuenca de estudio
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 6. Parámetros morfométricos de cuencas analizadas.

Cuenca	Área (km^2)	Longitud del río principal (km)	Cota Máxima (m)	Cota Mínima (m)	Pendiente promedio del río ($m.m^{-1}$)	Tiempo concentración* (h)
Principal	168	28,19	92	22	0,0025	21

Fuente: Consorcio Caño Arcial

*El tiempo de concentración se calcula en la sección 3.3 a partir de simulación hidrodinámica bidimensional de la cuenca completa.

7.1.2 USO Y OCUPACIÓN DEL SUELO

Según una reclasificación de las ortofotos del presente proyecto, la cobertura del suelo de la cuenca aferente consiste predominantemente en áreas agrícolas con más del 80%% y por superficies de agua y áreas húmedas (*wetlands*) con 14%, seguido de pequeños núcleos de áreas de bosques y áreas urbanizadas. Estas características

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

pueden ser observadas por tipo de uso del suelo (Tabla 7) y espacialmente en la Figura 30.

Tabla 7. Uso del suelo de la cuenca de estudio.

Clase de uso del suelo	Área de la cuenca km2	Proporción en la cuenca (%)
Territorios Agrícolas	110.21	81.63
Áreas húmedas continentales	11.37	8.42
Superficies de Agua	7.54	5.59
Bosques y Áreas Seminaturales	5.24	3.88
Territorios Artificializados	0.64	0.48

Fuente: Consorcio Caño Arcial

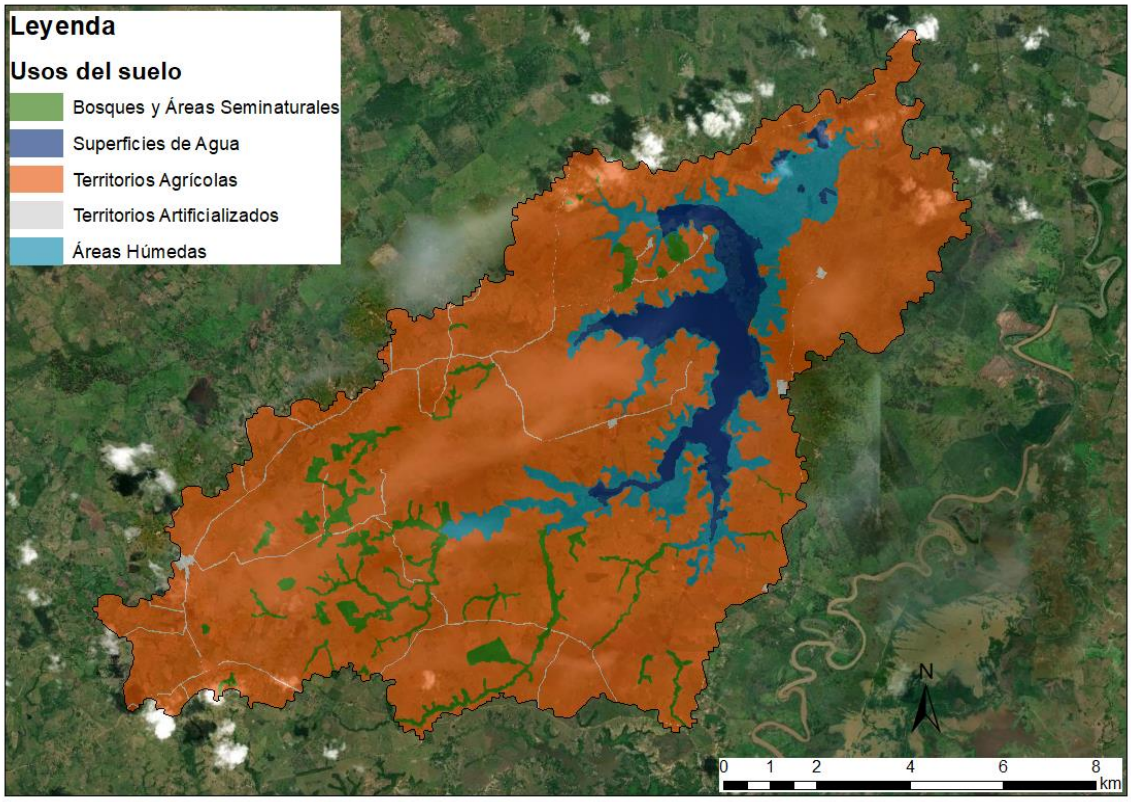


Figura 30. Mapa del uso y cobertura del suelo de la cuenca de estudio.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.3 Análisis de precipitación

Para el análisis estadístico de la precipitación, se recopiló información de precipitación diaria de las estaciones más cercanas al área del proyecto existentes en la base de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), como muestra la Figura 31 y la Tabla 8. De estas estaciones, solo fueron consideradas para análisis las estaciones con más de 15 años de registros y con más de 90% de disponibilidad de sus registros. Así, fueron utilizadas las estaciones CINTURA [25020710] y PLANETA RICA [25025190] con cerca de 49 y 46 años de registros diarios de precipitación, respectivamente. Las series diárias completas se presentan en el anexo: “ANEXO_SERIES_PRECIPITACION”.

La estación CINTURA está localizada aproximadamente aguas abajo a 13.5 km del centroide de la cuenca aferente, mientras la estación PLANETA RICA está localizada al noroeste de la cuenca a 31.27 km de su centroide. De esta forma, la cuenca sería completamente caracterizada hidrológicamente incluyendo información disponible tanto de aguas arriba como de aguas abajo.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

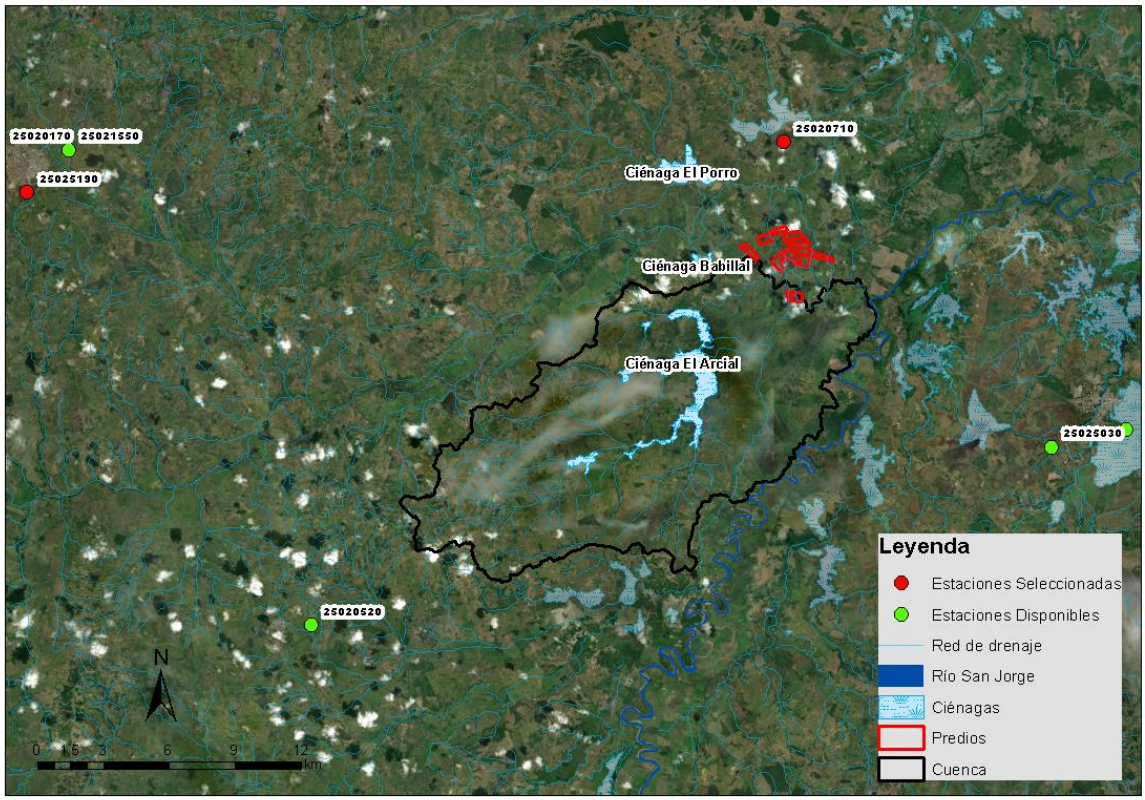


Figura 31. Localización de las estaciones pluviométricas disponibles y seleccionadas.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 8. Características generales de las estaciones pluviométricas

Nombre	Código	Coordenadas (◦)		Elevación (m)	Periodo de registro	Precipitación promedio anual (mm)
		Latitud	Longitud			
CINTURA	25020710	8,42	-75,273	25	1974 - 2022	1953,3
PLANETA RICA	25025190	8,39	-75,284	90	1976 - 2022	1406,7

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.4 Análisis de consistencia

Con el propósito de analizar la consistencia de los registros de precipitación de las estaciones seleccionadas (Cintura y Planeta Rica), fueron utilizados dos metodologías diferentes, análisis de curva doble masa (*double-mass curve*) y por gráfica de series adimensionales (Tucci, 2009). Esta metodología consiste en comparar registros en común entre dos estaciones. De esta manera, para las estaciones analizadas se identificó el periodo en común entre 1976 hasta 2022.

Para el método de curva de doble masa, este fue aplicado para los registros de precipitación media mensual entre los años 1976 y 2022. Esto fue realizado a fin de verificar la consistencia entre las dos estaciones, En la Figura 32 se muestra los resultados de este análisis, donde el coeficiente de determinación R^2 es de 0,9989, lo que indica la proporcionalidad de sus registros a nivel mensual, validando de esta forma la consistencia entre las dos estaciones seleccionadas.

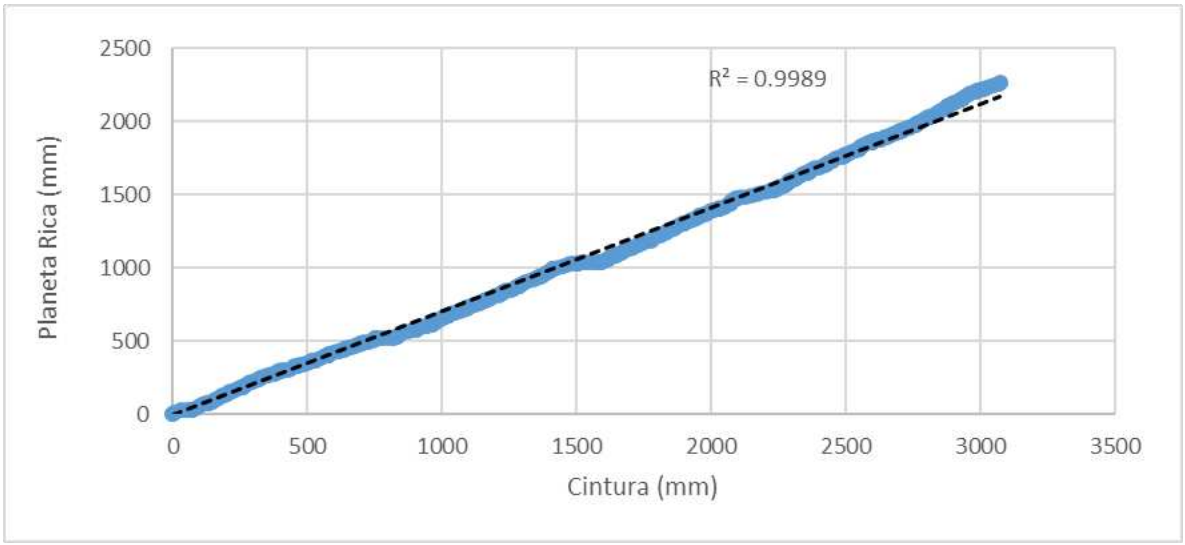


Figura 32. Análisis de doble masa para precipitaciones medias mensuales para la estación Cintura y Planeta Rica entre 1976 y 2022.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

El otro método utilizado fue el método de gráfica de series adimensional, que consiste en dimensionalizar la serie dividiendo cada una por su respectivo valor medio. Esto, a fin de

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

poder comparar visualmente las series resultantes. La Figura 33 presenta las series de las estaciones seleccionadas, donde se puede observar que sus registros son consistentes, indicando un comportamiento semejante en gran parte del periodo analizado.

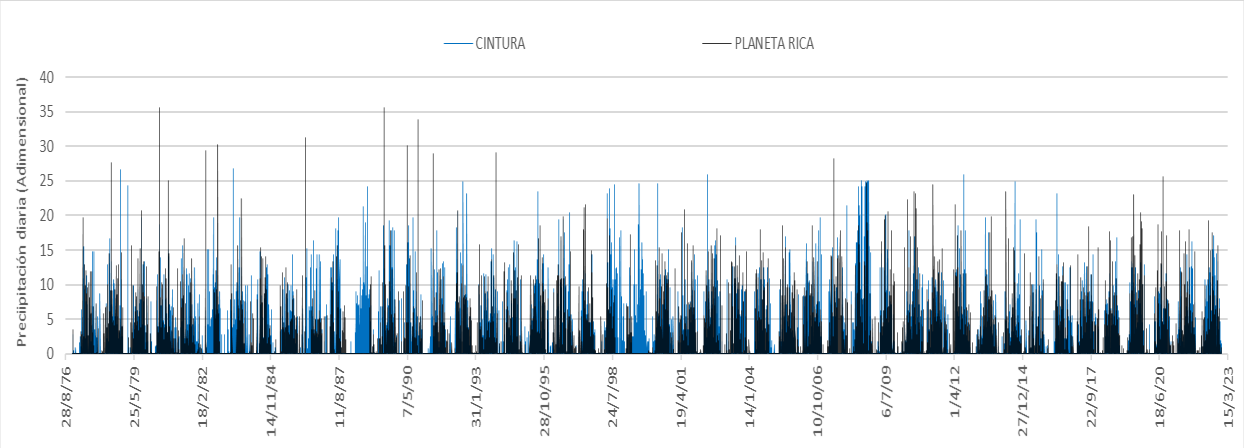


Figura 33 Comparación de las series de precipitación diaria adimensional para las estaciones seleccionadas. Fuente: Consorcio Caño Arcial

De la misma forma, la consistencia entre estas dos estaciones fue verificada por medio de los registros de precipitaciones media mensual adimensional. La Figura 34 muestra los resultados obtenidos, donde también es posible observar un comportamiento semejante entre las dos series.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

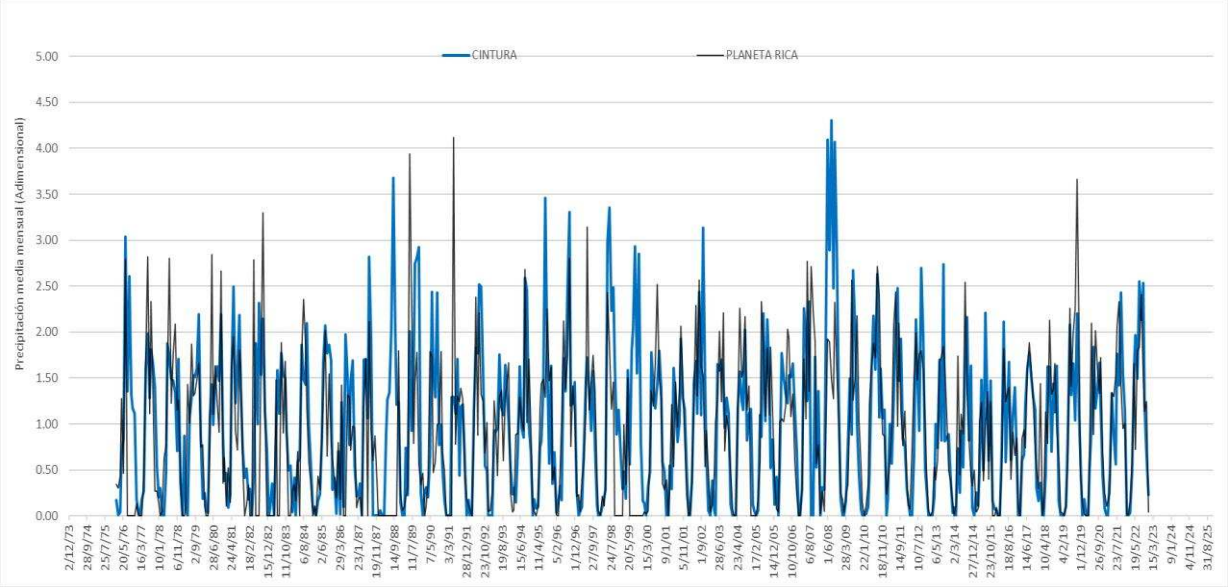


Figura 34.Comparación de las series de precipitación media mensual adimensional para las estaciones seleccionadas.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Cabe resaltar, que un aspecto importante de este análisis es poder identificar preliminarmente eventos que pueden tener datos con errores de medición (outliers). En la figura 8 es posible observar que en la estación Cintura existe un pico de mayor magnitud registrado en el año de 2008. Este evento, es de particular interés a ser evaluado, ya que puede corresponder a un posible outlier. En la siguiente sección, en el análisis de homogeneidad se evalúa en mayor detalle la presencia de outliers.

7.1.5 Análisis de homogeneidad

Una de las hipótesis utilizadas en la aplicación de métodos estadísticos en hidrología es la sazonalidad de las propiedades estadísticas (media, varianza, entre otras). Subyacente a esta hipótesis está el hecho de que, si no hay variaciones en las propiedades físicas de una cuenca hidrográfica o posibles impactos por cambio climático, se espera que la media y la variación a largo plazo de un proceso hidrológico en esta cuenca permanezcan constantes con el tiempo. Por lo tanto, los cambios en algunas propiedades estadísticas de una serie destacan la existencia de anomalías que necesitan ser explicadas (si son naturales) o eliminadas (si no son naturales).

Las pruebas más comunes para métodos estadísticos aplicados a hidrología de superficie son detección de outliers, o sea, datos identificados fuera de lo común y que no existe explicación para que hayan ocurrido, por lo tanto, representan datos que no coinciden

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

con la realidad y pueden representar un error de medición o en el análisis de cambio de magnitud en la media, varianza o tendencia de una serie.

7.1.5.1 Detección de outliers

Para el análisis de detección de outliers, fueron aplicados diferentes metodologías: Rango Normalizado, puntos fuera del rango (Rosner, 1975), método simplificado de Dixon (Dixon, 1950) y el método de Grubs (Grubbs, 1969). De esta forma, fue posible identificar y verificar posibles anomalías en los datos medidos en las estaciones seleccionadas. La Tabla 9 muestra los outliers detectados en los registros de precipitación media mensual de la estación Cintura y Planeta Rica.

Tabla 9. Resultados de detección de Outliers para la estación Cintura

Evento	Posibles outlier (mm)	Método que identificó
Cintura		
Jun-08	120.00	Rango Normalizado
Jul-08	140.00	Rango Normalizado
Planeta Rica		
May-91	93.10	Rango Normalizado; Puntos Fuera de Rango; Grubs
Jun-89	160.00	
Apr-82	132.00	
Oct-19	91.70	

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Los resultados obtenidos muestran que para los registros de la estación Cintura, el único evento identificado con outliers fue en junio y julio de 2008. Este evento fue identificado solo por el método Rango Normalizado de los cuatro métodos utilizados. En cuanto que

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

para la estación Planeta Rica, fueron identificados cuatro eventos con posible existencia de outliers en los años de 2019, 1991, 1989 y 1982, por tres de los métodos utilizados.

Al realizar un análisis más detallado, se observó que en los meses de los eventos identificados en 1989 y 1991, se tienen una disponibilidad de datos de menos del 20%, lo que puede provocar un vies en el análisis estadístico. De esta forma, estos eventos fueron eliminados, a fin de generar series más consistentes.

7.1.5.2 Cambios en la media

En las Figura 35 y Figura 36, se puede observar los resultados obtenidos para cambios en la media usando el método de Rank Sum Test (Helsel and Hirsch, 2002) para los registros de las estaciones seleccionadas. Para las precipitaciones medias entre los años de 2008 a 2013 de la estación Cintura, se puede observar valores superiores al límite crítico que indica cambio en la media. En cuanto que para la estación Planeta Rica, no presenta ningún cambio en sus valores medios para el periodo analizado.

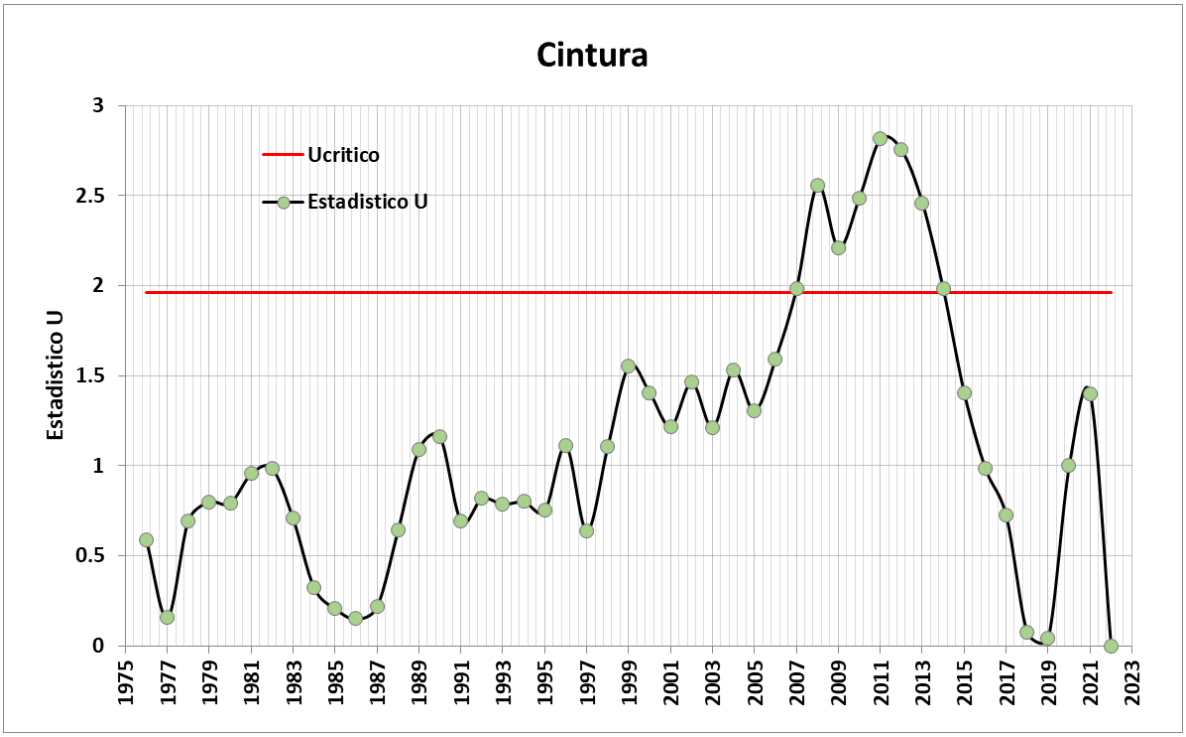


Figura 35. Prueba de detección de cambio en la media en la estación Cintura
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

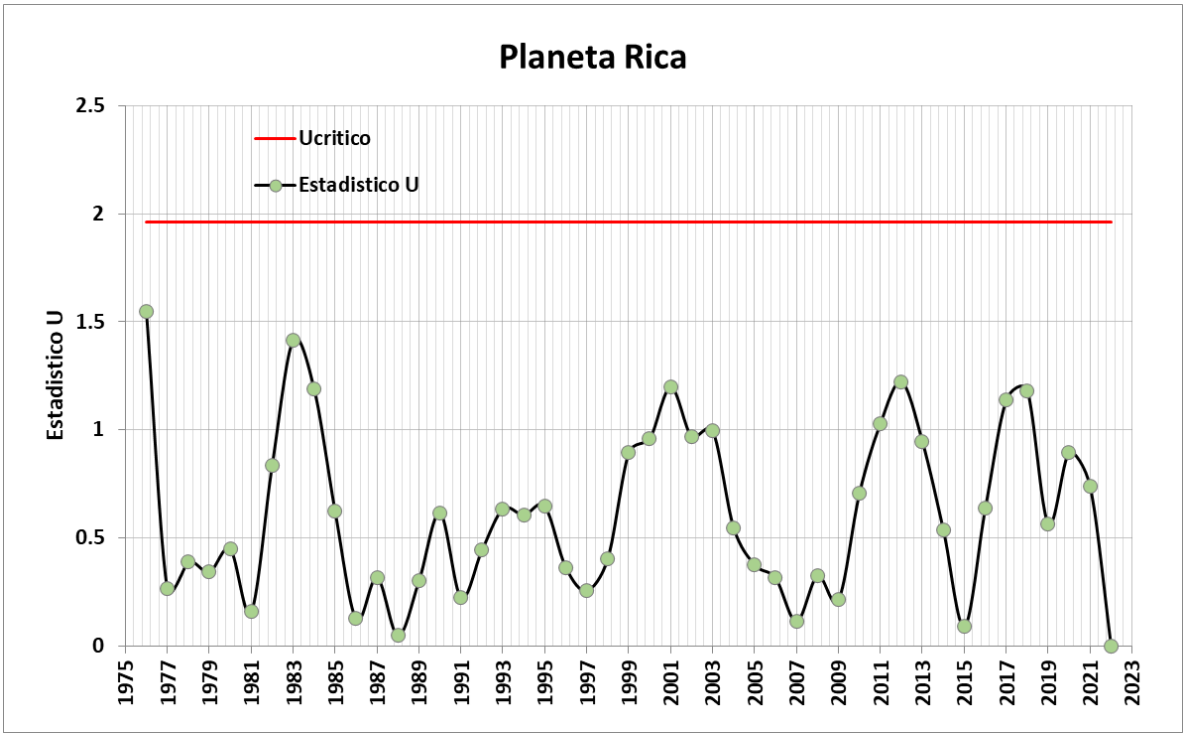


Figura 36. Prueba de detección de cambio en la media en la estación Planeta Rica
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.5.3 Tendencia en la media

Fue realizado un análisis de la tendencia en la media del periodo de registros medios anuales disponibles en las estaciones seleccionadas para un nivel de significancia de 0,05. Los parámetros utilizados se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros utilizados

Parámetros	Cintura	Planeta Rica
N (años)	47	47
b	-0.008	-0.002
Rt	0.008	0.002
T	-0.68	-0.26

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

TCrítico	2.32	2.32
Tendencia en la media	No	No

Fuente: Consorcio Caño Arcial

donde b es la inclinación general de la serie, T es la estadística de prueba y $T_{Crítico}$ es la estadística crítica que se estima con base en el nivel de significancia por medio del método de T-student.

La Figura 37 y Figura 38 muestran los resultados de la regresión lineal de las precipitaciones medias anuales de las estaciones seleccionadas y el coeficiente de determinación, como también la ecuación de regresión lineal.

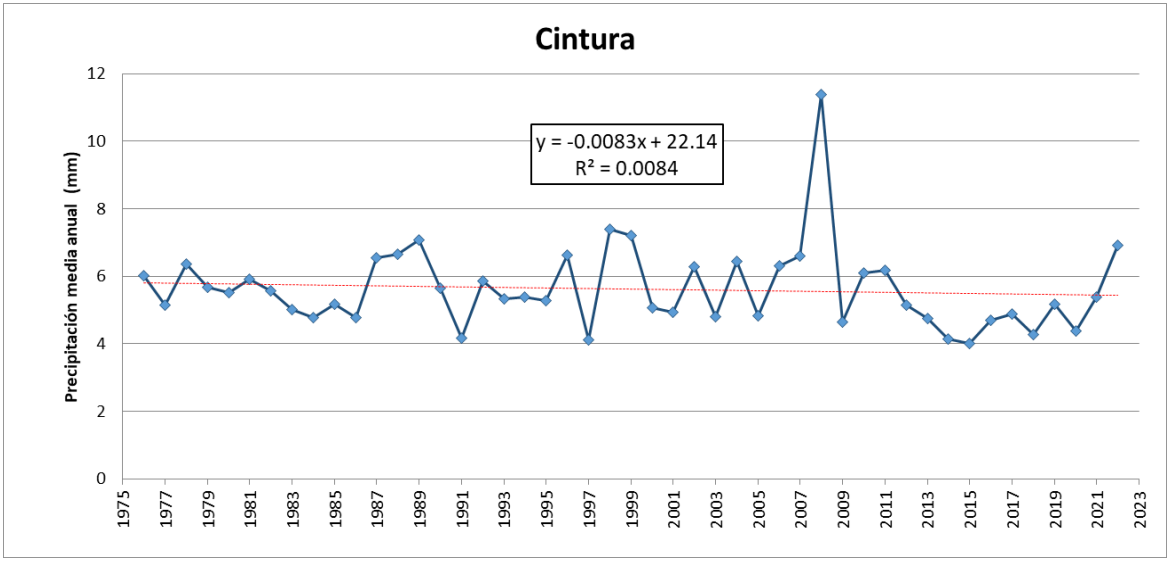


Figura 37. Tendencia de la media en los registros de la estación Cintura.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

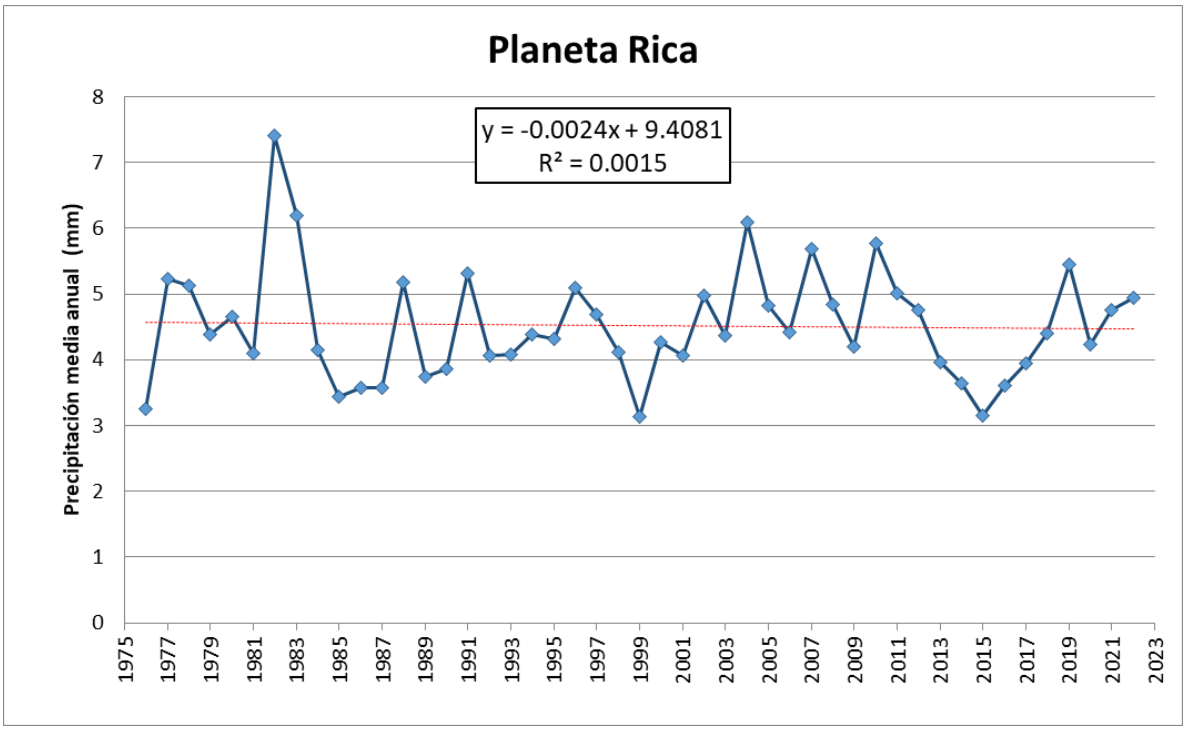


Figura 38. Tendencia de la media en los registros de la estación Planeta Rica.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Usando la prueba de T-student, se puede constatar que no existe tendencias en la serie de registros históricos de precipitaciones para las estaciones analizadas. esto, debido a que el valor encontrado para el parámetro T es menor que el T crítico. El parámetro T fue estimado como prueba de T-student con (N-2) grados de libertad y un nivel de significancia de 0,05.

En cuanto al comportamiento interanual de las precipitaciones, las series disponibles de las estaciones seleccionadas no muestran cambios en su tendencia para todo el periodo analizado, lo que permite concluir que son series homogéneas y consistentes.

7.1.6 Precipitaciones totales

Con el objetivo de evaluar el ciclo anual de la precipitación, la Figura 39 muestra las precipitaciones mensuales multianuales. En general, el régimen de lluvias está marcado por un comportamiento unimodal, con una temporada de menor precipitación al inicio y al final del año, y una temporada de mayores precipitaciones entre los meses de mayo y octubre.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

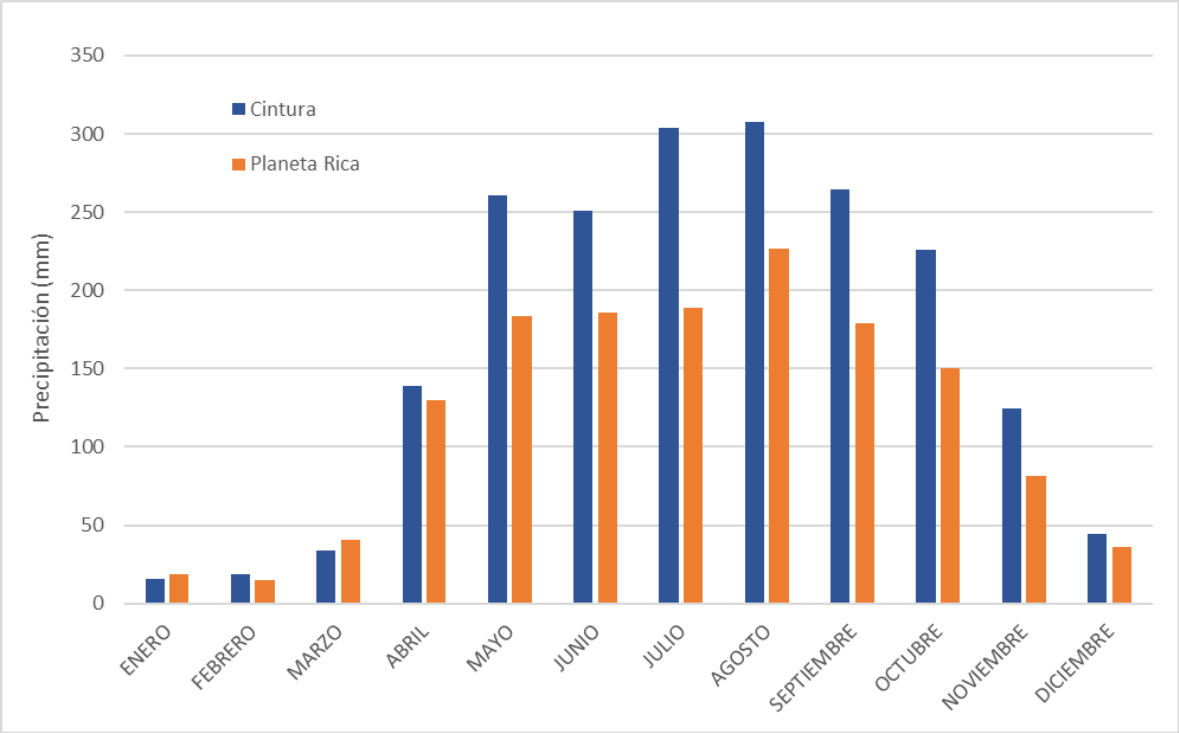


Figura 39. Ciclo anual de precipitación en estación analizada
Fuente: Consorcio Caño Arcial

En ambas estaciones, el máximo pico ocurre en agosto, mientras que los meses adyacentes continúan teniendo precipitaciones medias altas, comparables con los picos. A pesar de que el régimen aguas arriba de aguas abajo sigue un patrón semejante, se destaca que la precipitación de la estación aguas abajo de la cuenca tiene precipitaciones hasta 60% mayores que las precipitaciones de la estación aguas arriba de la cuenca.

7.1.7 Estimación de curvas IDF

La base de datos del IDEAM no contiene curvas IDF de las estaciones próximas al proyecto, ni de pluviógrafos con datos más detallados (por ejemplo, cada 10 minutos) que permita realizar un análisis de intensidad-duración de tormentas. Por lo cual se empleó la formulación de "Curvas sintéticas de Intensidad – Duración – Frecuencia para Colombia" de Vargas Rodrigo (1998). Esta metodología, conocida como el método simplificado, se basa en una correlación de la precipitación máxima en 24h, el número promedio de días de lluvia al año y la precipitación media anual. El método propone varias formulaciones, dependiendo de los datos disponibles. Una ecuación emplea únicamente las lluvias máximas en 24h, una segunda ecuación relaciona las lluvias máximas en 24h

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

y el número de días de lluvia y la que se considera más precisa correlaciona los tres parámetros, de la siguiente manera:

$$I_m = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \cdot N^e \cdot PT^f$$

Donde:

- **I_m**: Intensidad media en mm/h.
- **T**: Periodo de retorno en años.
- **t:** duración de la lluvia en horas.
- **N:** promedio de número de días con lluvia al año.
- **PT:** Precipitación media anual en mm.
- **M:** Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria en mm.

La zona del proyecto se encuentra en la Región Caribe, cuyos parámetros a, b, c, d, e y f son definidos en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de los parámetros de regresión en Colombia.

Región	a	b	c	d	e	f
Andina	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08
Caribe	8.51	0.21	0.5	-0.01	-0.08	0.28
Pacífico	**2.31**	**0.19**	**0.58**	**-0.2**	**0.12**	**0.4**

Fuente: Curvas Sintéticas de IDF para Colombia – Vargas Rodrigo 1998.

Los parámetros necesarios para la estimación de las curvas IDF sintéticas (número promedio de días de precipitación al año, la precipitación máxima anual media y la precipitación anual media) se presentan en Tabla 12.

Tabla 12. Valores de N, M y PT en estación empleada.

Parámetro	CINTURA	PLANETA RICA
Número días de lluvia (N)	78 días	110 días
P máxima anual media (M)	107,24 mm	94,81 mm

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Precipitación anual media (PT)	1953,3 mm	1406,7 mm

Fuente: Consorcio Caño Arcial

El interés de este capítulo reside en la estimación de las intensidades máximas de precipitación en función de la duración de la tormenta y de su periodo de retorno. Esta relación se representa por medio de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF – Figura 40). Con el fin de garantizar que toda la cuenca está aportando, que corresponde a la situación más crítica, la duración de la tormenta se iguala al tiempo de concentración de la cuenca. El tiempo de concentración es 21,8h cómo calculado en la sección 3.3, por medio de simulación hidrodinámica de la cuenca completa.

En vista que la medición de la precipitación es puntual y se desea considerar una lluvia uniformemente distribuida en la cuenca de estudio, se realizó una reducción en el área, a partir de la siguiente ecuación (INVIAS, 2011):

$$f(a) = 1.0 - 0.0268 * Tc^{-0.261} * A^{0.387},$$

donde A = 168 km^2 es el área de drenaje de la principal cuenca que alimenta la ciénaga y Tc = 21,8h es el correspondiente al tiempo de concentración. Esto resulta en un factor de reducción f=0.92.

Con el fin de considerar las dos estaciones seleccionadas (CINTURA y PLANETA RICA), se calculó una IDF ponderada por el método del inverso de la distancia (IDW) hasta el centroide de la cuenca, como presentado a seguir:

$$Iponderada = \frac{\frac{I_{CINTURA}}{13,47} + \frac{I_{PLANETA\ RICA}}{31,27}}{\frac{1}{13,47} + \frac{1}{31,27}}$$

Aplicando la ponderación por IDW y el factor de reducción a la intensidad se obtuvieron las curvas IDF de diseño presentadas en la Figura 13. Las tablas con los valores de intensidad de lluvia para cada estación empleada, intensidad ponderada sin reducción y con reducción en el área se presentan en el anexo: “ANEXO_IDF”.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

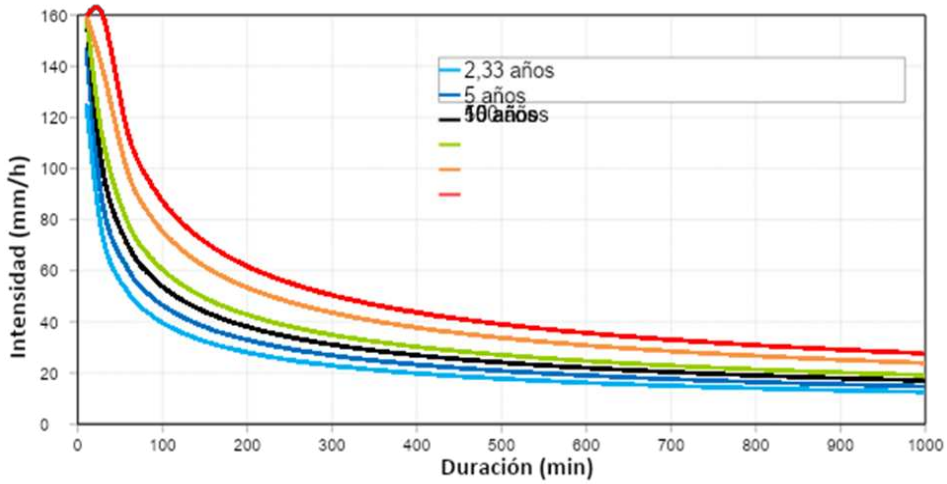


Figura 40. Curva IDF sintética para estación representativa.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.8 Distribución temporal de la precipitación - tormenta de diseño

La distribución temporal de la lluvia, también llamada hietograma, fue realizada a través del método de Bloques Alternados, que consiste en reorganizar la precipitación total de diseño calculada a partir de las curvas IDF. El mayor volumen de lluvia es colocado en el medio (50%) de la duración total de la lluvia y el restante de volúmenes de lluvia, son situados en orden alternado. El resultado de la distribución de la lluvia total es el hietograma de proyecto que es transformado en lluvia efectiva, es decir aquella que genera escorrentía directa, por medio del modelo lluvia-escorrentía presentado en el siguiente capítulo. La Figura 41 muestra los hietogramas de proyecto para diferentes periodos de retorno.

En el anexo: “ANEXO_TORMENTAS_DE_DISEÑO” se pueden observar el conjunto completo de hietogramas de diseño empleados para alimentar el modelo de la cuenca y estimar los caudales de entrada al área de estudio.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

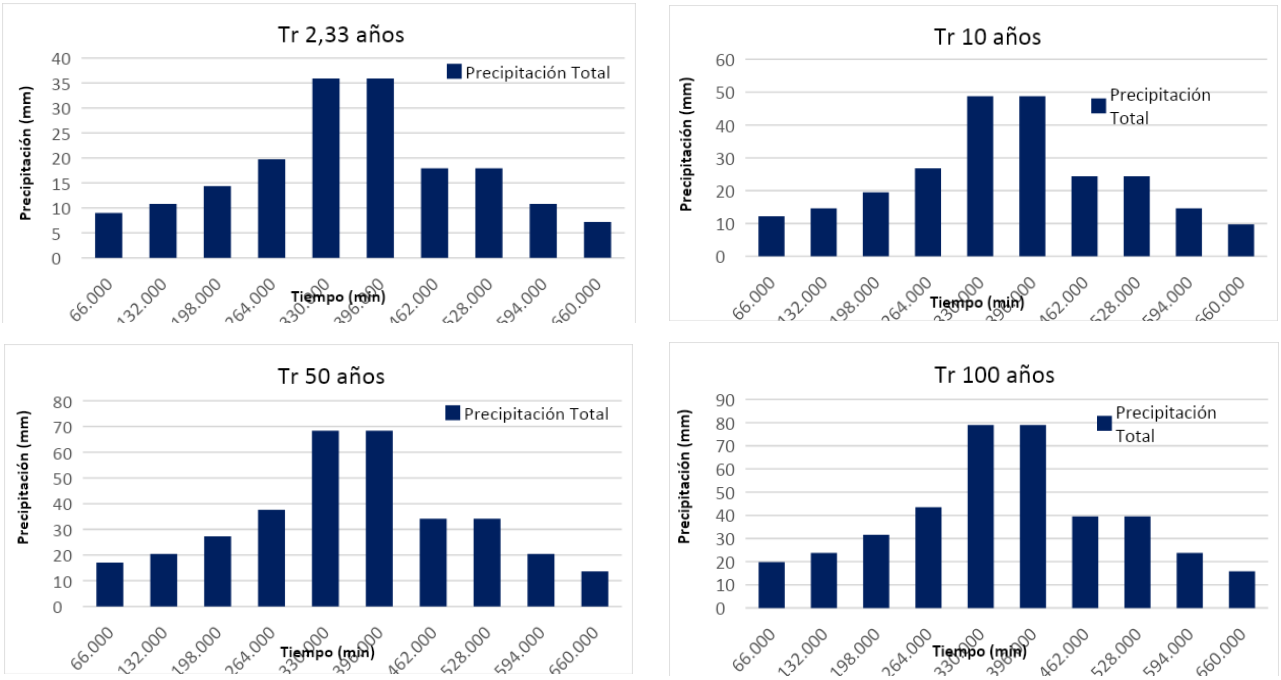


Figura 41. Hietogramas de proyecto para diferentes periodos de retorno.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.9 Modelo lluvia – escorrentía y acoplamiento modelo hidráulico

Para evaluar la hidráulica del sistema de estudio, es necesario establecer la lluvia efectiva que genera escorrentía directa en la cuenca aferente. Para esto, se utilizó el método del *Soil Conservation Service* (S.C.S. - aplicado para áreas mayores a 2,5 km^2) propuesto en los lineamientos descritos en el manual de drenaje (INVIAS, 2011).

Se aplicó un modelo hidrológico distribuido, en el cual la cuenca está dividida en células de 30m x 30m (Figura 42) dentro de cada una de las cuales se realiza la transformación de la lluvia en escorrentía superficial por medio del método del S.C.S.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

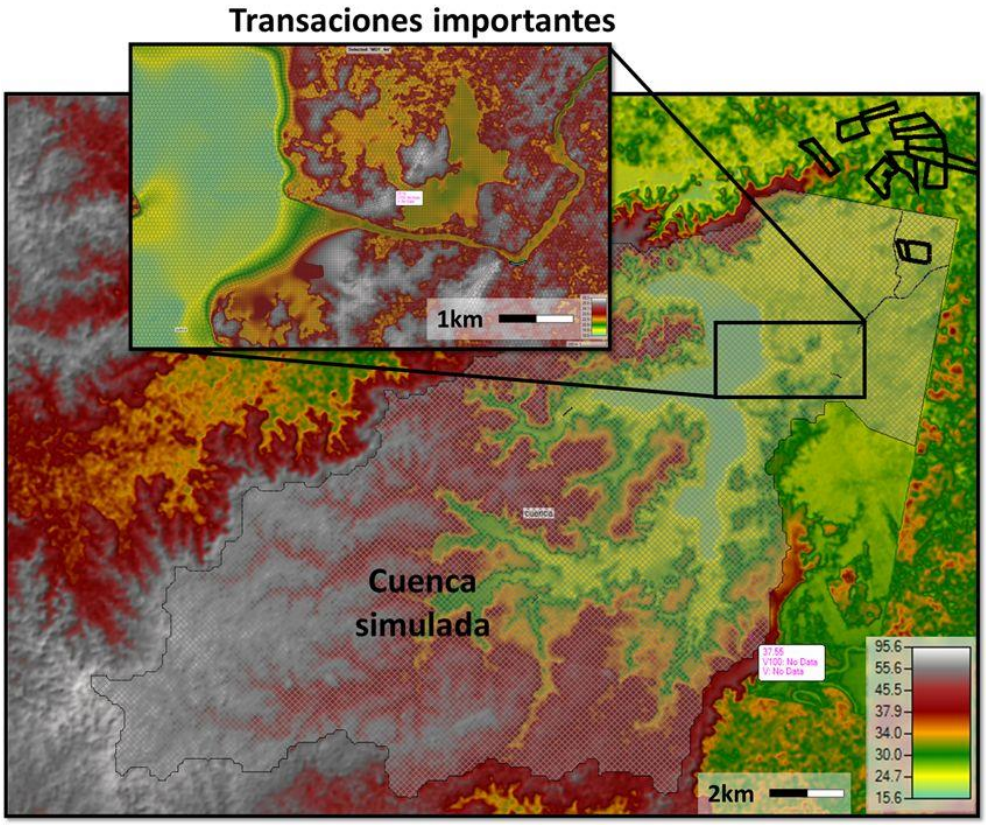


Figura 42. Discretización de la cuenca en células computacionales sobre las cuales se aplica la separación lluvia-escorrentía
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.10 Modelo lluvia-escorrentía: soil conservation service (scs)

Este método estima la escorrentía directa producida por una tormenta, con base en la relación que existe entre humedad antecedente del terreno y el complejo suelo - cobertura. Este método se basa en la siguiente relación fundamental:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe}$$

donde *F* es la infiltración real; S es la infiltración potencial; *Q* es la escorrentía real; y *Pe* es la escorrentía potencial o exceso de precipitación. Esta relación tiene validez a partir del momento en que se inicia la escorrentía. Toda la precipitación ocurrida antes del comienzo de la escorrentía se considera como pérdida (intercepción e infiltración que no contribuye al flujo superficial). Estas pérdidas iniciales de la precipitación se denominan abstracciones iniciales *Ia*, las cuales se calculan con la siguiente relación empírica:

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

$$Ia = 0.2 \cdot S$$

El coeficiente de 0.2 es un parámetro de ajuste, recomendado por el S.C.S como estándar en base a un gran número de datos experimentales. De esta forma, se tiene que:

$$Pe = P - I_a$$

$$F = Pe - Q$$

Sustituyendo en la relación inicial y despejando el valor de Q se obtiene la expresión:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Los estudios realizados por el S.C.S. permitieron relacionar la retención máxima potencial, S, con un parámetro de referencia empírica y adimensional que se denomina el Número Curva (CN), mediante la siguiente expresión:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

El valor de (CN) nos indica la cantidad de escorrentía producida y se obtiene con base en el tipo del suelo y la condición hidrológica, que es un indicador de la cobertura vegetal y de la capacidad de infiltración del suelo. Generalmente, áreas con mayor capacidad de infiltración, consecuencia de suelos profundos o, a partir de vegetación densa (interceptación), provocará menor escorrentía superficial.

Para el presente estudio, el CN es estimado y aplicado de forma distribuida (Figura 43), es decir, varía en la cuenca en función de la cobertura y el tipo de suelo de acuerdo con las tablas del número de curva bajo condiciones de humedad antecedente promedio (INVIAS, 2011).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

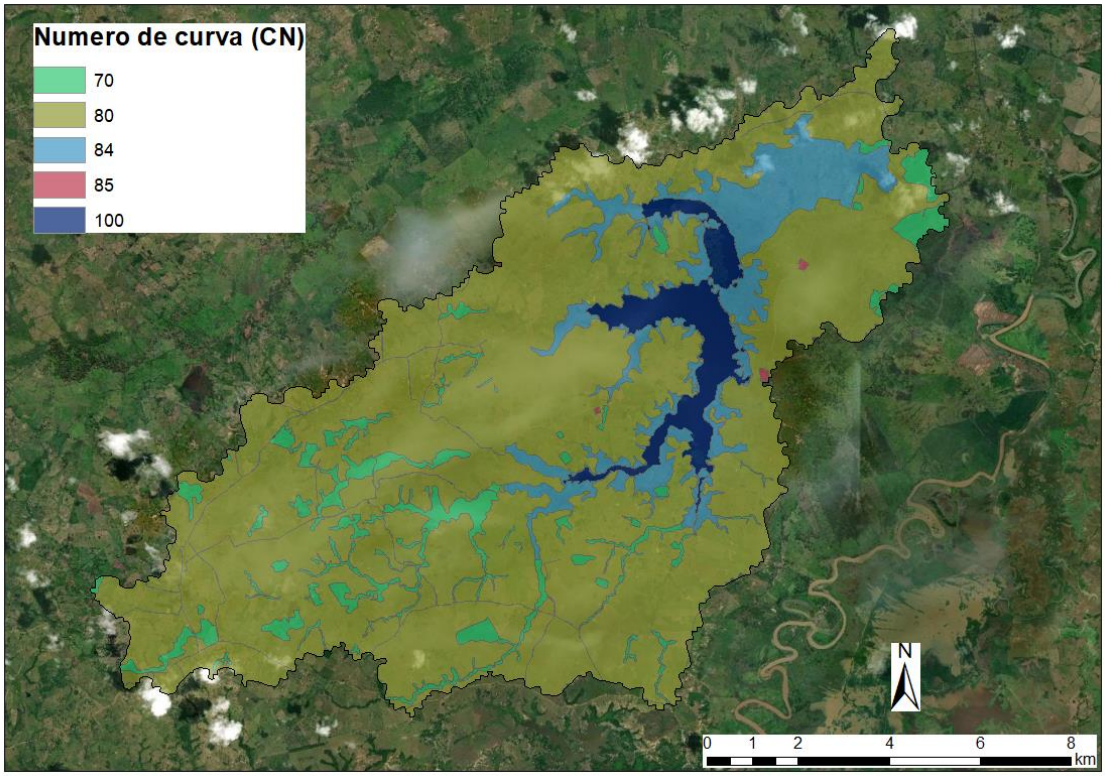


Figura 43. Mapa distribuido de CN para la cuenca de estudio.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.11 Modelo hidrológico-hidráulico: HEC-RAS 2D

El cálculo de la lluvia efectiva en cada célula computacional, por el método del SCS, está integrado en el módulo hidrológico del software HEC-RAS 6.3. Simultáneamente, exceso de lluvia se propaga sobre el área de la cuenca por medio de un modelo hidráulico bidimensional integrado en el módulo hidrodinámico del HEC-RAS. De esta forma, en vista que tanto la separación de la lluvia (hidrología) como la propagación (hidrodinámica) se resuelven simultáneamente en cada célula, decimos que se aplicó un modelo hidrológico-hidrodinámico acoplado. Los fundamentos teóricos y la construcción del modelo se describen en detalle en el Capítulo de Análisis Hidráulico.

7.1.12 Tiempo de concentración (Tc)

Conceptualmente, el tiempo de concentración es definido como el tiempo que una gota de precipitación que cae en la región más remota del área de drenaje lleva para alcanzar la salida de la cuenca. Esta no es exactamente una característica física, sin embargo, es un parámetro que está profundamente relacionado con las características del área de

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

escorrentía. Para determinar este parámetro, existen diferentes formulaciones empíricas establecidas para cuencas hidrográficas con determinadas características y en condiciones específicas. En el presente estudio se ha decidido estimar el tiempo de concentración por medio de simulación hidrológica-hidrodinámica distribuida de la cuenca.

El método consiste en forzar una lluvia constante sobre toda la cuenca saturada e identificar el punto en que el hidrograma de salida para de tener una variación significativa. En este instante toda el área de la cuenca asociada está aportando, por lo tanto, es el tiempo de concentración de la cuenca asociada al afluente. En la práctica, fue aplicada una lluvia constante/uniforme de 100 mm/h en toda la cuenca saturada (impermeable), de manera que toda la lluvia sea efectiva, y se identifica el tiempo en el cual el hidrograma de caudal a la salida de la cuenca varía menos del 0,01%.

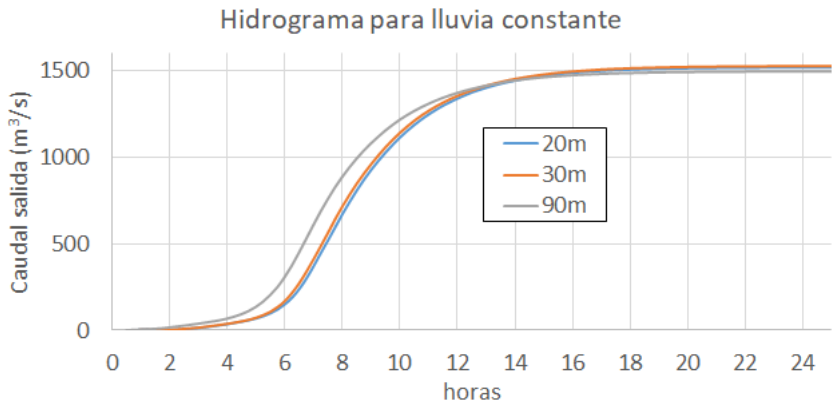


Figura 44. Hidrograma de salida de la cuenca para una lluvia constante/uniforme de 100 mm/h, considerando tres resoluciones de malla computacional.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

El tiempo de concentración es estimado aquí como el tiempo en el cual el hidrograma varía menos de 0,01%

La Figura 44 muestra los hidrogramas de salida para tres resoluciones de malla (dimensiones de la célula computacional), con el objetivo de analizar la independencia de la malla. A partir de estos hidrogramas se pudo identificar el tiempo de concentración para cada resolución considerada, para la salida de la cuenca.

Independencia de malla: hay una diferencia de 0,9% (0,2h) entre el tiempo de concentración de las resoluciones de 20m y 30m, y de 2,3% (0,5h) entre las de 20m y 90m. En vista que la malla más refinada requiere de más del doble de tiempo de cálculo

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

para una mejora de únicamente 0,9%, en las simulaciones de hietogramas de diseño, será aplicada una malla de 30m de resolución, como descrita en la sección 4.3.1.

Tabla 13. Para diferentes resoluciones de malla: tiempo de concentración, número de células computacionales, tiempo de cálculo y el cociente entre el tiempo real simulado y el tiempo que tomó hacer el cálculo.

Resolución de malla	Tiempo de concentración de la cuenca (h)	Número de celulas computacionales ($x10^3$)	Velocidad de computación	
			Tiempo de calculo (h)	Treal / Tiempo calculo
20m	21.8	300	11.5	4.2
30m	22.0	141	4.6	10.5
90m	21.3	29	0.8	59.6

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Cabe destacar que el modelo hidrológico-hidráulico distribuido aplicado permite extraer hidrogramas (y por tanto Tc) en cualquier subcuenca contenida en la malla, como por ejemplo en los afluentes directos a la ciénaga (Figura 45).

Para mayor precisión, se decide montar un modelo más refinado que contenga Ciénaga Arcial y sea alimentado con los caudales de sus afluentes directos. Para garantizar que toda la cuenca está aportando caudal, se aplica una duración de la tormenta de diseño igual al tiempo de concentración. Este valor es valioso para la estimación de la lluvia de diseño, como mostrado en la sección 2.3.4 (**Estimación de curvas IDF)**. En este estudio, fue adoptado el menor tiempo de concentración de ***Tc = 11h*** que resulta en picos de lluvia más altos.

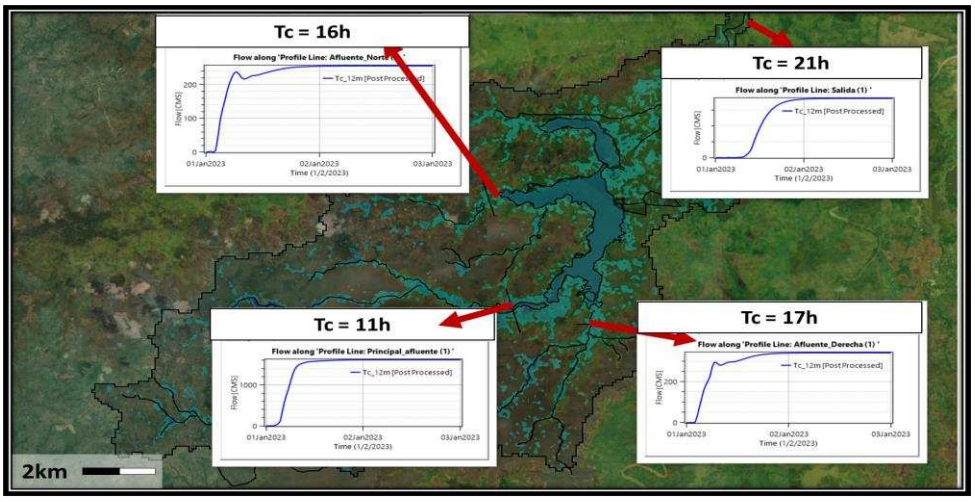


Figura 45. Tiempo de concentración de los tres principales afluentes y salida de la cuenca aferente.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.13 Análisis hidráulico

En este capítulo se realiza la modelación hidráulica bajo las condiciones actuales en la cuenca, para diferentes periodos de retorno. Esto, con el objetivo de identificar las áreas susceptibles a inundaciones, altura de la lámina de agua y la velocidad del flujo. Los mapas de profundidad de inundación y de velocidades permitirán la zonificación de amenaza de inundación y la evaluación de medidas de mitigación.

El software para modelación hidrológica/hidrodinámica aplicado es el HEC-RAS 2D 6.3.1. El módulo hidrológico del HEC-RAS, para separación de lluvia-escorrentía, fue descrito en el capítulo anterior. A continuación, se describe en más detalle el software y las herramientas para modelación hidráulica bidimensional (2D).

7.1.13.1 Descripción del software hec-ras

Lo descrito en esta sección se basa en el manual de referencia del programa HEC-RAS (USACE, 2023). El programa HEC-RAS es considerado en la actualidad como el modelo más ampliamente usado en el mundo para análisis hidráulico de canales naturales o construidos. HEC-RAS Es desarrollado y mantenido por la U.S. *Army Corps of Engineers* (USACE) *Hydrologic Engineering Center* (HEC). En el presente estudio fue aplicada la versión 6.3 de HEC-RAS en su formulación bidimensional (2-D).

La versión HEC-RAS 2-D, es especialmente adecuada para la aplicación en áreas de planicie de inundación y/o en ríos trenzados, donde el flujo es típicamente 2-D y/o difuso, pues representa flujos con una y dos direcciones dominantes. El procedimiento básico de cálculo se basa en la solución de las ecuaciones de conservación de masa y momentum bidimensionales, o también llamadas ecuaciones de aguas rasas:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(h\,u) + \frac{\partial}{\partial y}(h\,v) = q,$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -g\,\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{g\,n^2}{R^{2/3}}|u|u,$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -g\,\frac{\partial z}{\partial y} - \frac{g\,n^2}{R^{2/3}}|v|v,$$

donde, h es la profundidad de la lámina de agua (m), u es la velocidad del flujo en la dirección x y v en la dirección y (m.s-1); q es el caudal de entrada a la célula (m3.s-1), g la aceleración gravitacional, z es la cota de la superficie de agua (m), n es el coeficiente de rugosidad de Manning, R es el radio hidráulico (m) y t es el tiempo en (s). En estas ecuaciones, las pérdidas por fricción viscosa con las paredes son consideradas mediante el empleo de una ecuación de resistencia del tipo Chèzy (Manning en este caso).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.13.2 Criterios de solución empleados

Dentro de los criterios empleados por el HEC–RAS para la solución de la dinámica del flujo, aplicados al presente proyecto, es conveniente destacar los siguientes:

- Para representar toda la física del flujo, fue utilizado el modelo bidimensional de conservación de momentum completo (ecuación de aguas rasas).

- Como por defecto, se definió un máximo veinte (20) iteraciones por paso de tiempo y una tolerancia para el cálculo del perfil hidráulico predefinida de 0.003 m.

- Para garantizar la estabilidad y precisión del modelo, se aplicó un paso de tiempo variable, de manera que el criterio de Courant–Friedrichs–Lewy (basado en tiempo de residencia) se encuentre entre 1,0 y 0,3.

7.1.14 Parámetros y variables del modelo hidráulico

Los insumos básicos para el montaje del modelo son:

- **Geometría del sistema**: representada por el modelo digital de terreno (MDT) y extraída para el modelo a través de la *malla computacional* suprayacente;
- **Resistencia de la superficie contra el flujo**: representada por la *rugosidad distribuida*;
- **Condiciones de contorno:** de entrada y salida de agua al sistema representada por la lluvia sobre la cuenca y la salida en la descarga.

En las siguientes subsecciones se va a describir la obtención de cada uno de estos insumos. Es importante resaltar que fue montado un modelo para la estimación de los caudales de entrada a la zona de estudio (cuenca aferente) y otro (de detalle) para la propagación de estos caudales dentro del área de estudio. Por este motivo, a continuación, cada insumo se presentará para los dos modelos.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.14.1 Geometría del sistema

Para generar la geometría del modelo, es necesario un MDT que represente las condiciones topo-batimétricas reales de los principales canales y del área de inundación. Para la cuenca completa (Figura 46), la información de relieve se obtuvo del acoplamiento del levantamiento topo-batimétrico (con resolución 4m x 4m elaborado por elaborado por las empresas SIGLA y Geodesa y consignado en el estudio detallado de riesgo, SAHED-CVS, 2022) y del MDE ALOS Palsar de 12,5m x 12,5m, fin tener relieve de la mejor resolución disponible sobre toda la cuenca.

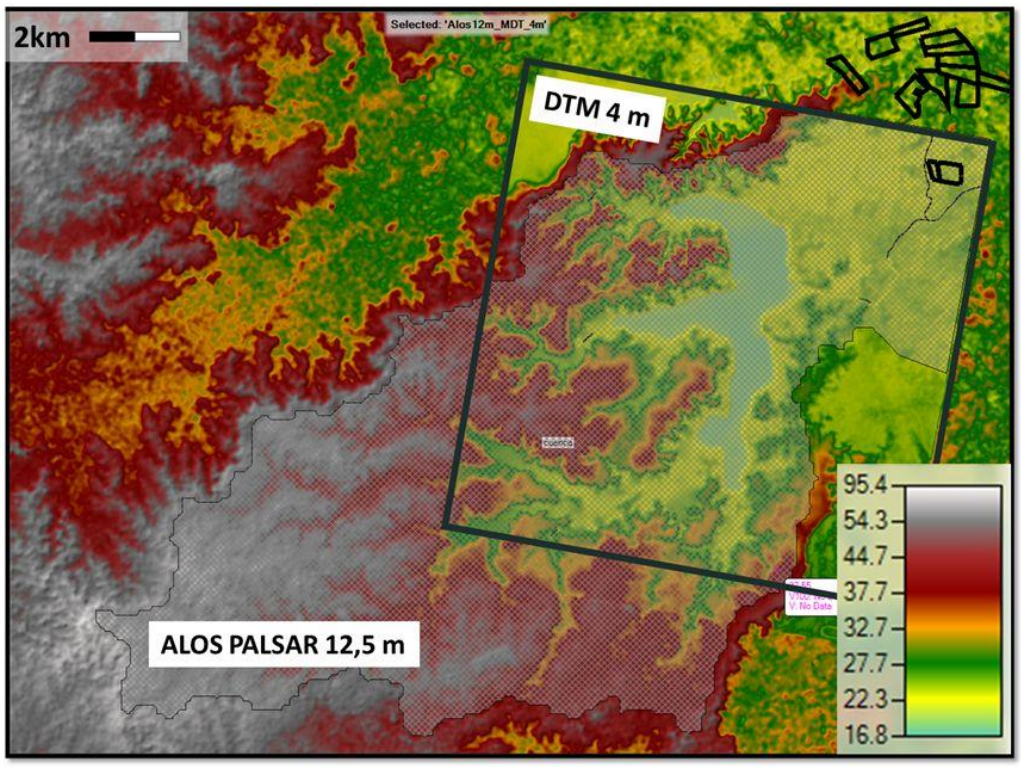


Figura 46 - Modelo digital de terreno de 4m x 4m acoplado con ALOS Palsar de 12,5m x 12,5m. Malla computacional de modelo de cuenca aferente.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Para el modelo detallado del área de interés localizada en la descarga de la cuenca aferente, se acopla un MDT de 0,5m x 0,5m (levantado por tecnología LiDAR para el presente estudio - SIGLA y Geodesa, 2023) entorno de los predios analizados, con un MDT de 4m x 4m (derivado por fotogrametría de imágenes satelitales de alta resolución).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

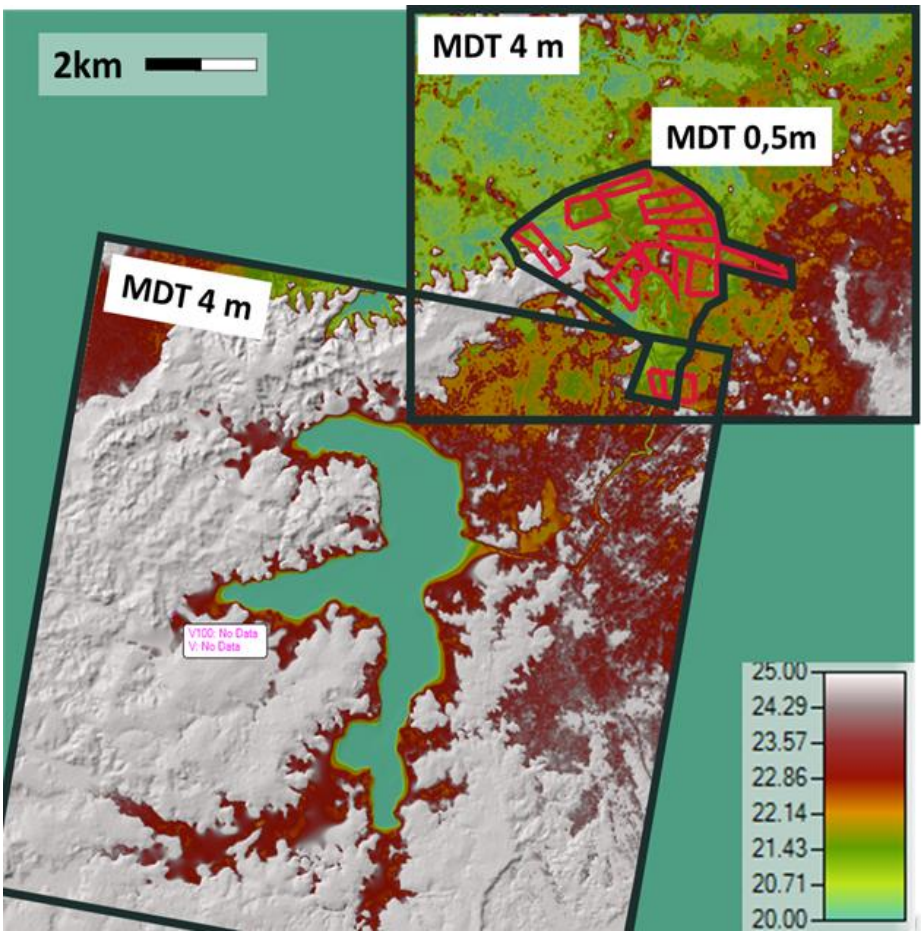


Figura 47- Modelo Digital de Terreno derivado de satélite de 4m x 4m acoplado con modelo LiDAR de 0,5m x 0,5m. Izquierda: malla computacional de modelo de detalle. En rojo se muestran los predios objeto de restitución.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Sobre el MDT acoplado subyacente, fueron montados los siguientes modelos computacionales.

a) **Modelo de la cuenca**: se compone de un modelo con una malla cartesiana con células de 30m x 30m de resolución y con malla alineada a lo largo de afluentes principales (Figura 47) que alimenta un modelo más detallado de la ciénaga y de sus áreas de inundación (Figura 48). La resolución fue seleccionada en la sección 3.3 por medio de un análisis de independencia de malla. Como descrito en la subsección de condiciones de contorno (Sección 4.3.4.), el modelo de 30m fue alimentado por las tormentas de diseño de cada periodo de retorno.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

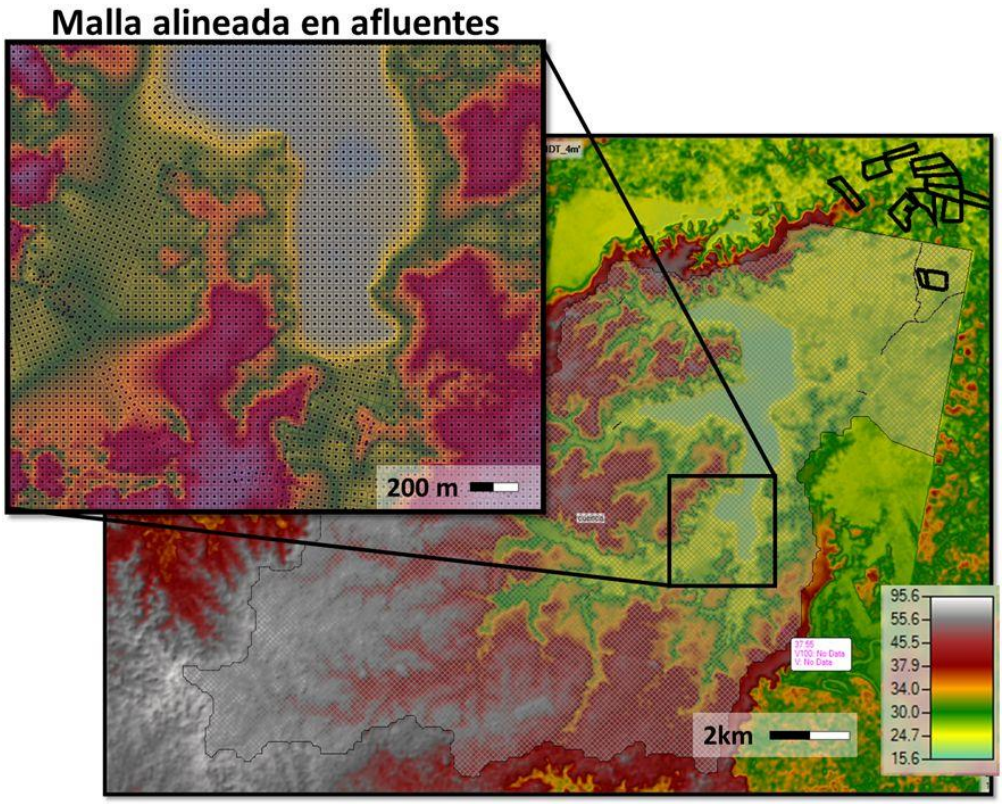


Figura 48 – Malla computacional de modelo hidrológico-hidráulico distribuido de cuenca aferente completa.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Del modelo de 30m se extrajeron los hidrogramas de caudales en los afluentes de la ciénaga (resultado de las tormentas de diseño) para luego alimentar un modelo más detallado de la ciénaga Arcial (Figura 49), cuya malla computacional tiene una resolución que va de 30m (en zonas lejanas y de bajo interés), de 5m (en grandes afluentes) y de 1m a 2m (para estructuras de detalle como ejes viales y diques). El modelo de la cuenca fue replicado del "estudio detallado de riesgo" SAHED, 2022.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

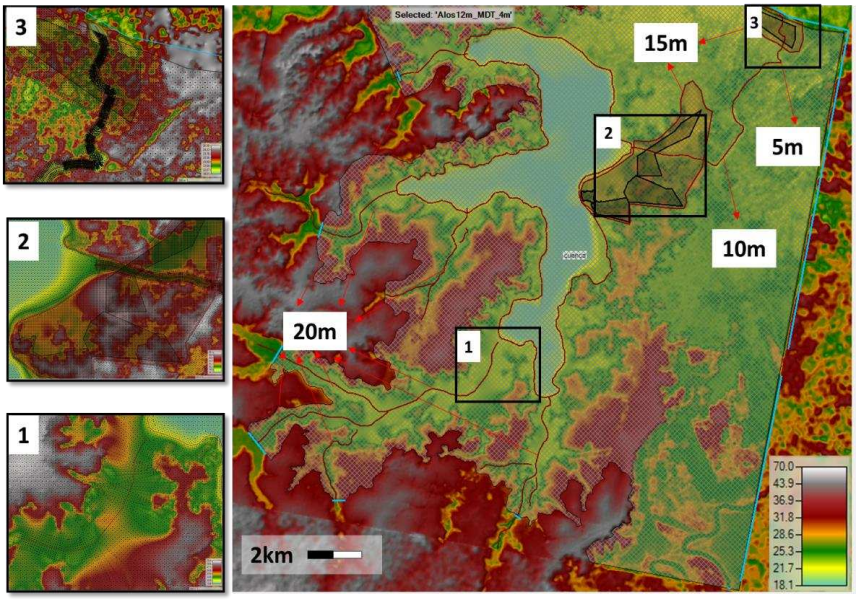


Figura 49– Malla computacional del modelo hidráulico de la ciénaga Arcial alimentado en sus afluentes y que a su vez alimentará el modelo detalle de la zona de interés.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

b) **Modelo detallado del área de estudio**: Para el área de interés se montó un modelo de alta resolución que va de 20m (en zonas lejanas, de bajo interés y MDT de menos resolución), 12m (en zona con MDT de alta resolución) de 2m (en principales afluentes) a 1m (para estructuras de detalle como ejes viales y diques), como muestra la Figura 50.

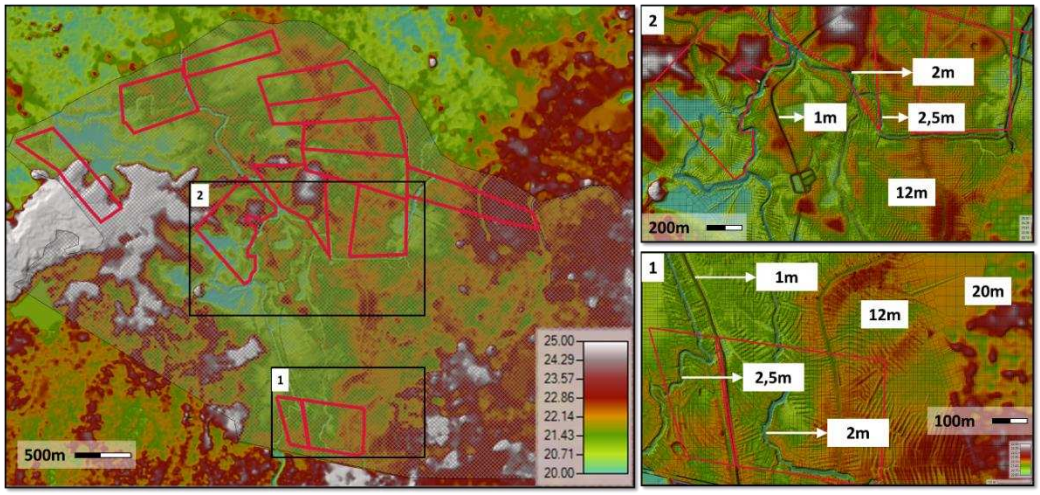


Figura 50 – Malla computacional del modelo hidráulico de zona de estudio. Este modelo es alimentado por las salidas de la ciénaga Arcial y los aportes por desbordamiento del río San Jorge.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.14.2 Rugosidad del terreno

El coeficiente *n* representa la disipación de energía en el flujo debido a la turbulencia, la micro y macro rugosidad, entre otras fuentes de disipación. La rugosidad distribuida se definió relacionado el mapa de cobertura (derivado de las ortofotos del estudio topográfico) con el coeficiente de rugosidad de Manning *n*, de acuerdo con el Manual de aplicación de HEC-RAS. Tabla 14 y la Figura 51 y Figura 52 muestran el coeficiente de rugosidad de Manning adoptado para el presente estudio.

Tabla 14. Número de Manning en función de la cobertura.

Cobertura	n de Manning
Pastoreo extensivo	0.035
Cultivos transitorios extensivos	0.050
Ciénaga	0.030
Cuerpos de Agua Naturales	0.035
Infraestructura y transporte	0.040
Cultivos permanentes semi-intensivos con pastoreo semi-intensivo	0.050
Bosque denso	0.120
Zonas pantanosas	0.080

Fuente: Consorcio Caño Arcial

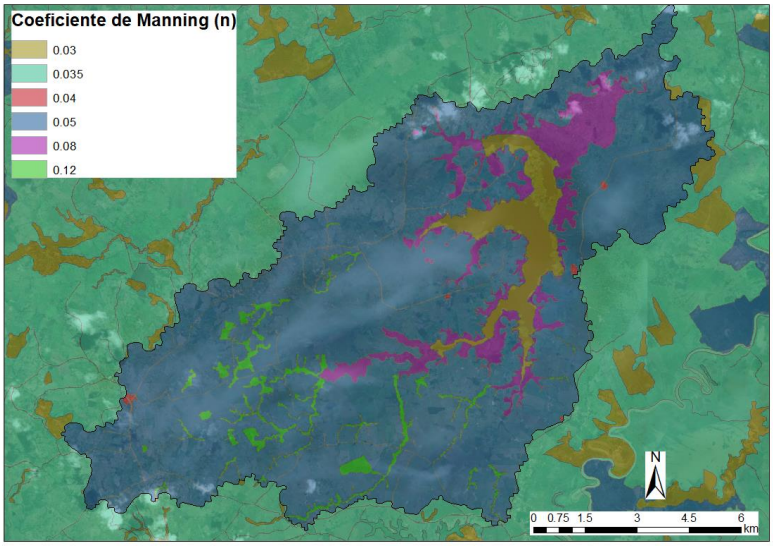


Figura 51. Mapa distribuido del coeficiente de Manning de la cuenca aferente.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Para el área de detalle se obtuvo la cobertura de suelo por reclasificación de la ortofoto del presente estudio (con resolución de 0,5m x 0,5m).

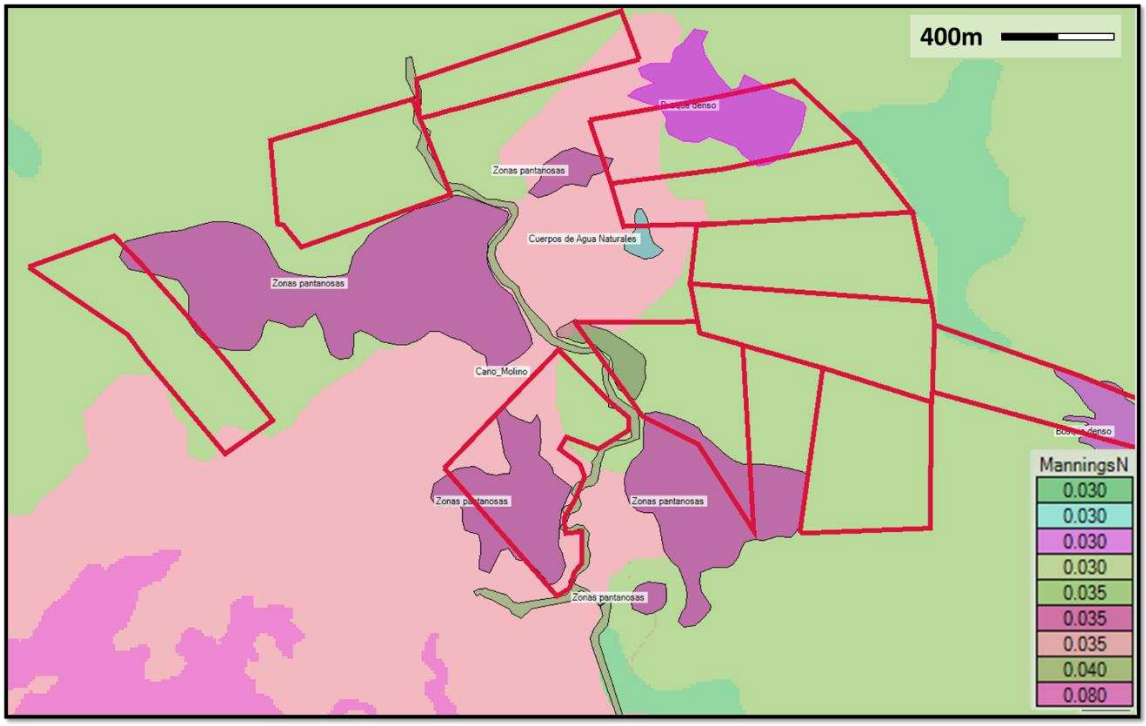


Figura 52. Mapa distribuido del coeficiente de Manning del área de estudio.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.14.3 Condición de contorno de caudal en Río San Jorge

Con el objetivo de considerar la adición de caudal por desbordamiento del río San Jorge, se realizó la modelación del río y extracción del caudal desbordado por la margen izquierda. Para dicha modelación, el caudal de entrada al río fue calculado por medio de análisis de frecuencia de caudales máximos (Figura 53) medidos sobre el río San Jorge en la estación más cercana (Estación Marralu). La condición de salida fue de profundidad normal. La estación Marralu cuenta con 21 años de registros entre los años de 1995 y 2015.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

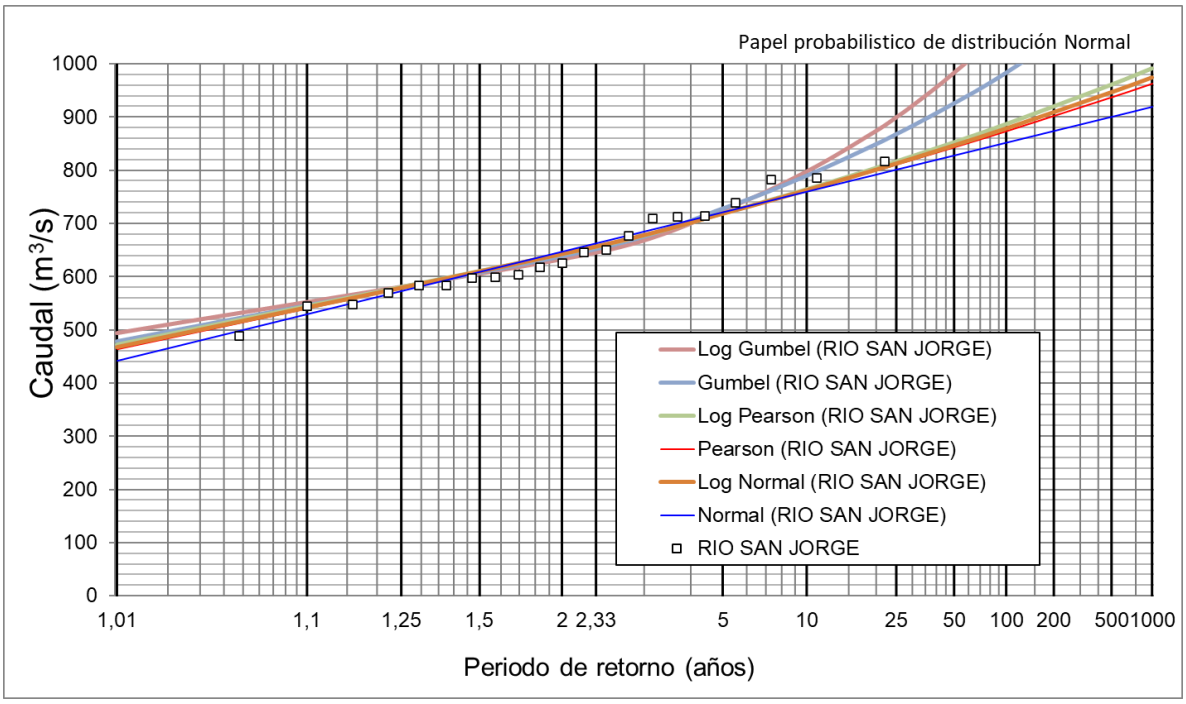


Figura 53. Análisis de frecuencia de caudales máximos en estación Marralu.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Por falta de batimetría del río San Jorge, se trabajó con la hipótesis de que durante el levantamiento topográfico el caudal del río fue el más probable, es decir, el caudal medio diario igual a Q_{medio} = 379,65 m^3/s. Este caudal fue restado del obtenido por el análisis de frecuencia, de manera que el caudal aplicado para cada periodo de retorno corresponde al del ajuste por la distribución normal de probabilidad menos el Q_{medio}, como muestra la columna tres de la Tabla 15. La última tabla muestra el caudal que efectivamente se desborda por la margen derecha y llega a incorporarse al caudal ya existente de Caño Molino.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 15. Caudales máximos (m3/s) en el río San Jorge para diferentes periodos de retorno (ajuste a una distribución normal de probabilidad). El caudal efectivamente aplicado es obtenido restando el caudal medio diario de 379,65 m3/s.

TR (Años)	Caudal Rio San Jorge (m^3/s)	Caudal aplicado (m^3/s)	Caudal desbordado hacia Caño Molino (m^3/s)
2.33	662.83	283.18	1.7
5	721.29	341.64	43.2
10	760.07	380.42	49.5
50	828.15	472.53	62.2
100	852.18	521.18	66.9

Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.14.4 Condiciones de contorno

Todo modelo hidrológico-hidrodinámico debe tener entradas y salidas de agua en sus contornos abiertos (o paredes en los contornos cerrados), así como un estado inicial determinado. Las entradas/salidas/sólido son llamadas condiciones de contorno mientras que el estado inicial es llamado de condición inicial (subsección 4.3.7). A continuación, se describen las condiciones de contorno del modelo de la cuenca aferente y del área de estudio detallado. En vista que el modelo de la cuenca se compone de dos submodelos (general y refinado), entonces, tendrá dos conjuntos de condiciones de contorno.

a. En el **modelo general de la cuenca**, cada célula computacional es alimentada por la lluvia de diseño de cada periodo de retorno, como muestra el esquema de la Figura 54. Se realiza la modelación tomando como sección de control, aguas abajo, una condición de flujo normal para la pendiente longitudinal media.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

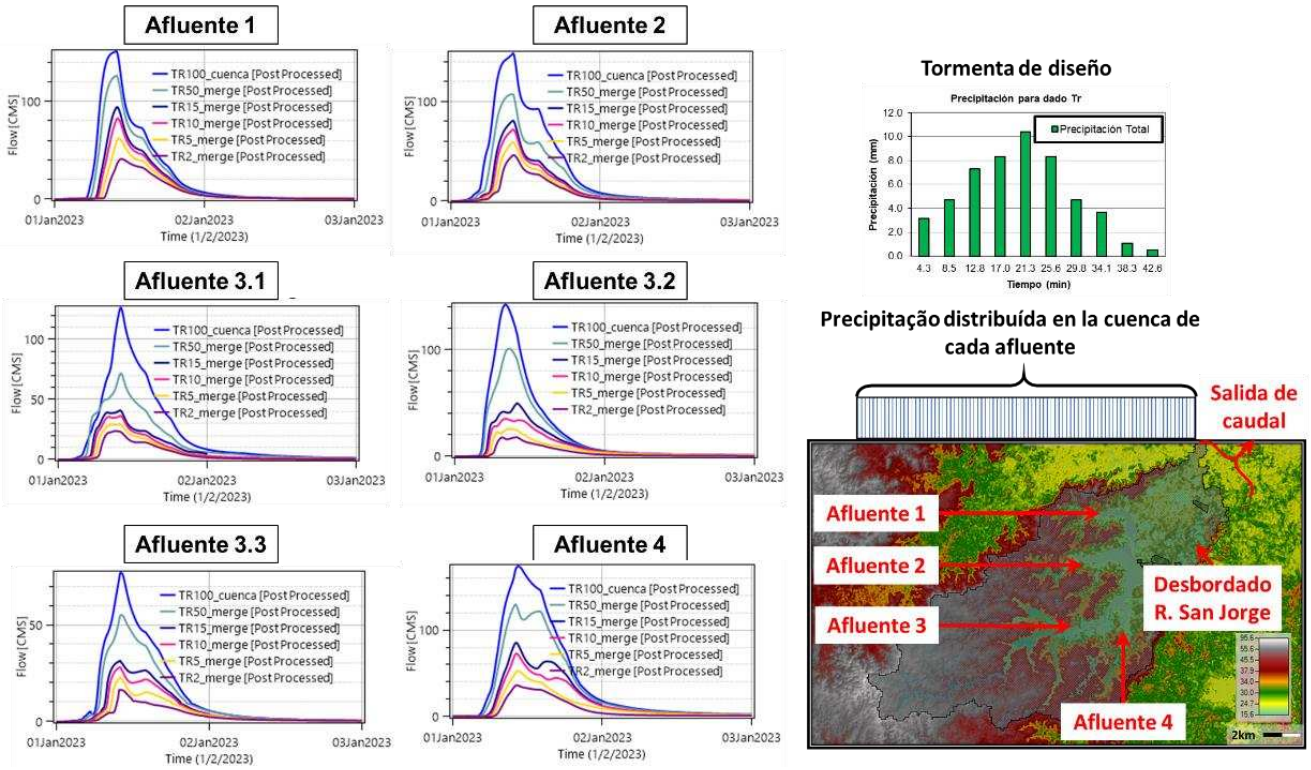


Figura 54. Izquierda: tormenta de diseño uniformemente distribuida sobre cuenca aferente con salida libre (profundidad normal). Derecha: hidrogramas de diseño introducidos en modelo de refinado de Ciénaga Arcial con salida libre (profundidad normal).
Fuente: Consorcio Caño Arcial

El modelo refinado de la ciénaga es alimentado por los caudales extraídos del modelo general en los afluentes y por el aporte del río San Jorge en Caño Molino. La condición de salida se mantiene como condición libre o implementada como nivel de flujo normal. En el Anexo: "ANEXO_CAUDALES_AFLUENTES_MODELO_CUENCA" se encuentran los hidrogramas de caudales de entrada a todos los afluentes del modelo cuenca aferente (Cienaga Arcial).

b. El **modelo detallado del área de estudio** es alimentado por las salidas del modelo refinado de la ciénaga en dos regiones: (i) área cenagosa y (ii) por el caño Molino, de donde fueron extraídos los hidrogramas de caudales (Figura 55).
A partir de imágenes satelitales y visitas en campo, sabemos que (como explicado en detalle en la Introducción) el caño Molino se bifurca en tres puntos, por lo que su caudal se divide en cuatro caños que entran a la zona de estudio en diferentes

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

puntos. Ya que, por difícil acceso, no se tiene batimetría de las bifurcaciones y de los canales resultantes, se desarrolló un método que permite estimar la cantidad de caudal que se va por cada canal en las bifurcaciones. El método se basa en la ecuación de continuidad y la ecuación de resistencia de Manning.

Una vez que se sabe el caudal antes de la bifurcación (Qo), ofrecido por el modelo de la cuenca, lo único que resta es saber cuánto de ese caudal se va por cada uno de los dos caños después de la bifurcación (Q1 y Q2). Por continuidad tenemos que,

Qo = Q1 + Q2

ó,

Q1 = (1 - Q2/Qo) Qo.

Como hay dos incógnitas, introducimos la ecuación de Manning

$$Q = VA = \frac{S^{1/2}R^{2/3}}{n}A$$

donde, S es la pendiente longitudinal del canal, R = A/P es el radio hidráulico, P el perímetro mojado, A el área mojada y n el coeficiente de rugosidad de Manning de la sección del canal. Asumiendo que el ancho del canal B es mucho más grande que su profundidad h (B >> h), es fácil mostrar que el radio hidráulico se puede aproximar como R = h. Luego, la ecuación de Manning puede ser reescrita como:

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

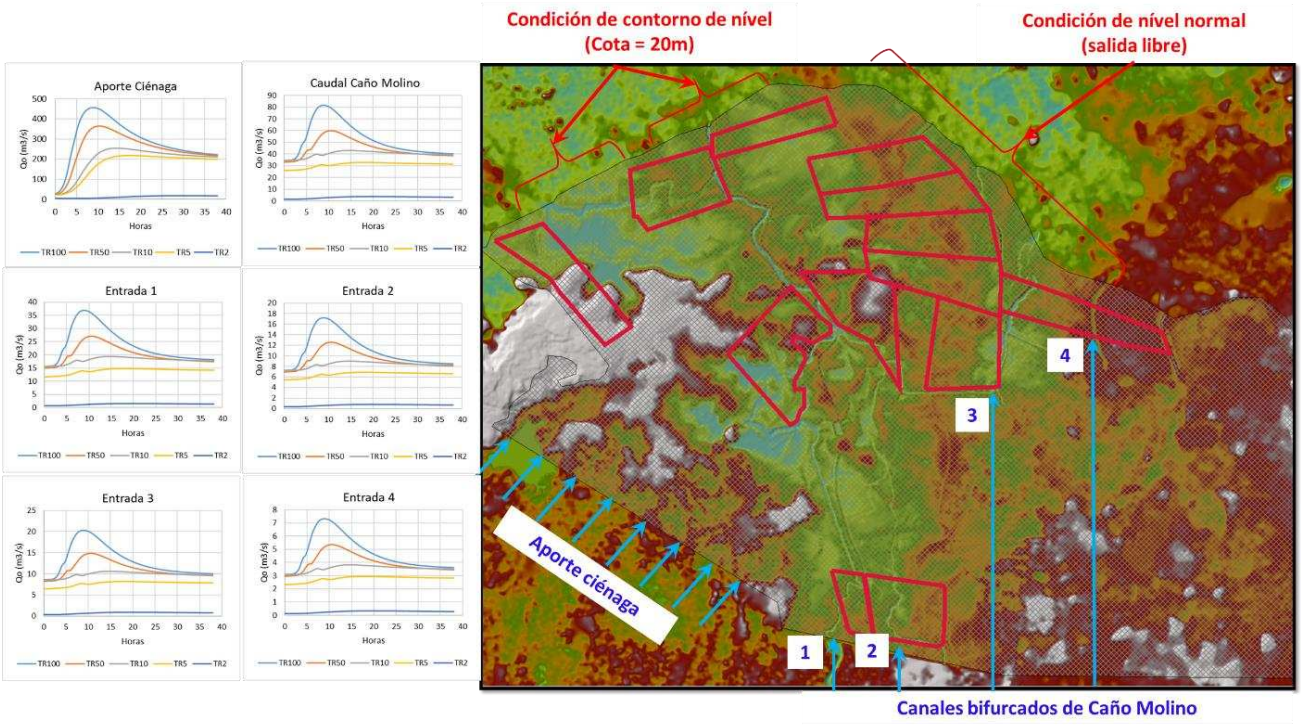


Figura 55. Hidrogramas de caudales de entrada al área de estudio provenientes de la cuenca de Ciénaga Arcial, para diferentes periodos de retorno.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

$$Q = \frac{S^{1/2} h^{5/3}}{n} B$$

Asumiendo que antes y después de la bifurcación, los canales son rectangulares, tienen la misma rugosidad (n), en el punto de la bifurcación la tienen la misma profundidad (h), y sustituyendo la ecuación de Manning el lado derecho de la ecuación de continuidad, los caudales desconocidos son

$$Q1 = \left(1 - \frac{(S^{1/2}B)_2}{(S^{1/2}B)_o}\right) Qo$$

y

Q2 = Qo - Q1.

Siguiendo este procedimiento, los factores de reducción (Qi/Qo) y los caudales pico en cada bifurcación que entran al área de estudio se presentan en la siguiente tabla.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 16. Caudales máximos de hidrogramas de entrada por los canales resultado de las bifurcaciones de Caño Molino.

Bifurcación	Canal	Pendiente	Ancho (m)	Factor reducción	Caudal pico (m3/s)				
					TR100	TR50	TR10	TR5	TR2
	Caño Molino	0.290%	11.7	1.00	81.7	59.79	42.87	32.88	3.60
I	1	0.098%	9.1	0.45	36.9	27.01	19.37	14.85	1.63
	1'	0.019%	25.0	0.55	44.8	32.78	23.51	18.03	1.98
II	3	0.060%	5.4	0.21	17.2	12.58	9.02	6.92	0.76
	3'	0.045%	10.0	0.34	27.6	20.20	14.48	11.11	1.22
III	5	0.220%	5.4	0.25	20.3	14.85	10.65	8.16	0.89
	6	0.001%	25.0	0.09	7.3	5.35	3.84	2.94	0.32

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Nota: los caudales aportados al área de estudio por el desbordamiento de la margen derecha del río San Jorge, se incluyeron adicionando al caudal de Caño Molino el caudal desbordado obtenido por modelación (Tabla 16). El procedimiento fue idéntico al realizado para ciénaga Arcial en el "estudio detallado de riesgo", SAHED, 2022.

7.1.15 Resumen de caudales de entrada al área de estudio

La siguiente Figura 56 presenta los hidrogramas de diseño que entran a la zona de estudio por la región cenagosa y por los cuatro tramos derivados del caño Molino que atraviesan el área. Cabe destacar que los caudales de la región cenagosa son debidos únicamente a la cuenca de ciénaga Arcial, en cuanto que los aportes por los derivados de Caño Molino contemplan aportes de la cuenca y del desbordamiento del río San Jorge.

En el Anexo: ANEXO_CAUDALES_ENTRADA_MODELO_DETALLADO se pueden encontrar los hidrogramas de entrada el área de estudio tabulados.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

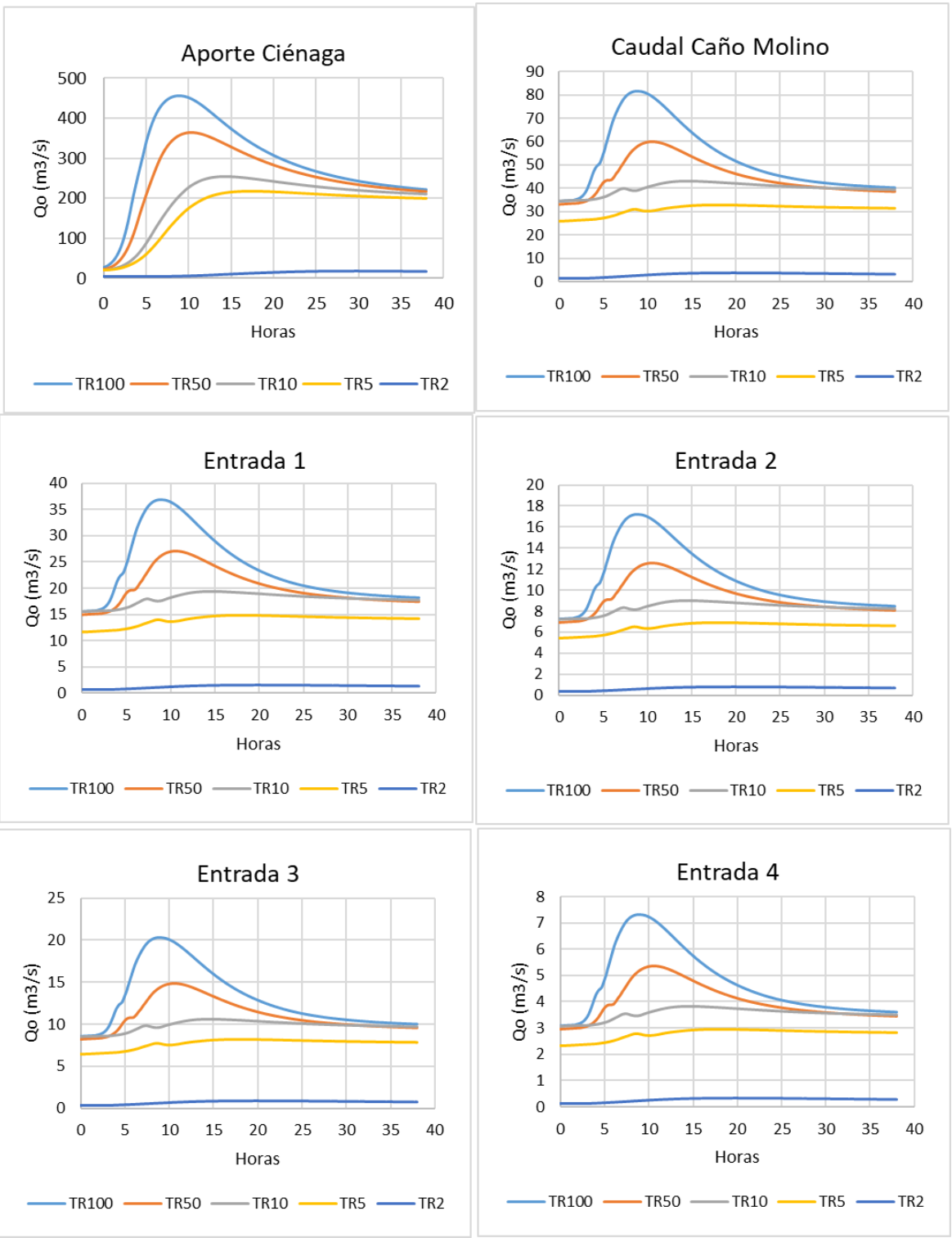


Figura 56. Análisis de frecuencia de caudales máximos en estación Marralu.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 17. Análisis de frecuencia de caudales máximos en estación Marralu.

Entrada	Caudal pico (m3/s)				
	TR100	TR50	TR10	TR5	TR2
Ciénaga Arcial	456.9	363.54	254.42	218.54	17.43
Caño Molino	81.7	59.79	42.87	32.88	3.60
1	36.9	27.01	19.37	14.85	1.63
2	17.2	12.58	9.02	6.92	0.76
3	20.3	14.85	10.65	8.16	0.89
4	7.3	5.35	3.84	2.94	0.32

Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.16 Condiciones de contorno de salida

Como ya descrito, las salidas del modelo de la cuenca (tanto general como refinado) fueron condiciones de salida libre (o profundidad normal). Sin embargo, el modelo detallado de la zona de estudio tiene interferencia de la ciénaga el Porro en su zona más baja. Por este motivo, la condición de salida en esta zona baja fue de cota 20 m correspondiente al de la ciénaga el Porro identificado a partir del MDT de detalle. En todos los otros contornos se definió salida libre (profundidad normal).

7.1.17 Condición inicial del sistema

Para el **modelo de la cuenca**, debido al área y profundidad de la Ciénaga Arcial (volumen útil), el sistema tiene una gran capacidad de amortiguamiento de crecidas. De manera que las defluencias de la ciénaga sólo serán activadas si el nivel del agua supera la cota del fondo del canal defluente. Esto quiere decir que los resultados son altamente dependientes del nivel de agua de la ciénaga al inicio de la simulación.

Para considerar una condición crítica, la ciénaga fue inicializada con un nivel de agua de desbordamiento correspondiente a la cota de 23 m. El mismo nivel inicial fue definido tanto para el modelo general de la cuenca como para el modelo refinado de la ciénaga.

El **modelo de detalle** del área de interés fue inicializado en la cota 20m (la misma de la ciénaga el Porro), mientras que se simuló un periodo de calentamiento de cerca de 1,5h con el caudal permanente igual al caudal inicial de cada hidrograma. El tiempo de calentamiento de 1,5h fue seleccionado por medio de una simulación preliminar a flujo permanente que permitió estimar el tiempo de tránsito por el área de menos de una hora.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.1.18 Salidas del modelo hidráulico

El programa HEC-RAS ofrece, como producto de la modelación, información instantánea en cada célula computacional. La información incluye profundidad/cota de la lámina de agua, velocidad del flujo, tensión de corte, entre otros. Además, en el sistema de información geográfica integrado a HEC-RAS, llamado RAS Mapper, se pueden realizar operaciones de pos-procesamiento entre campos de diferentes variables para producir mapas compuestos.

En vista que el presente estudio se discute sobre áreas susceptibles de inundación, se optó por discutir sobre la dinámica de eventos extremos por medio de campos (mapas) de máxima profundidad y velocidad. Los eventos extremos analizados corresponden a periodos de retorno de 2, 10, 50 y 100 años.

Cabe reiterar que fueron simulados eventos con flujo no permanente (o transitorio), es decir, con caudal variando en el tiempo. Por este motivo, se tiene información instantánea de las variables de interés, en toda el área simulada. El análisis de resultados discute los mapas máximos de la variable respectiva.

7.1.19 Validación del modelo hidráulico

Debido a que el modelo de la cuenca ya fue calibrado y validado en el “estudio detallado de riesgos”, CVS-SAHED (2022), únicamente se llevará a cabo la calibración/validación del modelo de detalle de la zona de estudio.

Calibración: Como base para la calibración se tomaron las imágenes aéreas de detalle obtenidas durante el levantamiento topográfico. Estas imágenes permiten identificar el espejo de agua permanente en el canal principal. Sobre la hipótesis de que el caudal de 2,33 años es el caudal formador o de banca llena, se tomó este evento en flujo permanente para ser simulado y comparado con el espejo de agua observado en las imágenes aéreas.

El parámetro de calibración del modelo es el coeficiente de rugosidad de Manning *n* en el canal principal que varió entre 0.03 y 0.04. El *n* no presenta sensibilidad apreciable en los resultados de espejo de agua. Esto puede ser debido a las bajas velocidades en el canal; por lo cual es mantenido n=0.03 como predefinido por tablas consolidadas. Como muestra la siguiente Figura 57, el modelo consigue captar con un detalle satisfactorio el espejo de agua observado a pesar de la alta complejidad topo-batimétrica.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

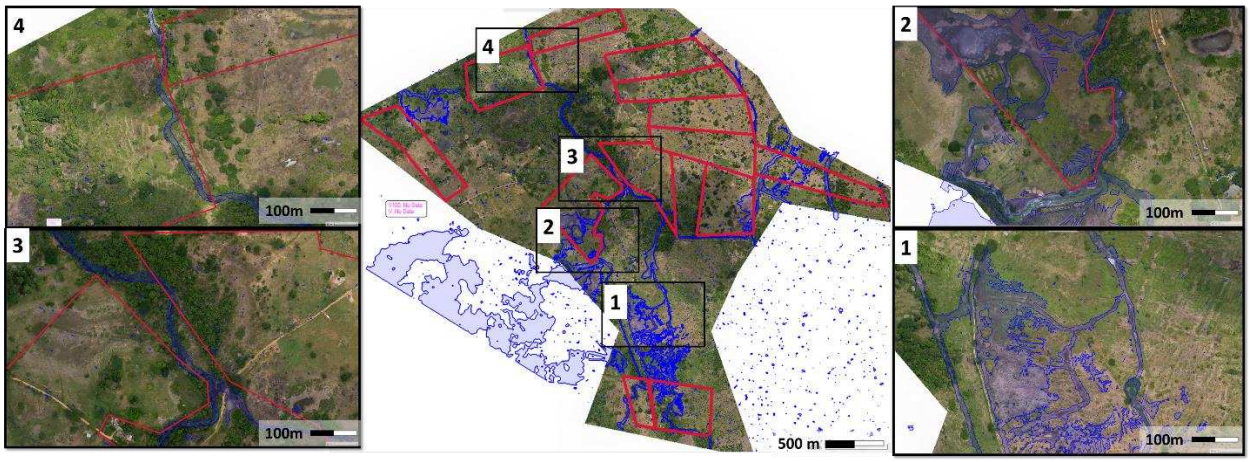


Figura 57. Espejo de agua observado y simulado después de la calibración del modelo.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Validación: por medio de visitas de campo, se logró identificar marcadores del alcance y nivel de grandes inundaciones pasadas. Adicionalmente, los habitantes de la zona identificaron algunos puntos de alcance y niveles de eventos importantes por ellos presenciados. Esta campaña de campo permitió identificar los puntos de nivel y alcance de inundación presentados en la Figura 58. La figura también muestra el mapa de niveles simulado para un evento con periodo de retorno de 100 años, asumiendo que los indicadores levantados en campo corresponden un evento de alta intensidad.

La comparación con el modelo hidráulico se realiza en el instante de máxima inundación, y se observa que el modelo consigue captar los puntos de inundación con excelente ajuste en alcance y profundidad muestreada.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

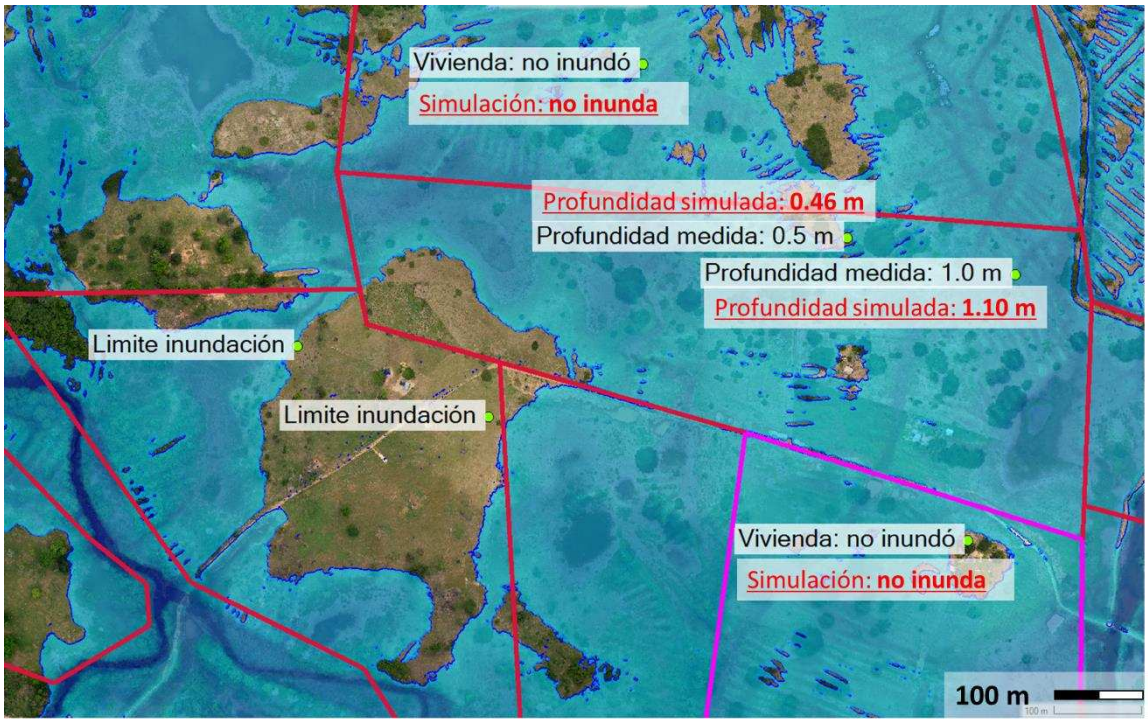


Figura 58. Inundación simulada comparada con puntos de nivel y alcance de la inundación levantados en campo.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

A continuación, se presentan y discuten los resultados más relevantes en función de los requerimientos del proyecto.

7.1.20 Resultados condición actual

Desde un punto de vista geomorfológico, la zona de interés está localizada en el valle que transporta toda el agua que desborda del río San Jorge y la cuenca de Ciénaga Arcial. La combinación de caudales altos pasando por un pequeño valle con bajo relieve posibilitan que la mayor parte del área de estudio corresponda a área cenagosa con inundaciones frecuentes.

Lo discutido en el párrafo anterior se verifica en las manchas de inundación definidas por los mapas de profundidad y velocidad máxima (Figura 59). Se observa que 10 de los 13 predios están prácticamente bajo el agua para todos los periodos de retorno simulados. Sin embargo, cabe destacar que las láminas de agua lejos de áreas cenagosas y de canales no superan 1 m de profundidad al igual de las velocidades no superan 1 m/s, pues el flujo de agua se expande al llegar a este valle plano.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Los mapas de profundidad, velocidad y cota máximas de inundación para cada periodo de retorno se encuentran en formato .tif en el anexo con el compendio de resultados de las simulaciones localizado en la dirección “modelo_hidraulico/10_Resultados/” de la ca.

Entre los periodos de retorno de 50 y 100 años no se observa diferencias apreciables en términos de alcance de inundación, sin embargo, si se observa en detalle (ver mapas de profundidad de anexo) tanto las profundidades como las velocidades tuvieron una disminución en

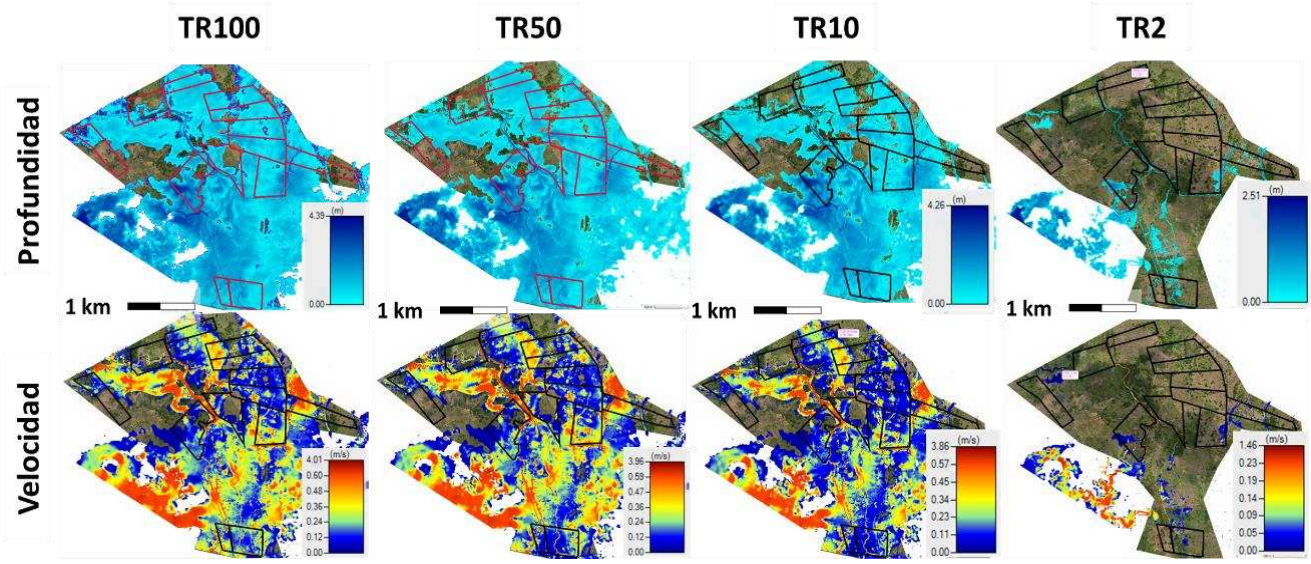


Figura 59. Profundidad y velocidad en el momento de máxima inundación.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.1.21 Zonificación de amenazas por inundación

Una vez obtenidos los resultados de las modelaciones hidrodinámicas, se integran las variables de profundidad, velocidad y tiempo generadas en el procesamiento, para zonificar inicialmente, los niveles de amenaza por inundación presentes en el territorio, y representarlo en la siguiente figura. A continuación, se presenta la zonificación de amenazas por inundaciones que se obtuvo para toda la zona del proyecto en las condiciones actuales. Esta condición representa el desbordamiento de los cuerpos de agua de influencia: Caño La Balsa, Caño Corredor y Caño Molinos, así como el encharcamiento natural que presentaba el terreno por su condición de planicie. Otro aspecto que se representa y que tiene especial importancia es la influencia del rompimiento (inundación) del Río San Jorge en su margen de influencia de esta zona de la microcuenca, lo que exacerba los incrementos de caudales y los desbordamientos del Caño Molinos y el Caño La Balsa.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

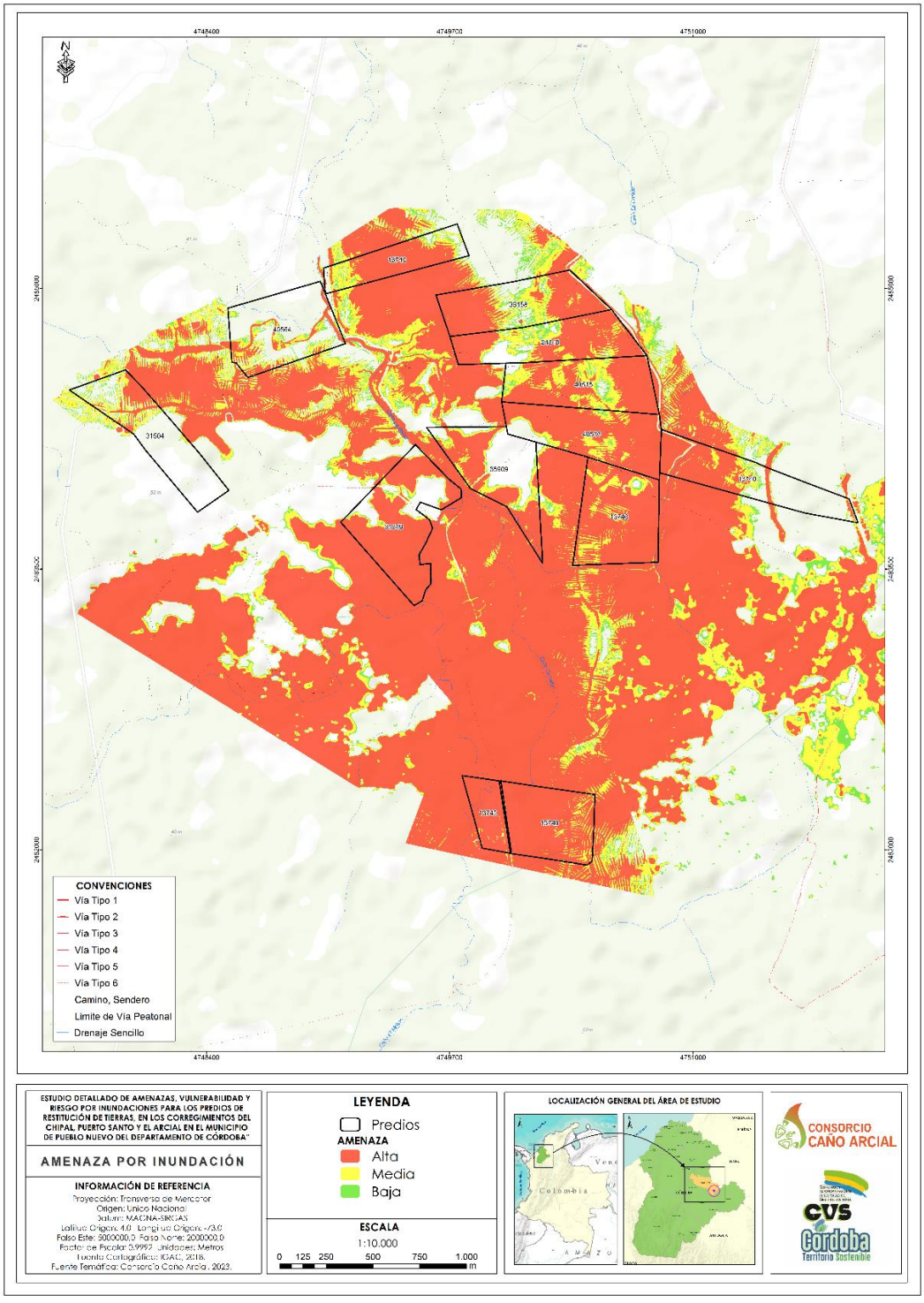


Figura 60 Mapa de zonificación de amenazas por inundación
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ACTUAL DE LA ZONA (SIN MEDIDAS DE INTERVENCIÓN)

Para estimación de la vulnerabilidad de la zona se usaron las funciones profundidad-daño construidas por Cardona & F.A (2016), por tratarse curvas profundidad – daño elaboradas con información aplicable al área de estudio, para viviendas y zonas de producción agropecuaria con características muy similares. En todo caso, estas curvas se usaron aplicando las ecuaciones matemáticas expuestas en el acápite metodológico de vulnerabilidad.

7.2.1 Análisis de exposición

El análisis parte desde la consideración de que actualmente las parcelas presentan la siguiente situación: situación 1. Parcelas que están siendo habitada pero no aprovechada en términos de productividad, situación 2: parcelas que no están siendo habitadas ni aprovechadas en términos de productividad integral, pero se asume una proyección de un escenario deseado (o futuro) donde las parcelas (objeto del estudio), tendrán cuando se desarrollen, una infraestructura de bienes muebles e inmuebles y zonas de producción propios de un proyecto rural de esta naturaleza; se afirma esto a futuro, puesto que ya hemos explicado que, actualmente no existen viviendas habitables (no todas las parcelas están habitadas) en el área directa de estudio, solo se encuentran las parcelas. Así mismo, las áreas dedicadas a la producción agrícola son actualmente son limitadas por la incertidumbre respecto al encharcamiento de la zona. En todo caso, para ambas situaciones 1 y 2, se simula el escenario futuro, donde la parcela tiene proyectada la unidad de vivienda campesina y se proyecta una condición de producción agrícola según las prioridades de sus poseedores.

Siguiendo la metodología empleada por Cardona & F.A (2016) y Salazar (2013), y explicada en el capítulo 5, se seleccionaron los elementos constitutivos de la estructura del inmueble o vivienda para determinar el grado de afectación de la inundación. Como ya se ha dicho, esta consultoría levantó los pocos elementos expuestos encontrados y clasificó un inventario según la tipología de la construcción básicamente constituida por:

- Tipo de armazón (o estructura principal)
- Tipo de cubierta
- Uso
- Número de pisos

Otra información de soporte usada por la consultoría fueron las especificaciones de diseño arquitectónicos y estructurales empleados en el documento técnico de los *proyectos tipo de vivienda de interés social rural* (Departamento Nacional de Planeación-DNP, 2017).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.2.2 Viviendas.

En los levantamientos de campo se encontró que la mayoría de los predios (7 predios) objeto del estudio tienen una infraestructura de vivienda rural básica constituida por: un rancho solo con los cimientos en madera (horcones) y cubierta de palma, sin muros o paredes, sin puertas, ventanas, y tampoco pisos acabados. En este acápite se caracteriza esa tipología, pero considerando que no se tienen registros oficiales de la tipología de vivienda rural en la región; se asumirá que a futuro la tipología de viviendas rural en el municipio de Pueblo Nuevo estará diseñada siguiendo como mínimo los parámetros del documento técnico de los *proyectos tipo de vivienda de interés social rural* (Departamento Nacional de Planeación-DNP, 2017).

Las características mínimas que representan el modelo actual de vivienda que se viene implementando por las entidades oficiales del estado (entidades territoriales) en las zonas rurales de Colombia, se describen a continuación:

i) Área mínima: 64 m²
ii) Espacios básicos: 3 habitaciones, 1 cocina abierta, 1 cuarto de herramientas e insumos, 1 baño.
iii) Cimentaciones: concreto de 175 kg/cm² (2500 psi) hecho en obra para viga de cimentación, con unas dimensiones 0.20m x 0.25m. vigas de cimentación se realizará de acuerdo a la norma NSR-10.
iv) Sobrecimientos: ladrillo o bloque común 0.06 m x 0.12 m x 0.24 m
v) Altura de piso de la vivienda:
vi) Altura de vivienda a nivel de cielo raso:
vii) Muros: 20 cm x 20 cm, con pañete en mortero de 0.01 m de espesor.
viii) Puertas internas: en madera, de dimensiones 0.8 m x 2.30 m x 0.03 m.
ix) Puerta de entrada: Metálica, de dimensiones 0.9 m x 2.30 m x 0.04 m.
x) Ventanas: metálicas, de dimensiones 1 m x 1 m x 0.02 m.
xi) Cubiertas: Teja en fibrocemento
xii) Lavadero y mesón de cocina: losa en concreto de 2500 PSI, y bloque común

Las especificaciones técnicas dilucidadas para la vivienda tipo que espera establecerse en un área rural como la del estudio se pueden mostrar en la siguiente figura (61).

En las encuestas comunitarias a los poseedores de las parcelas, estos mostraron claramente su intención de a futuro establecer el área mínima de vivienda conservando y mejorando la infraestructura rudimentaria que actualmente presentan (los ranchos de palma); esa infraestructura se adicionaría al proyecto tipo de vivienda de interés social rural propuesto. De tal manera que, para este análisis se asume que el área de habitabilidad con infraestructura rural tendrá en total 282 m², puesto que sumando la unidad mínima de vivienda (Proyectos DNP) de 64 m² más la infraestructura básica

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

rudimentaria existente, se tendría una infraestructura que ocuparía aproximadamente un área de 282 m², como unidad mínima de vivienda para cada parcela. Entonces, la unidad mínima de análisis de exposición del estudio, para elementos de infraestructura tipo vivienda es de 282 m².

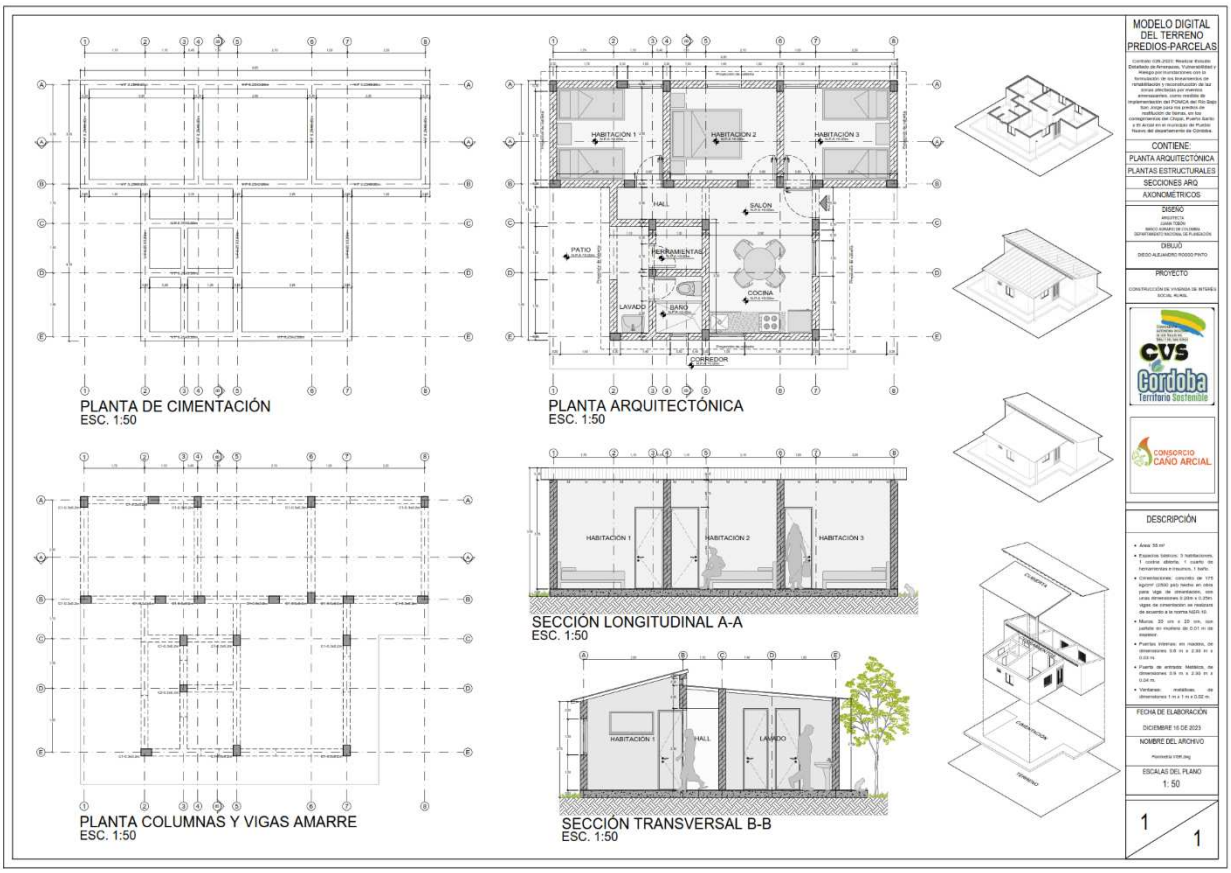


Figura 61 Planimetría especificaciones técnicas vivienda rural
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial (a partir de datos DNP)

7.2.2.1 Contenidos de las viviendas.

Se clasifican los bienes muebles típicos que podrían encontrarse en este tipo de viviendas rurales, considerando lo estipulado por el DANE en la encuesta nacional de presupuesto de los hogares (2016 -2017) en el contexto del municipio de Pueblo Nuevo. A partir de esta fuente de información, se pudo definir que, en el caso de hogares rurales, como es el caso de los esperados en el estudio, los bienes muebles comúnmente encontrados se clasifican así:

a) Muebles y lencería para el hogar: muebles de sala, comedor, alcoba, colchones, butacos.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

b) Electrodomésticos: neveras, lavadoras, estufas, ventiladores, televisores, equipos de sonido, herramientas de jardín.

7.2.3 Zonas de producción.

Según la información oficial del sistema de datos Registro Único de damnificados (UNGRD), los estudios de Caracterización económica de sistemas de producción en la región de la Mojana (Martínez-Reina, 2013) (que incluyen parte del departamento de Córdoba) y el censo de campo realizado por el consultor (anexo 6), las áreas de producción agropecuaria en el municipio de Pueblo Nuevo y en el sector de El Chipal actualmente están constituidas por los siguientes sistemas de producción:

1. Pastoreo de ganado bovino, equino y caprino.
2. Cría de especies menores: porcinos y aves.
3. Cultivos comerciales: maíz mecanizado y patilla.
4. Cultivos de subsistencia: plátano, arroz, maíz manual, yuca, patilla, ahuyama, ñame entre otros.
5. Misceláneo de frutales (como árboles de patio no en cultivo): coco, mango, guayaba

En consideración a los sistemas registrados se tienen inicialmente entonces 3 categorías de elementos expuestos para zonas de producción:

1. Especies animales de pastoreo.
2. Especies de cría.
3. Cultivos.

7.2.4 Análisis de susceptibilidad

La susceptibilidad se expresa con base en las funciones de profundidad-daño en donde se determinaron diferentes rangos de daño. El umbral de excedencia de daño esperado en los bienes muebles y cultivos, se determina en función de su deterioro o resistencia al daño total en algún momento después del evento de inundación. Para el caso de los elementos estructurales (vivienda), se considera que el umbral de excedencia de daño esperado daño se obtiene a partir de su resistencia al daño parcial.

7.2.5 Función de Profundidad- Daño para bienes muebles.

Para este tipo de elementos, la metodología usada se fundamenta en los postulados de Cardona (2016), donde se construyeron curvas de daño según el umbral de excedencia al que puede estar sometido vivienda de la zona.

Para la aplicación de estas funciones también se tiene como insumo *la encuesta multipropósito* del DANE (2018), que profundizan en aspectos de cobertura, calidad y

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

gasto de los hogares en servicios públicos domiciliarios, mercado laboral y condiciones de vida. Según esos datos oficiales, los siguientes tipos de bienes muebles más probables de encontrar: muebles (de sala y/o comedor), nevera, camas, equipo de sonido, televisor, lavadora. Se ilustra continuación la curva de daño utilizada.

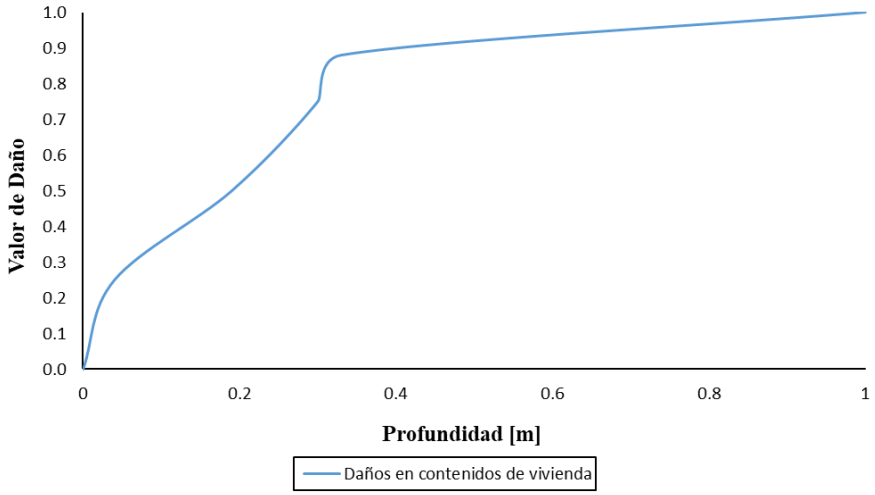


Figura 62 Curva de daño contenidos de vivienda
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.2.6 Función de Profundidad- Daño para Infraestructura de vivienda (bienes inmuebles)

Para determinar el grado de daño tangible por las inundaciones en las viviendas se usó la metodología empleada por Cardona & F.A (2016) y fue contrastada con los métodos empleados por Salazar (2013), en donde se presenta una función de daño específica para cada tipo de elemento estructural (aplicado según el caso) que finalmente, componen todo el elemento expuesto. Se presenta entonces las curvas profundidad – daño, usada así según el caso de estudio (Figura 63):

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

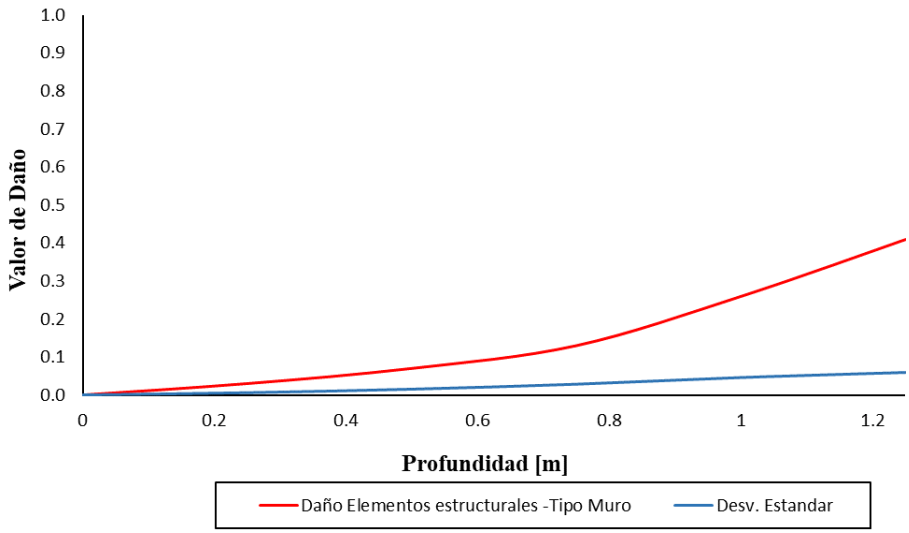


Figura 63 Curva de daños elementos estructurales tipo muro
Fuente: Consorcio Caño Arcial

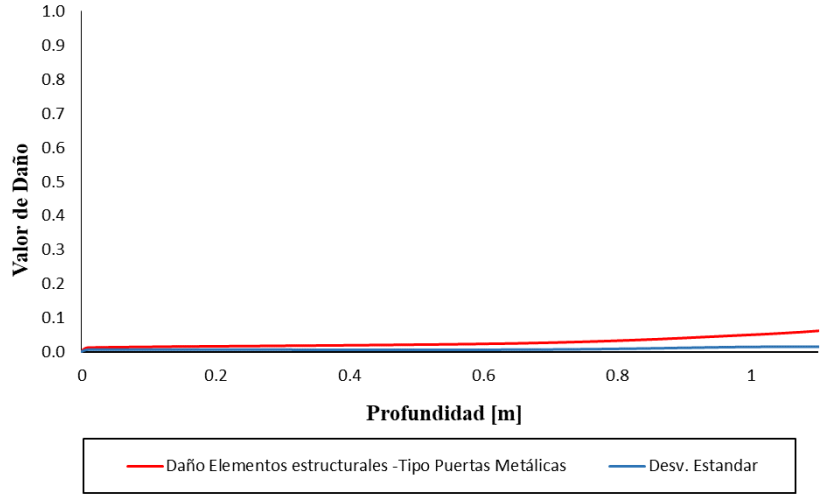


Figura 64 Curva de daños elementos estructurales tipo puertas metálicas
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

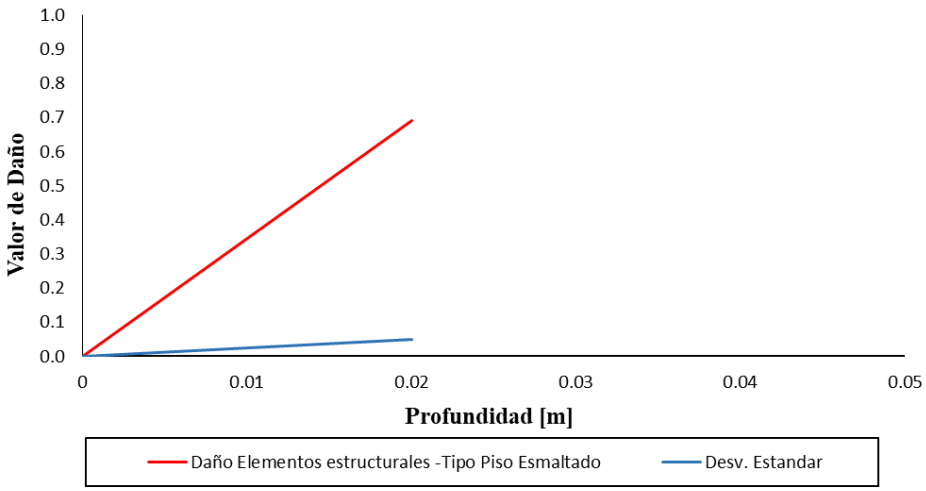


Figura 65 Curva de daños elementos estructurales tipo piso esmaltado
Fuente: Consorcio Caño Arcial

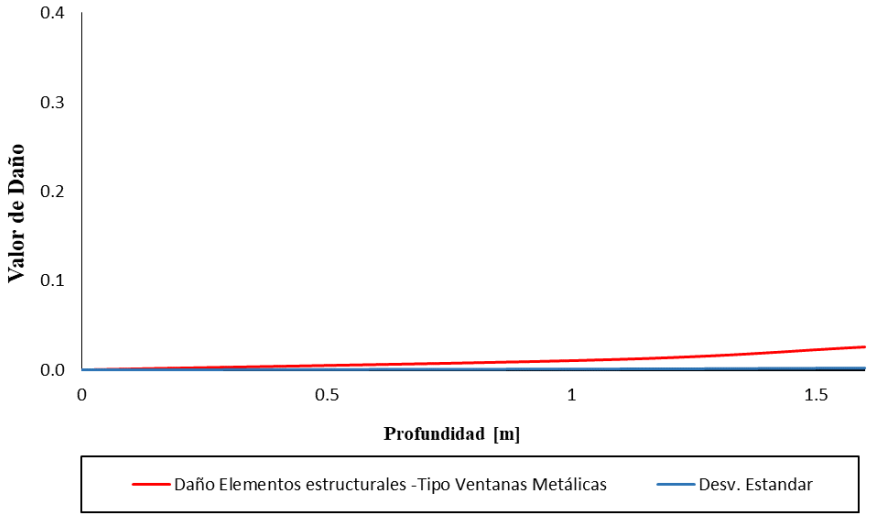


Figura 66 Curva de daños elementos estructurales tipo ventana metálica
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.2.7 Función de Profundidad- Daño para Cultivos.

En comparación con las otras tipologías de elementos expuestos, los cultivos tienen un umbral y una resistencia frente al daño muy distinta, algo que es comprensible puesto que presentan características físicas y bioquímicas en constate evolución.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Las características que describen por completo las propiedades físicas en función de la resistencia del tallo principal de la planta las describe Cardona & F.A (2014) así: la altura total, el diámetro del tallo principal, la sección transversal del tallo principal (Hueco o sólido), el módulo de elasticidad del tallo principal, el momento de inercia, la rigidez y el área transversal del tallo principal. Mientras que las propiedades bioquímicas están determinadas, en estos casos, por el proceso metabólico; este proceso resulta esencial para su correcto crecimiento y bienestar. Dentro de estos procesos metabólicos se encuentran: Respiración, alimentación y reproducción (Cardona & F.A, 2014)

Bajo ese planteamiento las funciones de daño para cultivos se proponen para determinar dos tipos de vulnerabilidad en estos elementos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad bioquímica.

7.2.8 Vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física ha sido concretamente definida como análisis de la susceptibilidad de daño de plantas de diversos cultivos según las condiciones de flujo de velocidad y profundidad de flujo y su efecto en las características físicas del tallo principal de la planta en estudio (Cardona & F.A, 2014). Para efectos del presente estudio se modela la vulnerabilidad física seleccionando dos etapas generales de crecimiento del cultivo: siembra y vegetativa, puesto que en estas etapas los cultivos presentan la mayor fragilidad y como tal, la mayor propensión al daño (Cardona & F.A, 2014). Así mismo estas 2 etapas son las que, en general, coinciden con el periodo lluvioso en esta región del país. Se evalúa la vulnerabilidad física para los cultivos de arroz, maíz, patilla y yuca, considerando que estos cultivos según las investigaciones realizadas (anexo 6) (Cardona & F.A, 2014) presentan predisposición directa al daño cada vez que se presenta una relación profundidad-velocidad, que no requiere de que trascurra un prolongado período de tiempo para generar daño, sino que por el contrario genera un daño inmediato uva vez ocurre su magnitud en este tipo de cultivos.

Soportados en esa base científica de conocimiento generado para área con condiciones muy similares a la zona de nuestro análisis (resultado de la modelación de vulnerabilidad ante inundaciones y la definición de curvas de vulnerabilidad para los diferentes elementos expuestos existentes en la Región de la Mojana-Caso Ayapel. Cardona & F.A, 2014), se emplean las siguientes funciones de daño o pérdida para cuantificar la vulnerabilidad física, ilustradas como ejemplo:

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

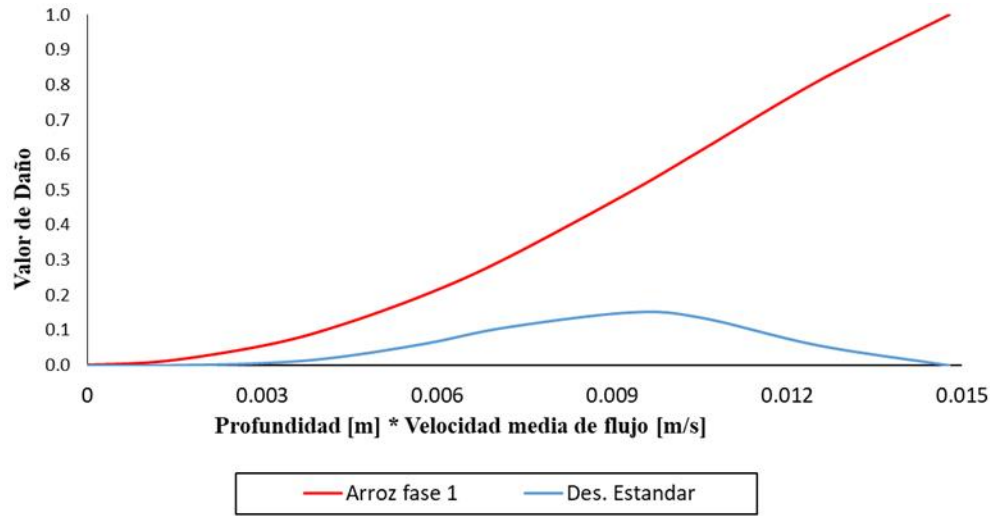


Figura 67 Función de vulnerabilidad física.(Arroz_fase 1)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

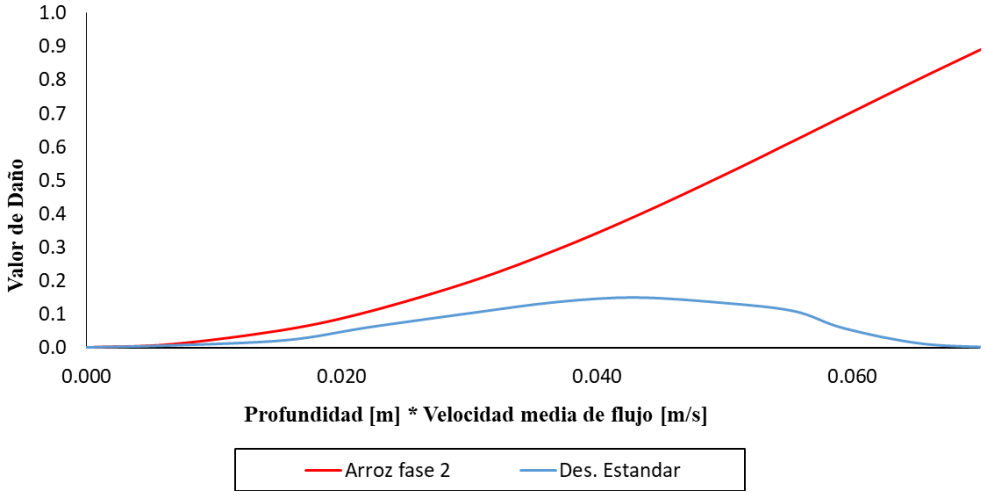


Figura 68 Función de vulnerabilidad física.(Arroz_fase 2)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

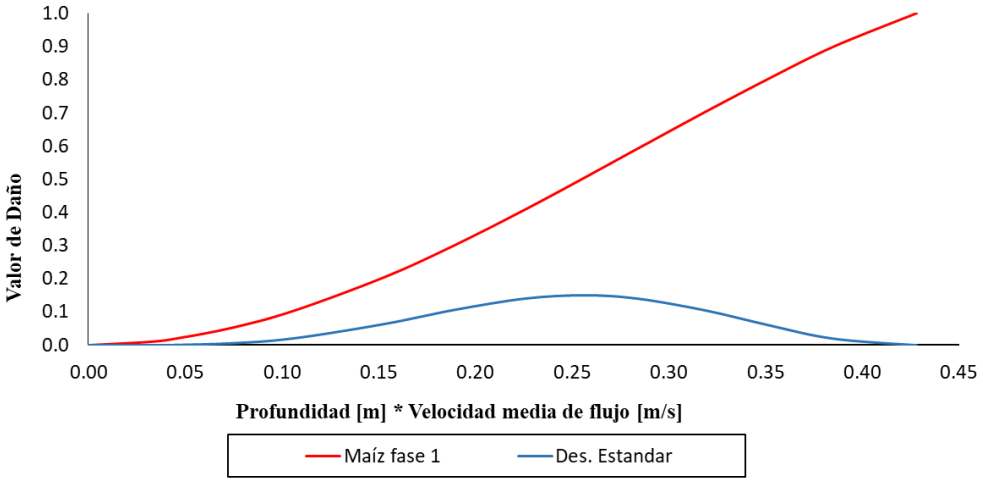


Figura 69 Función de vulnerabilidad física.(Maíz_fase 1)
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

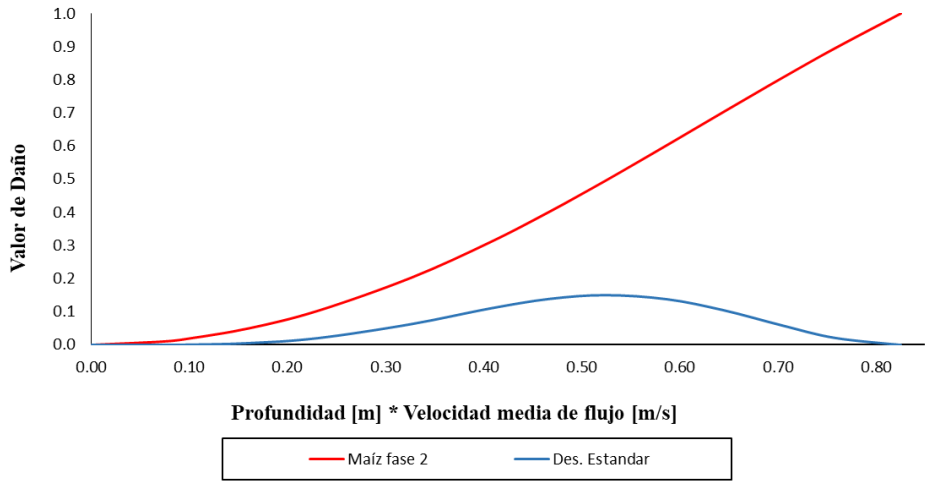


Figura 70 Función de vulnerabilidad física.(Maíz_fase 2)
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

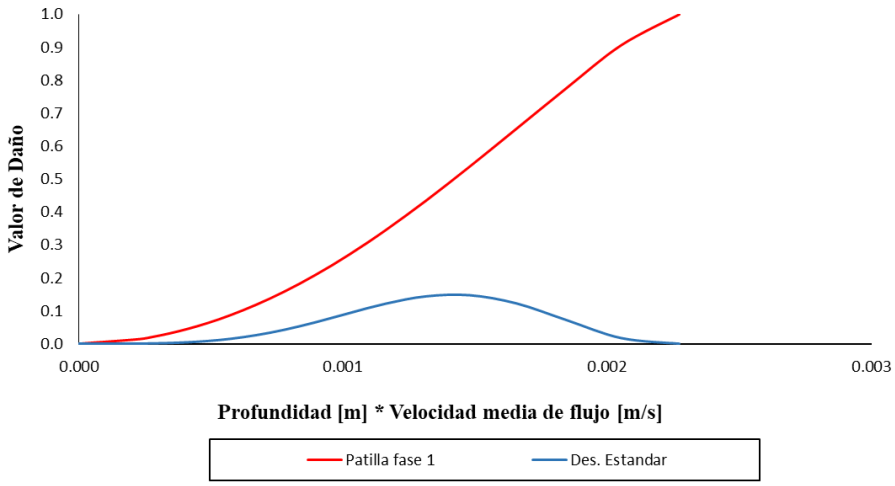


Figura 71 Función de vulnerabilidad física. (Patilla_fase 1)
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

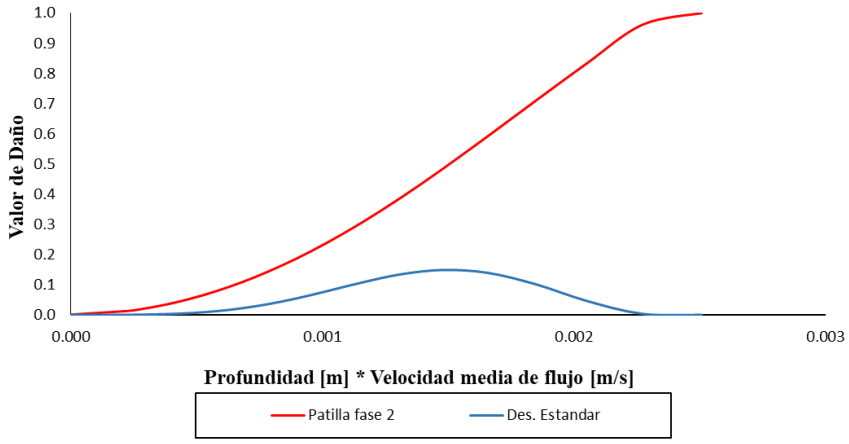


Figura 72 Función de vulnerabilidad física. (Patilla_fase 2)
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

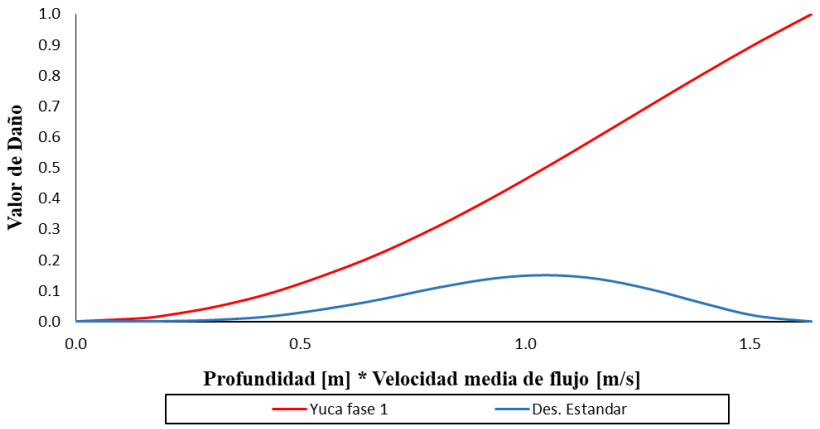


Figura 73 Función de vulnerabilidad física. (Yuca_fase 1)
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

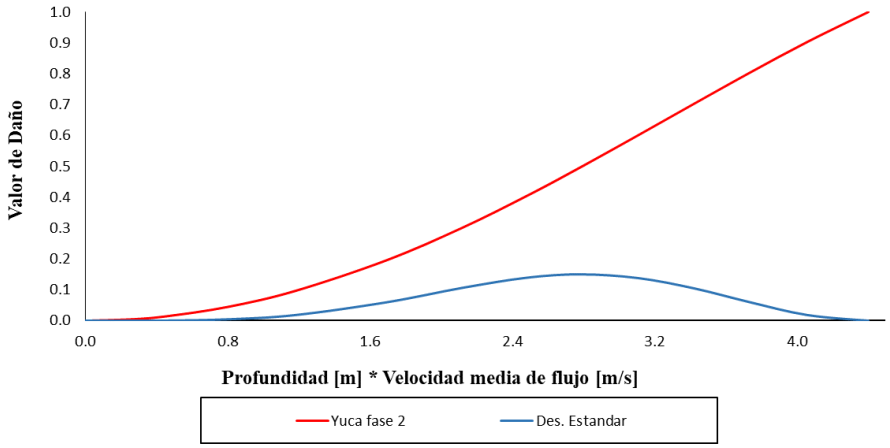


Figura 74 Función de vulnerabilidad física. (Yuca_fase 2)
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

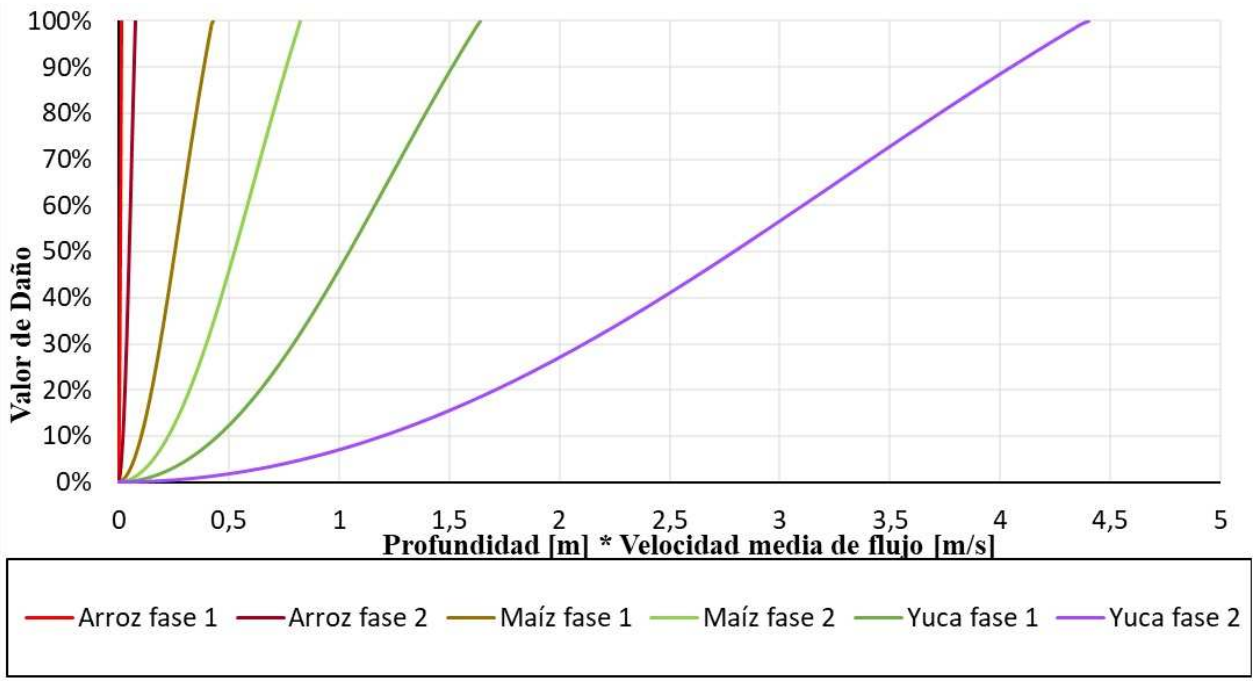


Figura 75 Vulnerabilidad Física cultivos Fase 1 y 2
Fuente: Fundación Consorcio Caño Arcial

7.2.9 Vulnerabilidad bioquímica

De manera relativamente similar la vulnerabilidad bioquímica la describen como la susceptibilidad de daño de plantas de diversos cultivos según las condiciones de profundidad de flujo y la duración del evento, con las respectivas consecuencias en el proceso metabólico de respiración de la planta.

Con la finalidad de explicar de la manera más trasparente posible el procedimiento de aplicación de las funciones de vulnerabilidad se listan los supuestos y consideraciones previos para resolver el análisis (tal como lo plantea Cardona & F.A, 2014):

- El análisis se realiza sobre una sola planta. No se tiene en cuenta el efecto de la densidad de plantas en un área determinada como se presenta en los campos de cultivo.
- El componente más importante en el análisis de la vulnerabilidad bioquímica se supone que es el oxígeno y su agotamiento tanto en el medio líquido y poroso.
- Una condición anóxica en el medio líquido y poroso se asume como 100% de daño a la planta bajo estudio.
- Se asume un estado de saturación en el medio líquido para el cálculo del agotamiento del oxígeno disuelto.
- Se asume una conductividad hidráulica constante en el medio poroso para el cálculo del agotamiento del oxígeno gaseoso.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Una vez analizados las características del tallo de la especie plátano común, en sus diferentes fases, y su evaluación con la base científica de valoración de daños, se establece que este tipo de cultivos no registra daños directos inmediatos cuando se presenta solamente la relación profundidad-velocidad, puesto que presenta mayor resistencia. Pero su fragilidad puede medirse cuando se presenta una relación profundidad –Velocidad – tiempo de permanencia en agua, es decir, su constitución bioquímica presenta fragilidad a la exposición al agua (o exceso de humedad) por periodos de tiempo relativamente prologados. Por tal razón, con la finalidad de detallar también los daños en este tipo de cultivos (por ser de interés del estudio y de las comunidades) se realiza una aproximación a los daños relativos que puede experimentar este tipo de cultivos.

Bajo los postulados técnicos dilucidados en el item 5.2.2 se emplean las siguientes funciones para medir la vulnerabilidad bioquímica, de la que se ilustran las aplicadas para este caso:

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

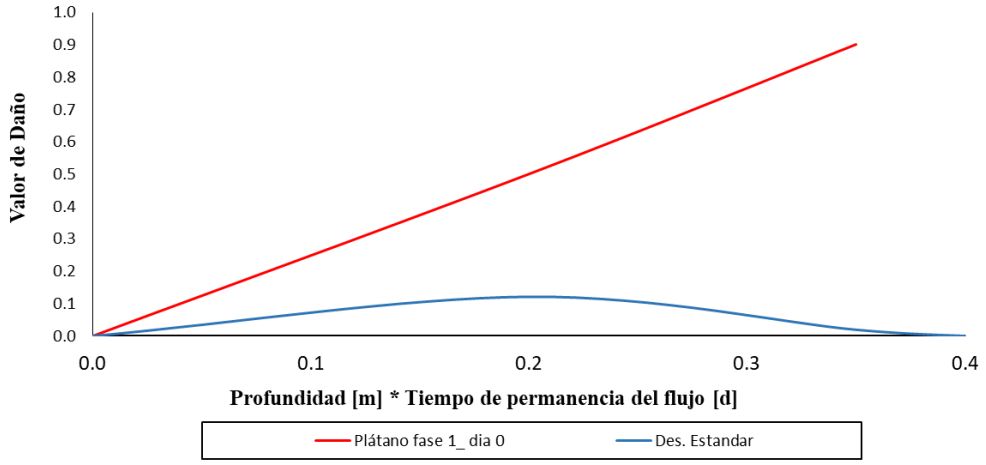


Figura 76 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 1_dia 0)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

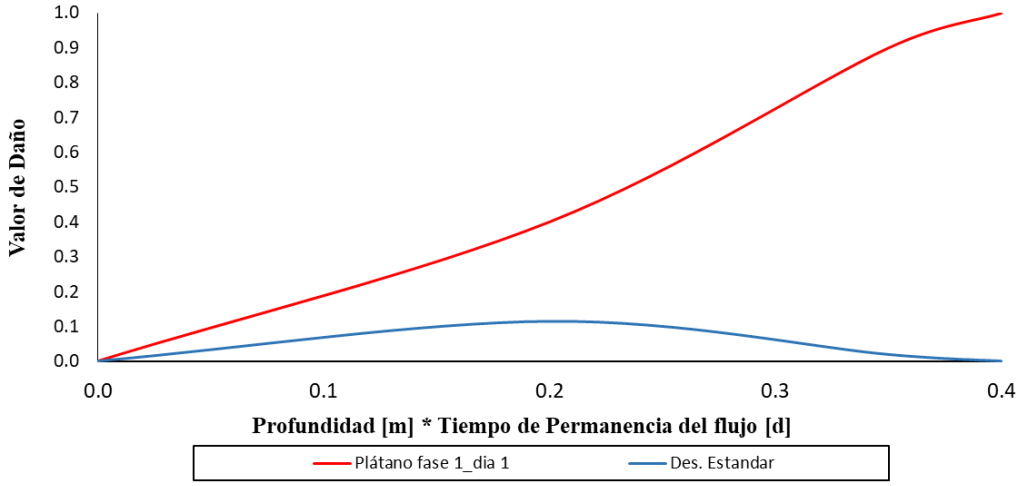


Figura 77 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 1_dia 01)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

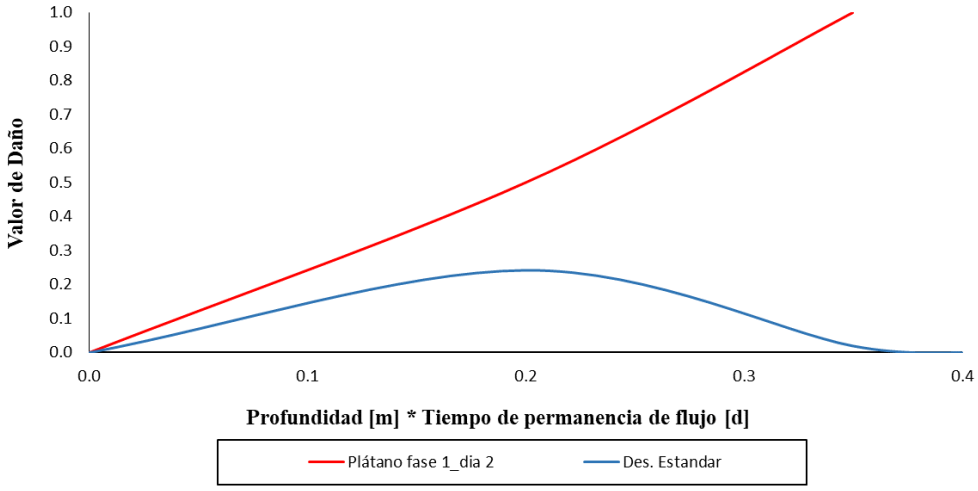


Figura 78 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 1_dia 2)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

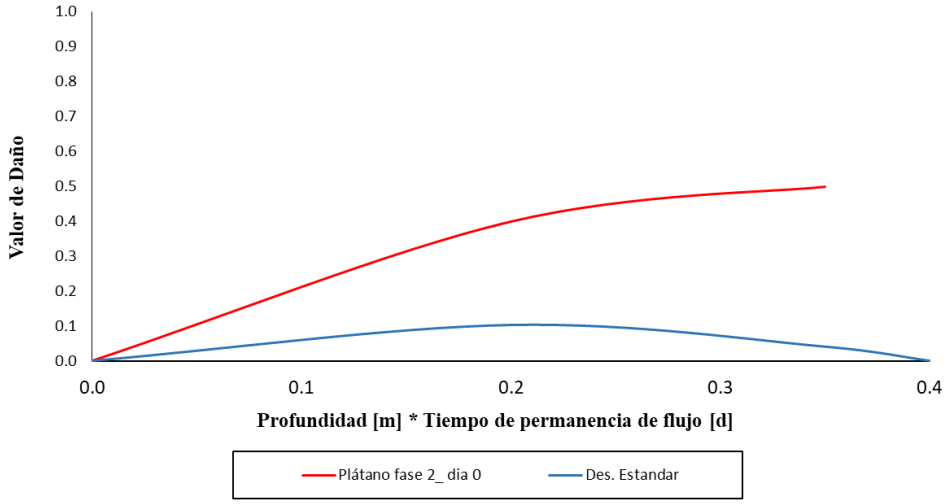


Figura 79 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 0)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

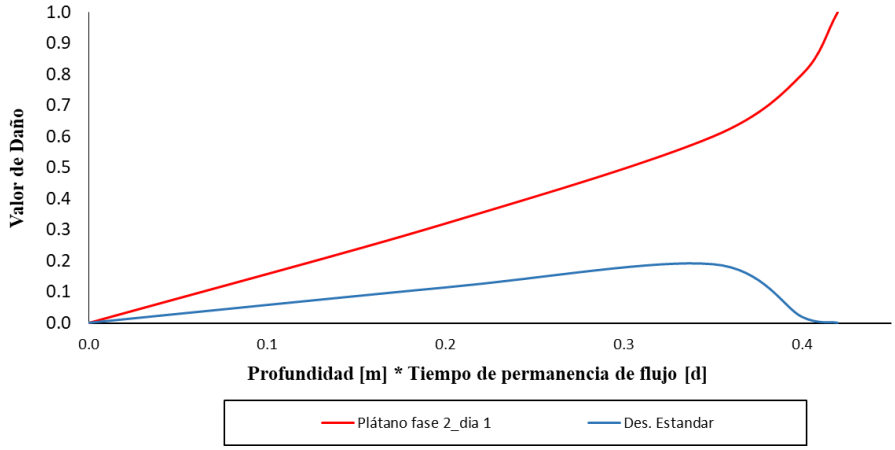


Figura 80 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 1)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

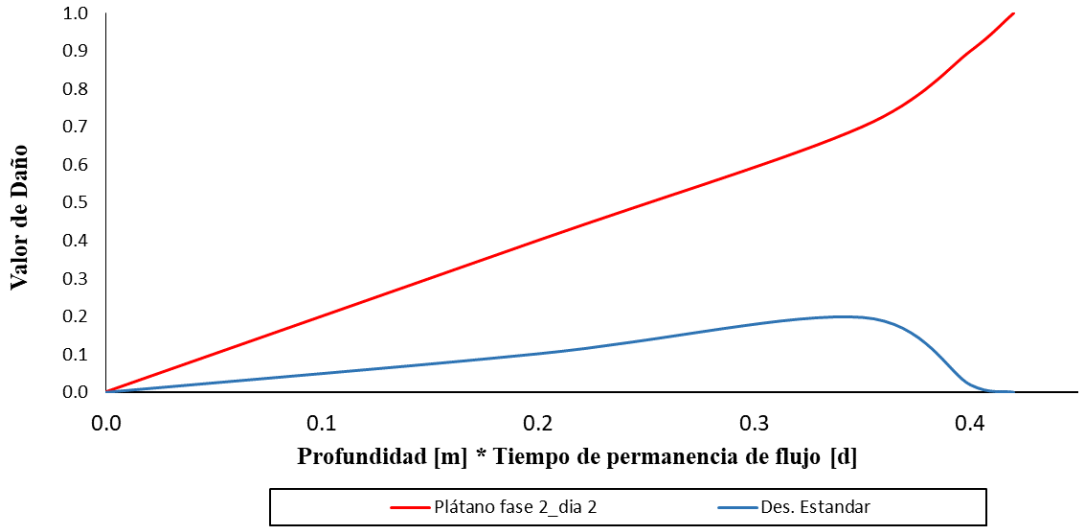


Figura 81 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 2)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

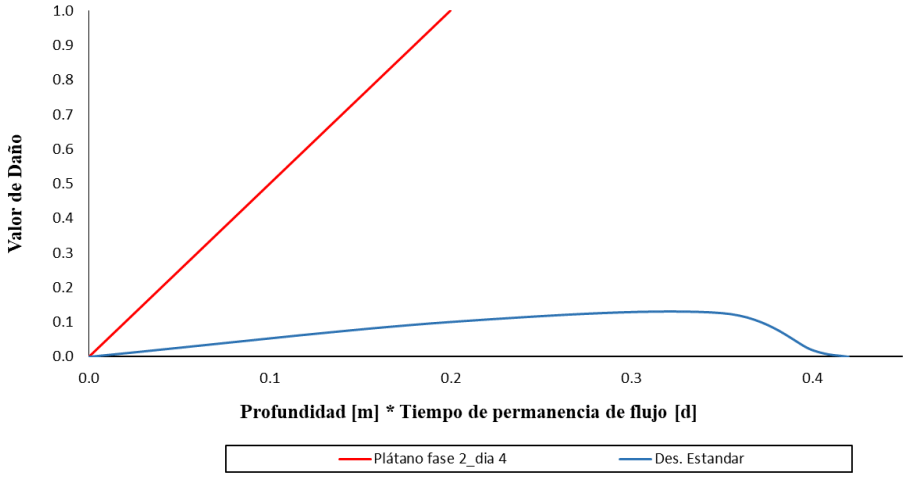


Figura 82 Función de vulnerabilidad bioquímica. (Platano_fase 2_dia 4)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.2.10 Resultados

El uso inicial de las funciones de daño en el procesamiento para calcular los daños tangibles esperados (expresados como porcentaje de daño o pérdida relativa), permite expresar la vulnerabilidad de los elementos expuestos con valores porcentuales según la constitución del elemento y en función de la intensidad de la inundación. Se presentan entonces los resultados de la cuantificación de los daños en infraestructura de vivienda, su potencial contenido proyectado y en cultivos.

7.2.11 Resultados evaluación de daños en infraestructura de vivienda proyectada.

En el siguiente mapa se expresan los valores de daño en infraestructura de vivienda, considerando un escenario en donde la infraestructura se ubique en cualquiera de los cuadrantes (o grillas) en las que se subdivide cada parcela.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

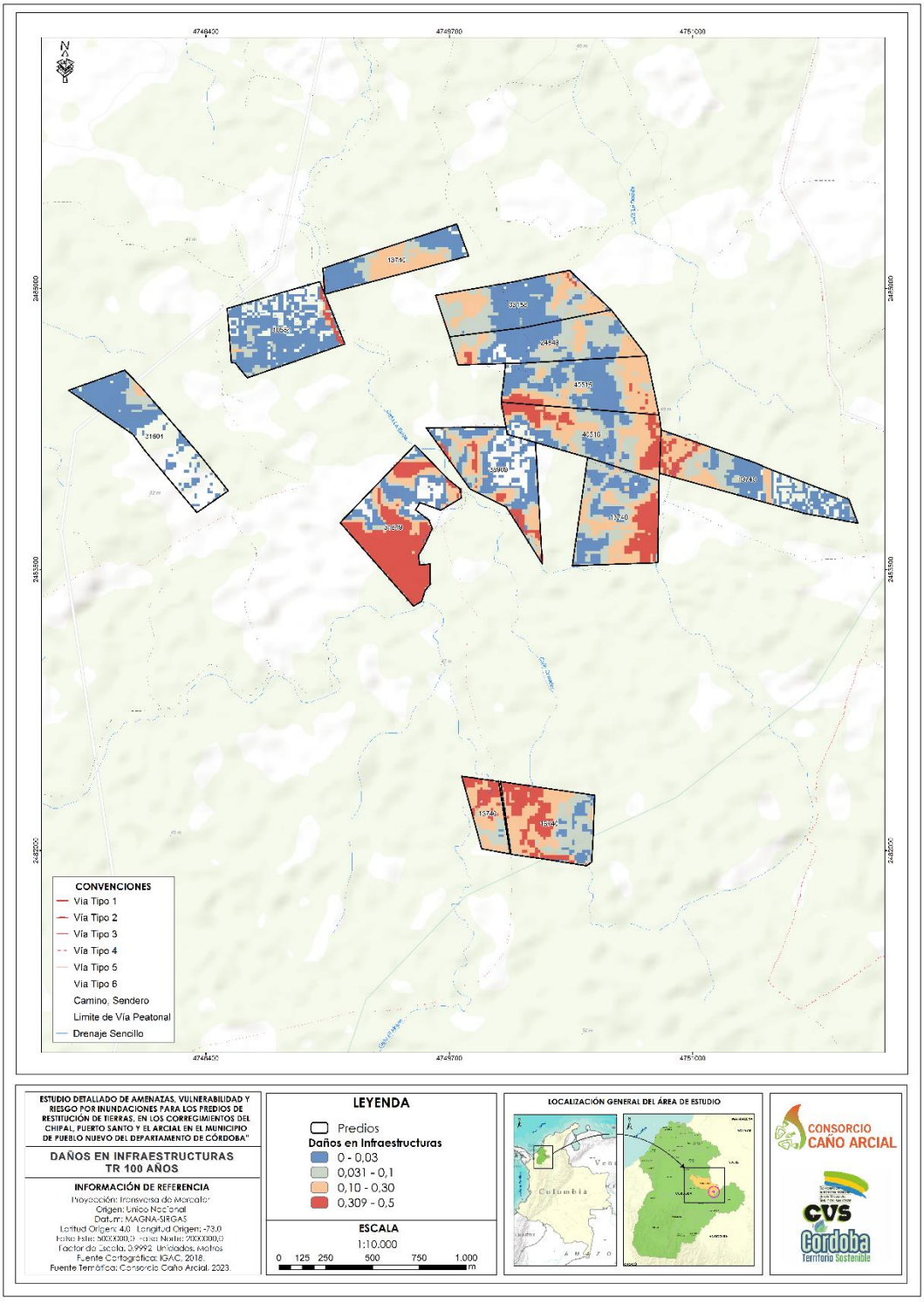


Figura 83 Mapa de daños tangibles en infraestructura de vivienda – según ubicación proyectada
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.2.12 Resultados evaluación de daños en contenido de vivienda proyectada.

En el siguiente mapa se expresan los valores de daño en contenido potencial (muebles y electrodomésticos) de vivienda proyectada, considerando un escenario en donde la infraestructura se ubique en cualquiera de los cuadrantes (o grillas) en las que se subdivide cada parcela.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

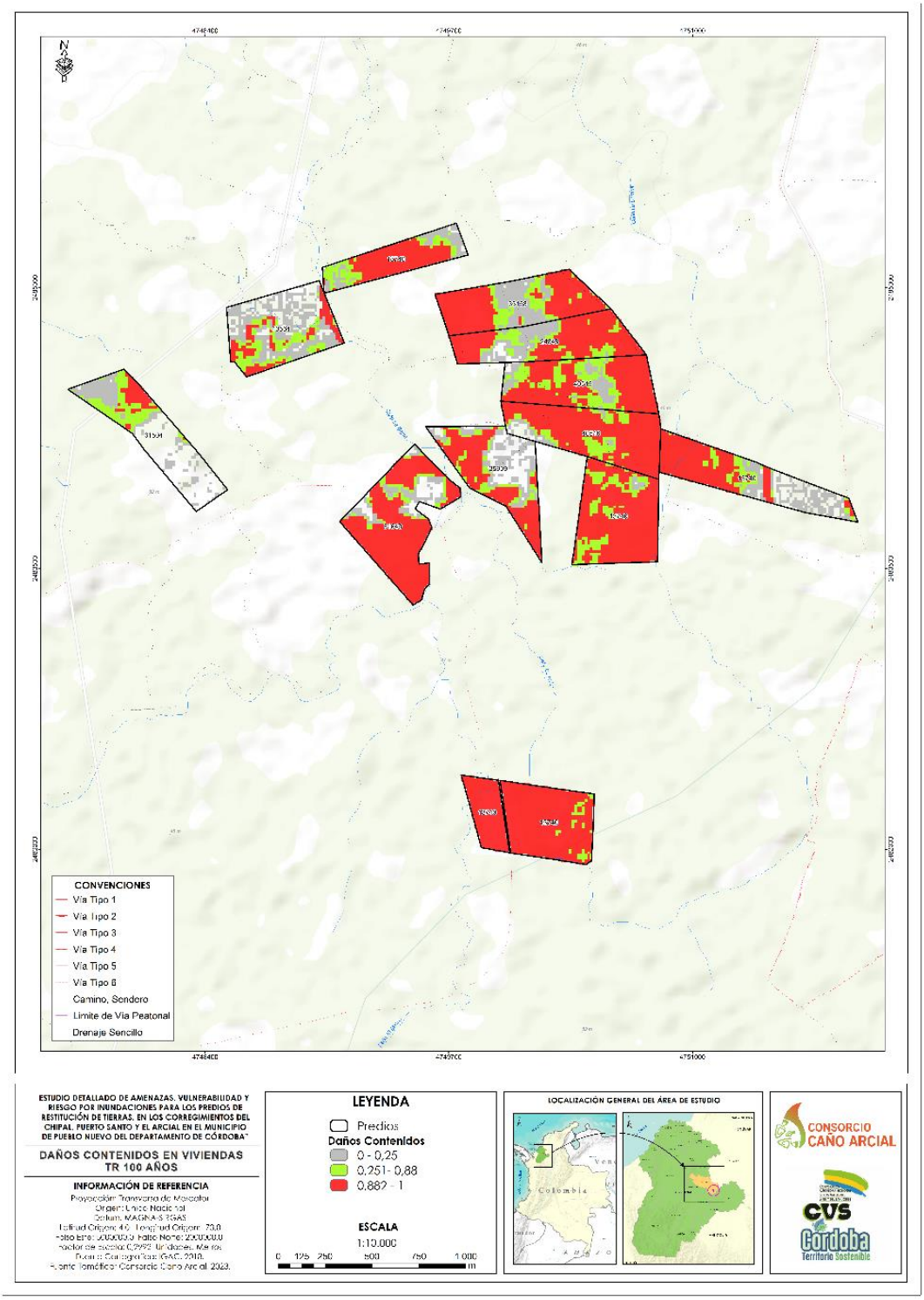


Figura 84 Mapa de daños tangibles en bienes muebles o contenidos de vivienda – en caso de ubicación en áreas inundables
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.2.13 Resultados evaluación de daños en cultivos.

En este acápite se presentan los daños calculados para dos tipos de escenarios:

- un escenario general de monocultivos asumiendo un esquema de producción asociativo para generar grandes producciones de un solo tipo de cultivos.

- Un escenario esperado (o ideal) de policultivo, que atiende la dinámica económica de la zona de estudio, y que recoge la propuesta de las comunidades. Para esto se detalla que, durante el proceso de participación comunitaria en el estudio, los dueños o tenedores de las parcelas manifestaron su interés y su proyecto de establecer en cada parcela un sistema de cultivos combinado que incluyera los tipos de cultivos analizados en el estudio

Por tal razón, se presentan primeramente los elementos de la categoría de cultivos, enseñando los resultados de la cuantificación de los daños para los tipos de cultivos analizados en el estudio: maíz, arroz, patilla, yuca y plátano; todos estos expresados en las 2 etapas o fases esenciales (siembra y vegetativa). Estos resultados generales se expresan primeramente considerando el escenario de monocultivos para todas las parcelas.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

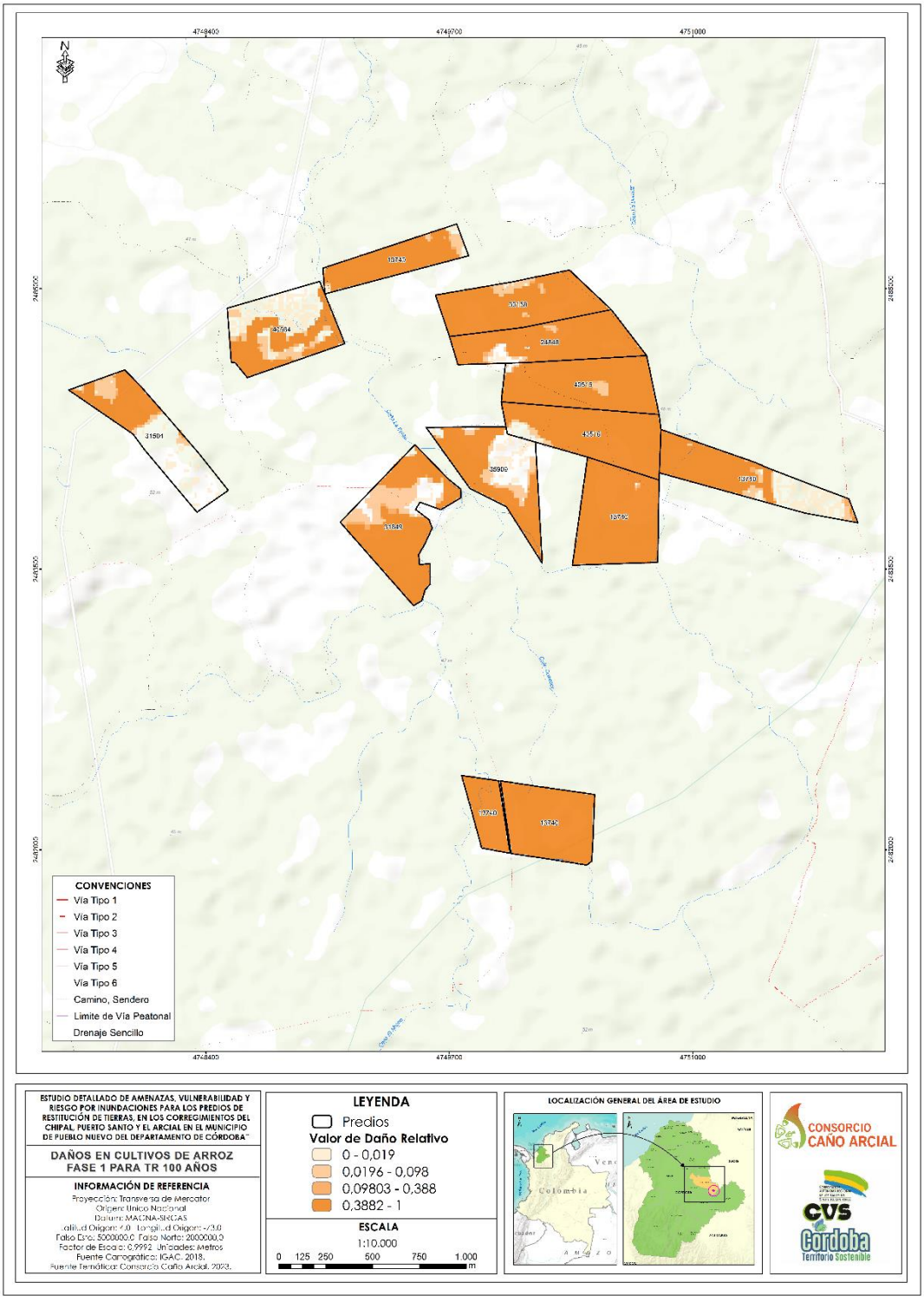


Figura 85 Vulnerabilidad física cultivos de Arroz Fase 1.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

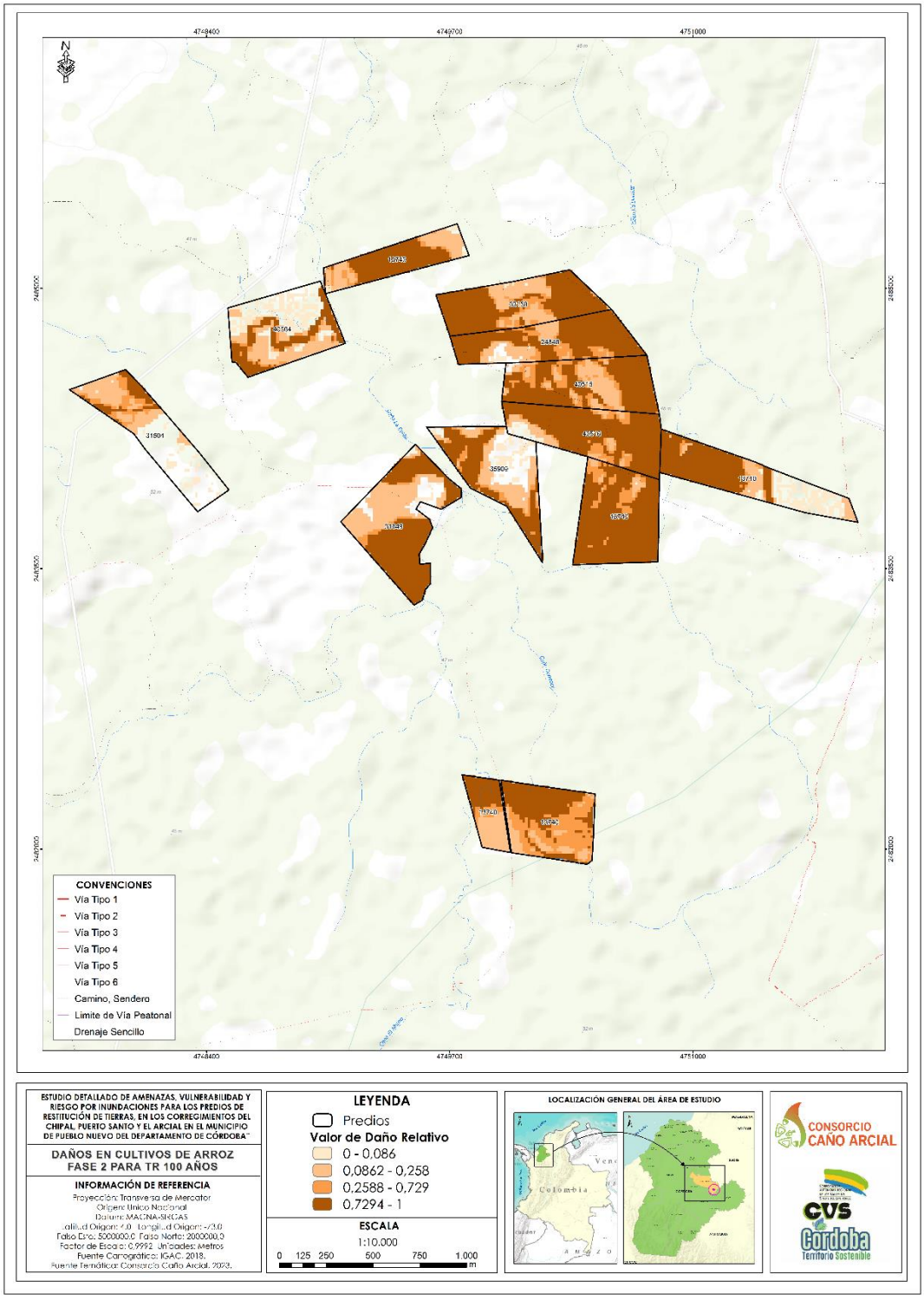


Figura 86 Vulnerabilidad física cultivos de Arroz Fase 2.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

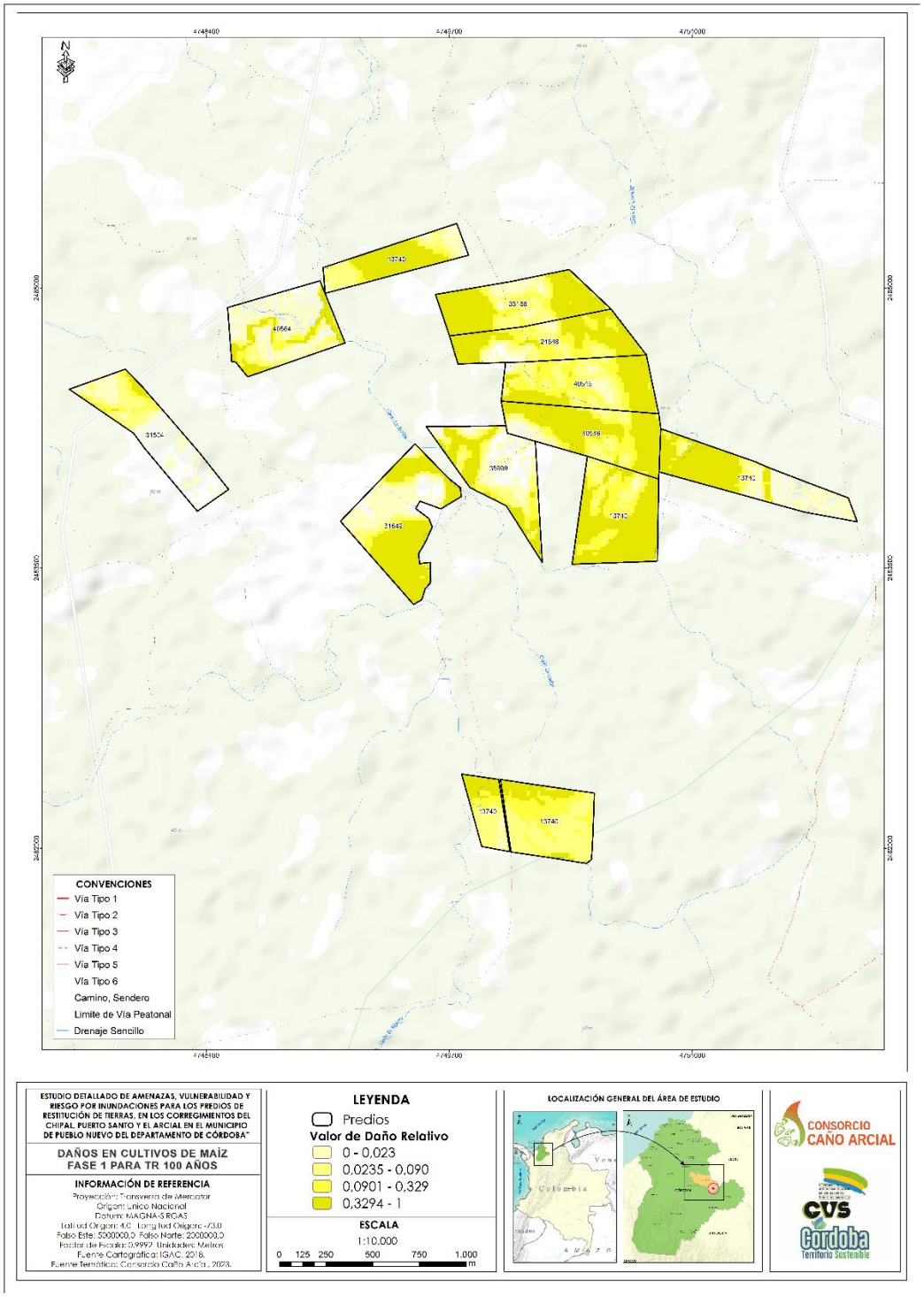


Figura 87 Vulnerabilidad física cultivos de Maiz Fase 1.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

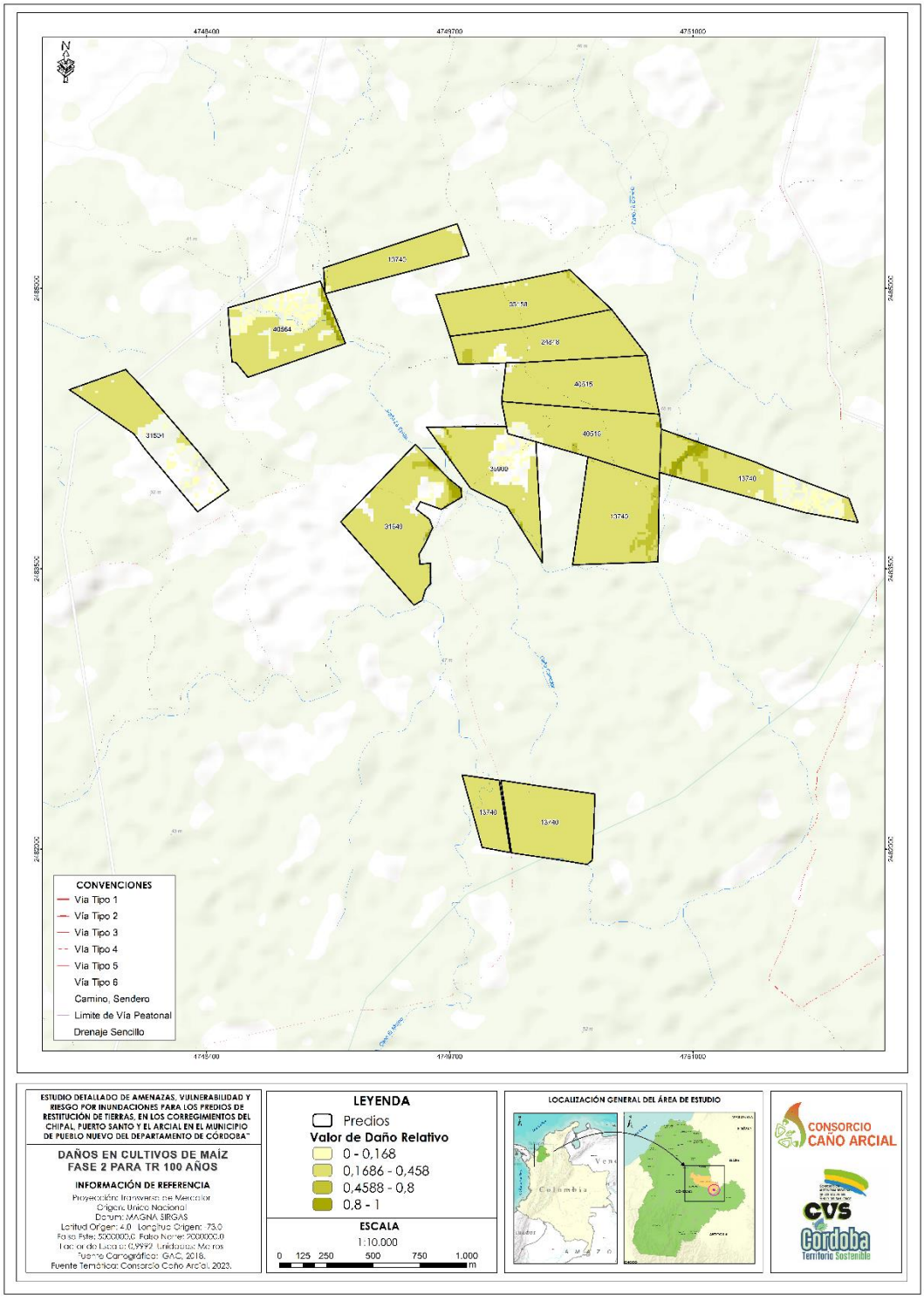


Figura 88 Vulnerabilidad física cultivos de Maiz Fase 2.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

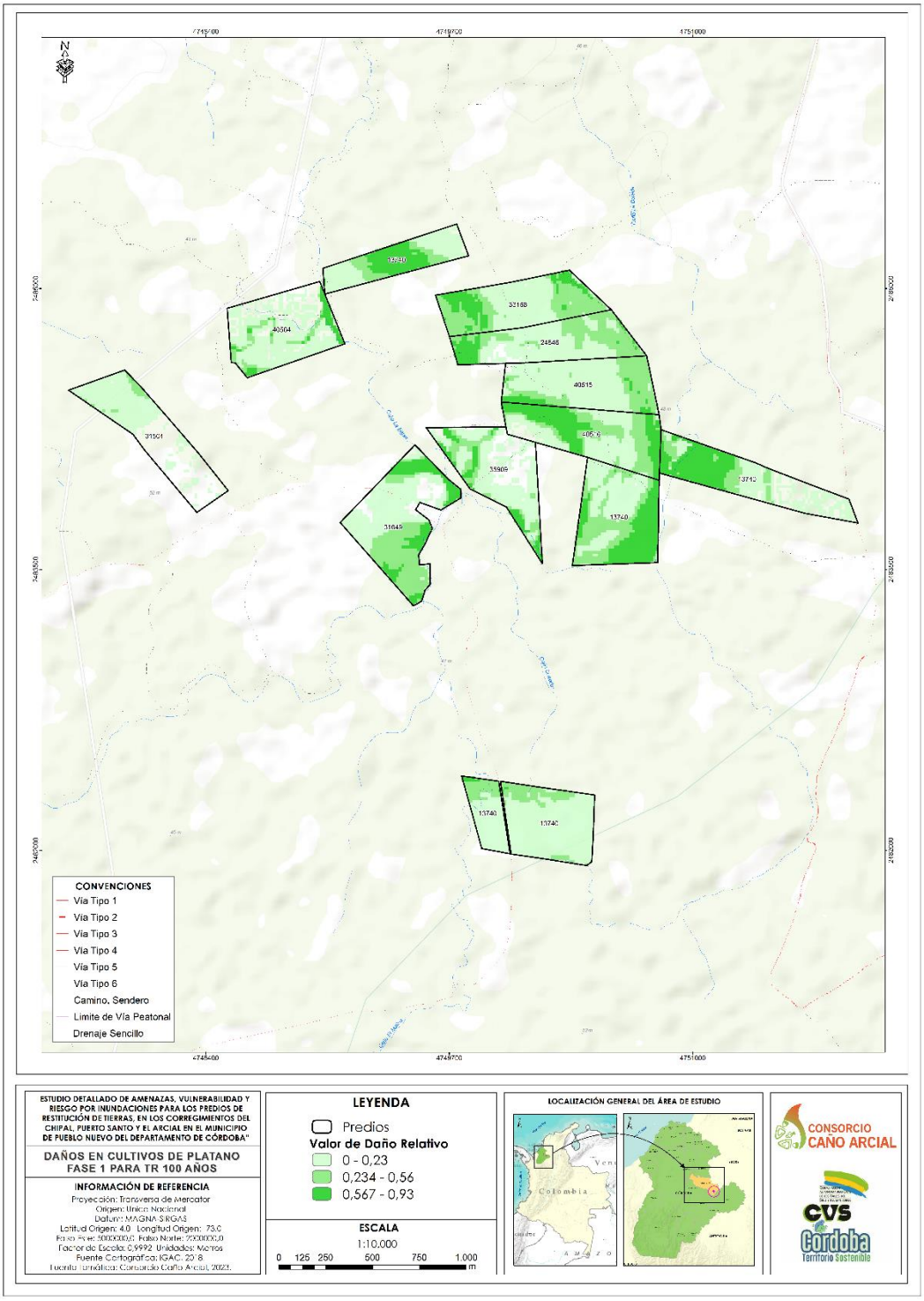


Figura 89 Vulnerabilidad física cultivos de Plátano Fase 1.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

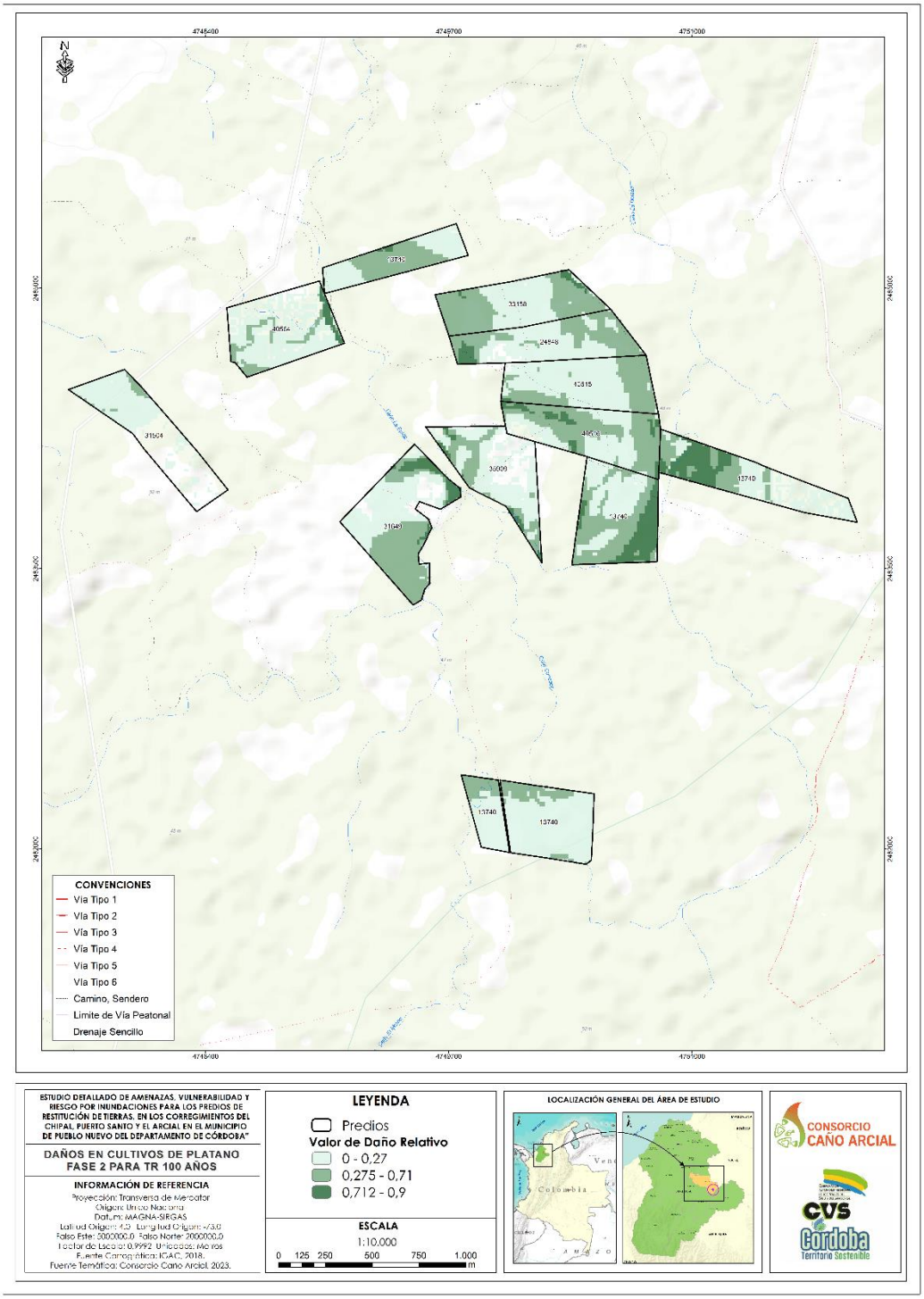


Figura 90 Vulnerabilidad física cultivos de Plátano Fase 2.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

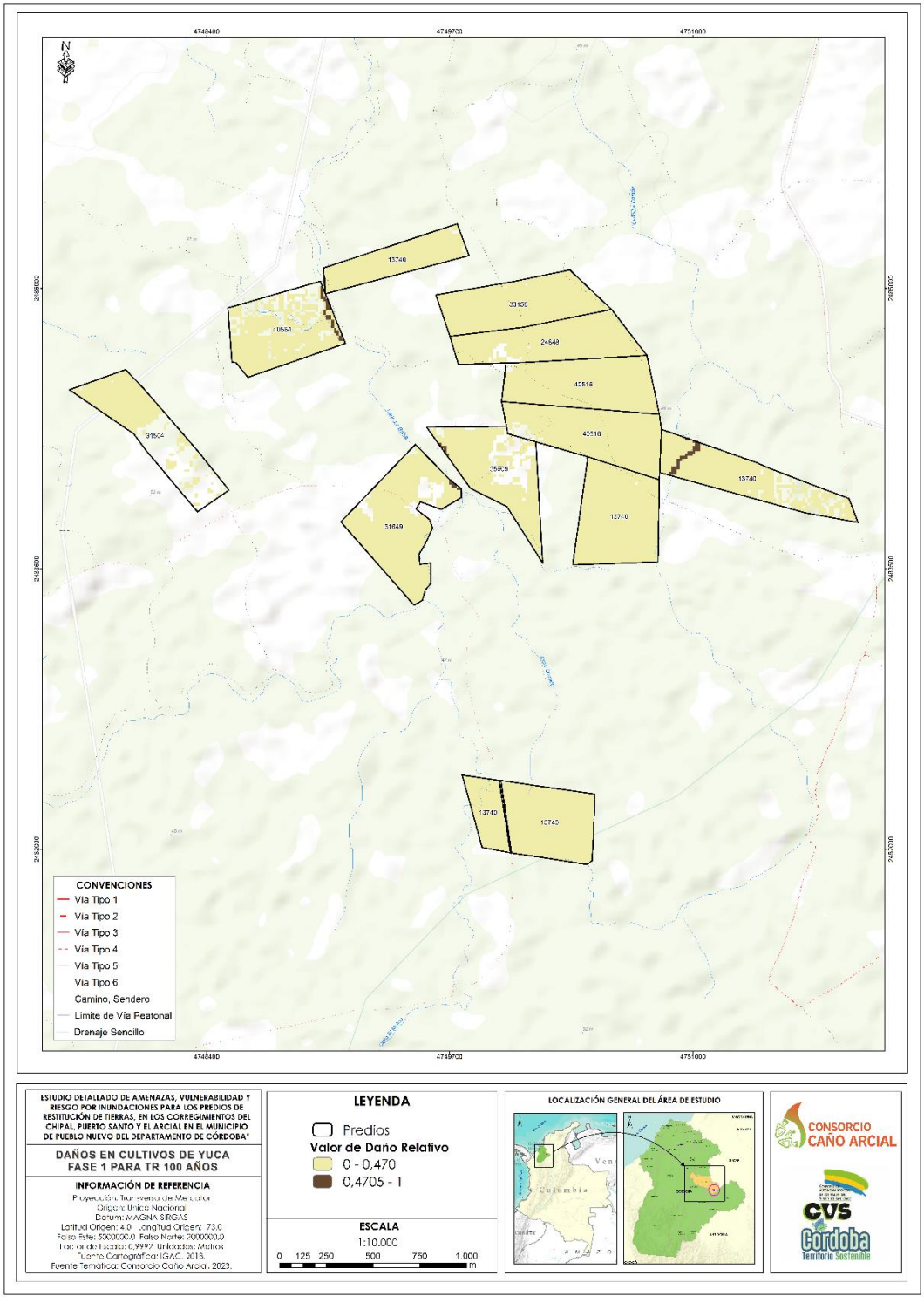


Figura 91 Vulnerabilidad física cultivos de Yuca Fase 1.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

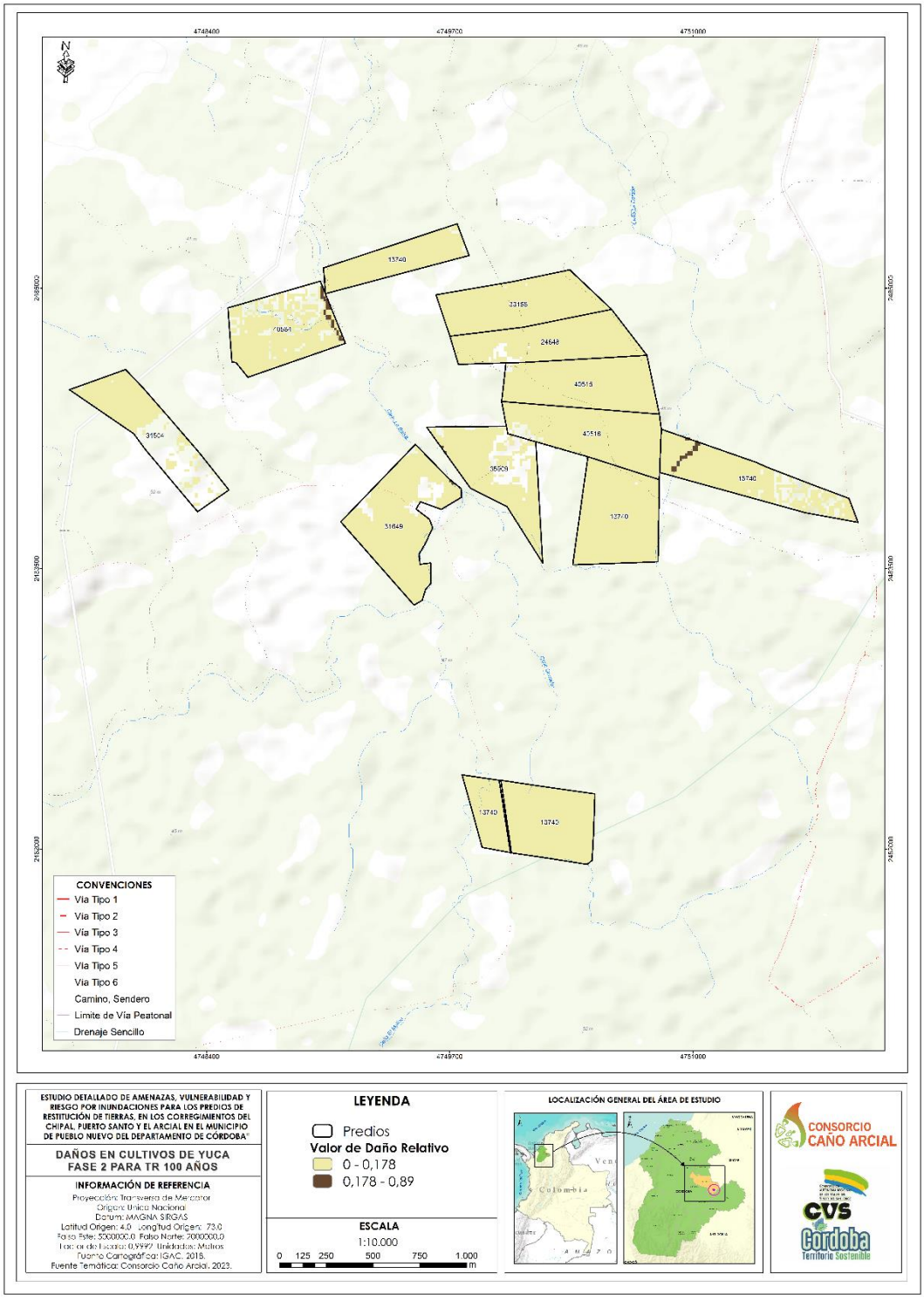


Figura 92 Vulnerabilidad física cultivos de Yuca Fase 2.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.2.14 Evaluación o valoración económica de la vulnerabilidad

Para integrar y complementar la información de los elementos para el análisis de riesgo es preponderante establecer un portafolio económico de valores de reposición; que se puede obtener de fuentes de información gubernamental, pero también son válidos los indicadores económicos de las agremiaciones y/o federaciones de sectores productivos, que trabajan en asociación o bajo las estrictas normas del estado.

Para este estudio se subdividió la valoración económica según las categorías de elementos expuestos, es decir: construcciones o infraestructura convencional (viviendas), contenidos de las viviendas (bienes muebles) y zonas de cultivos.

7.2.15 Evaluación económica de construcciones.

Se asume estrictamente el valor de reposición de las viviendas proyectadas en la zona de estudio, centrados en su tipo de uso (residencial rural). El costo de reposición de este tipo de vivienda rural se obtiene inicialmente estructurando un presupuesto de obras tipo con cantidades unitarias y valores de materiales de referencia para la región (tomado como región el departamento de Córdoba); para ello, se adoptaron los valores de referencia de la tabla de presupuestos de obra formulaos y/o ejecutados (y suministrados por la secretaría de infraestructura del municipio) por la alcaldía de Buenavista durante los últimos años, como quiera que contienen los valores más representativos del costo de construcción de vivienda que pueden aplicar para los corregimientos correspondientes, en donde la dificultades de ingreso por el mal estado de la vía de acceso encarecen el precio del transporte de los materiales.

Pero como esos costos corresponden a valores de referencia del año hasta 2021, se ajustaron los valores a costos actuales. Para poder proyectar el valor de la posible afectación en viviendas, se aplicó la metodología de indexación, que se determina actualizando los precios conforme a la inflación periódica con un carácter acumulativo anual. Esto se realiza considerando la inflación histórica a la fecha y proyectándola según estimaciones del DANE con promedio móvil aritmético.

Se pueden estimar valores de referencia para construcciones de uso residencial urbano, comercial e institucional, pero esas categorías no son aplicables puesto que no son del alcance situacional de este estudio.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.2.16 Evaluación económica de contenidos o bienes muebles (de las viviendas).

Tomando inicialmente como fuente oficial de *la encuesta multipropósito del DANE, que profundizan en aspectos de cobertura, calidad y gasto de los hogares en servicios públicos domiciliarios, mercado laboral y condiciones de vida* (DANE,2018) donde se estipulan los bienes muebles más probables de encontrar en las viviendas de este tipo en zonas rurales. se adaptó la metodología de Instrumento de Agregación de Demanda, utilizada por Colombia Compra Eficiente (Portal SECOP), a través del cual se conforma un catálogo de proveedores que ofrezcan los artículos con características técnicas uniformes y de común utilización, de los cuales se podrá escoger uno o varios siguiendo un criterio definido, según la necesidad de la entidad compradora, como por ejemplo: mínimo precio, precio promedio u otro que se pueda definir según la conveniencia del proyecto. A ese catálogo de proveedores se le realizó una encuesta de mercado, de donde se obtuvieron los valores comerciales referentes analizados de una muestra representativa.

Con esos valores definidos, se proyectaron con actualización contable, utilizando el método de depreciación de línea recta, para lo cual, se relaciona el valor de cada activo según su especie, con su vida útil estimada; los valores obtenidos tienen un carácter decreciente, es decir disminuyen periódicamente con respecto al valor inicial del bien mueble.

7.2.17 Valoración económica de cultivos.

La caracterización del tipo de cultivos más probables de encontrar en la zona rural de los municipios de Pueblo Nuevo y Buenavista está constituida por los siguientes elementos de producción agrícola: maíz, arroz, yuca, plátano, patilla, ahuyama, ñame; así como también frutales de coco, mango y guayaba.

Según los *estudios de Impactos Económicos del Cambio Climático* en Colombia, con algunas especificaciones para el departamento de Córdoba (DNP, BID, IDEAM, CEPAL, 2014), pero esencialmente la información consignada en el estudio del *Plan Agropecuario Municipal de Buenavista 2020-2023*, así como el censo de campo realizado por el consorcio, los principales sistemas de productividad agrícola encontrados en la zona del estudio son maíz, arroz, yuca, plátano, patilla, ahuyama, ñame y palma africana, ocupando 1335 has aproximadamente para la zona (ver anexo 6).

Para realizar el cálculo de la estimación del valor de los cultivos, se consideraron variables como: Precio promedio por kilogramo de los productos agrícolas a cultivar que reportaron las encuestas entre los parceleros, el área asignada a cada parcela, la distribución por cultivos del área parcelada.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

La metodología de estimación utilizada fue la de promedio ponderado, en la cual, se tomó el área de cada cultivo expresada en kilogramos de producción según su rendimiento estimado (según los estándares manejados por el ministerio de agricultura en sus informes periódicos (EVA Agrícola_SIPRA de su portal Agronet) multiplicándolo por el precio promedio por kilogramo (estimado con los precios de los 7 principales centros de acopio del país, para los últimos doce meses, marzo 2022- marzo 2023). Posteriormente se realizó sumatoria de las ponderaciones para totalizar el posible valor de la cosecha por cada parcela. Este valor es susceptible de proyección hacia futuro con proceso de indexación.

7.2.18 Pérdidas económicas según porcentaje de daño esperado

Para cada intensidad de inundación se obtiene el grado o valor de daño registrado tanto para los bienes muebles como para los elementos estructurales (viviendas), y esta unidad de daño económico directo se asignó a cada una de las viviendas expuestas a esa intensidad de inundación. Finalmente, para cada vivienda la pérdida económica total para cada período de retorno se calcula integrando las pérdidas por bienes muebles y por estructura.

7.2.19 Pérdidas económicas por daños a bienes muebles.

A partir de los resultados de inundación para cada período de retorno, se pudo establecer según la metodología, el grado o porcentaje de daño para los bienes muebles.

Tabla 18 Daños bienes muebles

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [cms]	Valor o Grado Daños Bienes Muebles [%]	
10, 50, 100	[0,4]	0%	$ -
	[4,8]	13%	$ 2.190.201
	[8,18]	25%	$ 4.211.925
	[19,32]	75%	$ 12.635.775
	[33,43]	88%	$ 14.825.976
	[>43]	100%	$ 16.847.700

Fuente: Consorcio Caño Arcial

En la tabla 18, se muestran las pérdidas económicas por daño a bienes muebles para los períodos de retorno contemplados en el estudio.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

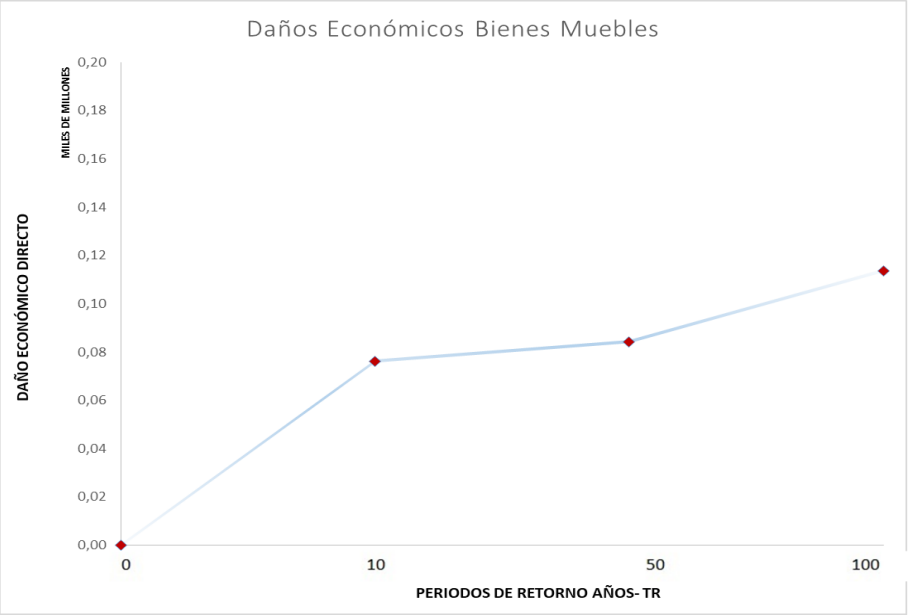


Figura 93 Pérdidas económicas directas para bienes muebles o contenidos más probables de encontrar
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.2.20 Pérdidas económicas por daños a la estructura de la vivienda.

Según las características las características arquitectónicas y estructurales del tipo de casa y su ubicación, utilizando las curvas profundidad- daño, se obtiene el grado de daño para cada tipo de elemento estructural en cada predio, según el período de retorno. Una vez obtenidos los daños se calculan las pérdidas económicas. En la siguiente tabla se ilustran como ejemplo las pérdidas económicas para cada período de retorno tr.

Tabla 19 Daños elementos estructurales tipo muro ladrillo

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [cms]	Grado Daños Tangible Muros [%]	
10, 50, 100	[0]	0	$ -
	[25,50]	0,025	$ 1.000.395
	[50,75]	0,05	$ 2.000.790
	[75,100]	0,10	$ 4.001.580
	[100,125]	0,20	$ 8.003.161
	[125,150]	0,30	$ 12.004.741
	[150,180]	0,40	$ 16.006.322
	[180,200]	0,45	$ 18.007.112

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 20 Daños elementos estructurales tipo puerta metálica

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [cms]	Grado Daños Tangible Puertas Metálicas [%]	
10, 50, 100	[0]	0	$ -
	[1,66]	0,012	$ 79.840
	[66,100]	0,025	$ 166.333
	[100,116]	0,050	$ 332.667
	[116,150]	0,100	$ 665.333
	[150,166]	0,125	$ 831.666

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 21 Daños elementos estructurales tipo piso esmaltado

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [cms]	Grado Daños Tangible Pisos [%]	
10, 50, 100	[0]	0	$ -
	[2]	0,18	$ 1.571.307

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 22 Daños elementos estructurales tipo Ventana metálica

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [cms]	Grado Daños Tangible Ventanas [%]	
10, 50, 100	[0]	0	$ -
	[110,166]	0,012	$ 53.377
	[166,200]	0,025	$ 111.203
	[210]	0,050	$ 222.406

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

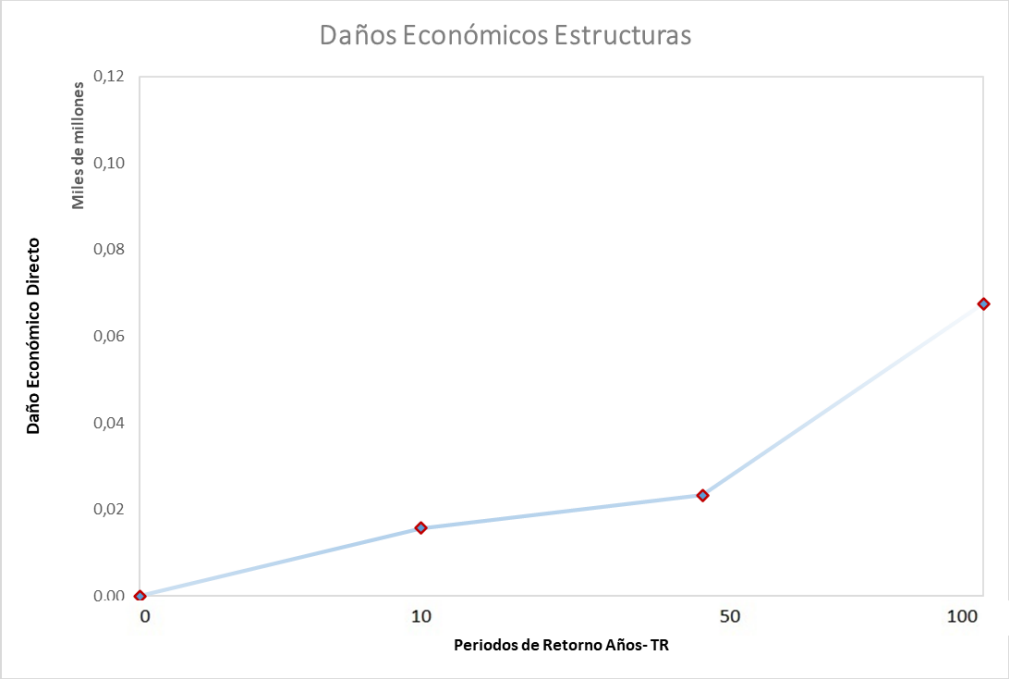


Figura 94 Pérdidas económicas directas para infraestructura de vivienda tipo
Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.2.21 Pérdidas económicas por daños en cultivos.

Como inicialmente se explicó en la aplicación de la metodología, las pérdidas económicas para los cultivos fueron calculadas en función la variable que ocasiona el daño directo de este tipo de elementos (la variable detonante del daño principal), para este caso de dos tipos: la relación profundidad (m) - velocidad (m/s) para el caso de cultivos como arroz, maíz, patilla y yuca, y la relación profundidad (m) – velocidad (m/s) – tiempo de exposición (días) para el caso de cultivos como el plátano. Se presenta a continuación los valores de pérdidas económicas según la variable que interviene en los cultivos, para cada período de retorno tr.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 23 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de arroz fase 1.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Arroz Fase 1	
10, 50, 100	[≤0]	0,00	$ -
	[0,0013]	0,01	$ 4.330,71
	[0,003]	0,06	$ 25.984,26
	[0,0042]	0,11	$ 47.637,80
	[0,0058]	0,20	$ 86.614,19
	[0,0071]	0,30	$ 129.921,28
	[0,0093]	0,49	$ 212.204,75
	[0,011]	0,61	$ 264.173,26
	[0,013]	0,81	$ 350.787,45
	[0,015]	1,00	$ 433.070,93

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 24 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de arroz fase 2.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Arroz Fase 2	
10, 50, 100	[≤0]	0,00	$ -
	[0,0066]	0,01	$ 4.330,71
	[0,015]	0,05	$ 21.653,55
	[0,022]	0,11	$ 47.637,80
	[0,03]	0,20	$ 86.614,19
	[0,036]	0,29	$ 125.590,57
	[0,043]	0,39	$ 168.897,66
	[0,049]	0,51	$ 220.866,17
	[0,055]	0,62	$ 268.503,97
	[0,059]	0,69	$ 298.818,94
	[0,065]	0,81	$ 350.787,45
	[0,072]	0,93	$ 402.755,96
	[0,076]	1,00	$ 433.070,93

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 25 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de maíz fase 1.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Maiz Fase 1	
10, 50, 100	[≤0]	0,00	$ -
	[0,032]	0,01	$ 1.592,40
	[0,046]	0,02	$ 3.184,80
	[0,074]	0,05	$ 7.962,00
	[0,1]	0,10	$ 15.924,00
	[0,15]	0,20	$ 31.848,00
	[0,18]	0,30	$ 47.772,00
	[0,22]	0,41	$ 65.288,39
	[0,25]	0,50	$ 79.619,99
	[0,28]	0,60	$ 95.543,99
	[0,31]	0,70	$ 111.467,99
	[0,35]	0,80	$ 127.391,99
	[0,38]	0,90	$ 143.315,99
	[0,43]	1,00	$ 159.239,99

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 26 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de maíz fase 2.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Maiz Fase 2	
10, 50, 100	[≤0]	0,00	$ -
	[0,07]	0,01	$ 1.592,40
	[0,16]	0,05	$ 7.962,00
	[0,23]	0,10	$ 15.924,00
	[0,32]	0,20	$ 31.848,00
	[0,40]	0,30	$ 47.772,00
	[0,46]	0,40	$ 63.695,99
	[0,53]	0,51	$ 81.212,39
	[0,58]	0,60	$ 95.543,99
	[0,64]	0,70	$ 111.467,99
	[0,7]	0,80	$ 127.391,99
	[0,76]	0,91	$ 144.908,39
	[0,82]	1	$ 159.239,99

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 27 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de yuca fase 1.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Yuca Fase 1	
10, 50, 100	[≤0]	0,00	$ -
	[0,14]	0,01	$ 12.384,09
	[0,31]	0,05	$ 61.920,45
	[0,45]	0,10	$ 123.840,90
	[0,64]	0,20	$ 247.681,81
	[0,93]	0,41	$ 507.747,71
	[1,16]	0,60	$ 743.045,43
	[1,39]	0,80	$ 990.727,23
	[1,63]	1,00	$ 1.238.409,04

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 28 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de yuca fase 2.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Yuca Fase 2	
10, 50, 100	[≤0]	0,00	$ -
	[0,26]	0,01	$ 12.384,09
	[1,17]	0,05	$ 61.920,45
	[1,69]	0,10	$ 123.840,90
	[2,48]	0,20	$ 247.681,81
	[3,1]	0,41	$ 507.747,71
	[3,28]	0,65	$ 804.965,88

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 29 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 1- menos de 1 día.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Plátano fase 1_menos de 24 horas	
10, 50, 100	[≤0]	0,0	$ -
	[0,2]	0,5	$ 216.578,20
	[0,5]	0,9	$ 389.840,77
	[0,6]	1	$ 433.156,41

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 30 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 1- día 1.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Plátano fase 1_ día 1	
10, 50, 100	[≤0]	0,0	$ -
	[0,1]	0,4	$ 173.262,56
	[0,2]	0,9	$ 389.840,77
	[0,4]	1	$ 433.156,41

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 31 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 1- día 2.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Área
	Rangos profundidades de inundación [m]. Velocidad [m/s].	Valor o grado de daño Cultivos	
		Platano fase 1_ 2 día	
10	[0]	0	$ -
	[0,1]	0.5	$ 216,578
	[0.2]	1	$ 433,156

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 32 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- menos de 1 día.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Plátano fase 2_ menos de 24 horas	
10, 50, 100	[≤0]	0,0	$ -
	[0,2]	0,4	$ 173.262,56
	[0,35]	0,5	$ 216.578,20
	[0,4]	0,6	$ 259.893,84
	[0,42]	0,7	$ 303.209,48
	[0,8]	0,8	$ 346.525,13
	[1]	0,9	$ 389.840,77
	[1,2]	1	$ 433.156,41

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 33 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- día 1.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Plátano fase 2_ dia 1	
10, 50, 100	[≤0]	0,0	$ -
	[0,2]	0,32	$ 138.610,05
	[0,35]	0,6	$ 259.893,84
	[0,4]	0,8	$ 346.525,13
	[0,42]	1	$ 433.156,41

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 34 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- día 2.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Plátano fase 2_ dia 2	
10, 50, 100	[≤0]	0,0	$ -
	[0,2]	0,40	$ 173.262,56
	[0,35]	0,7	$ 303.209,48
	[0,4]	0,9	$ 389.840,77
	[0,42]	1	$ 433.156,41

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 35 Rangos de daños y pérdidas en cultivos de plátano fase 2- día 4.

Tr	Amenaza	Vulnerabilidad	Pérdidas Económicas Directas por Unidad de Area
	Rangos Profundidad Inundación [m]. Velocidades [m/s]	Valor o Grado Daños Cultivos	
		Plátano fase 2_ dia 2	
10, 50, 100	[≤0]	0,0	$ -
	[0,2]	1	$ 433.156,41

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.2.22 Clasificación Normativa de Vulnerabilidad.

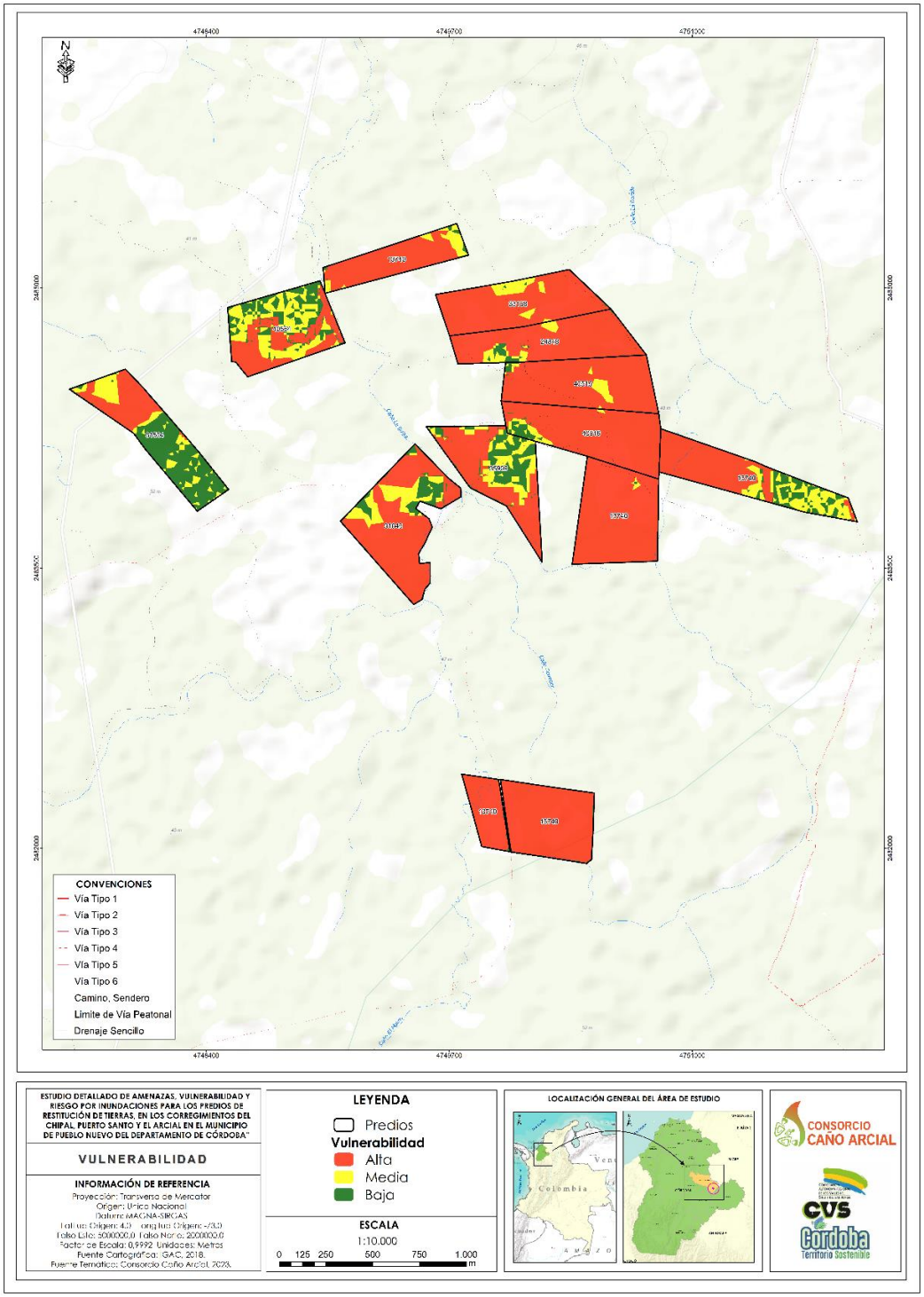


Figura 95 Zonificación de vulnerabilidad por inundación (sin medidas de intervención)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3 ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIONES (SIN MEDIDAS DE INTERVENCIÓN O SITUACIÓN ACTUAL).

Como se mencionó en la metodología aplicada a este caso de estudio, el análisis de riesgo se fundamenta en las tesis de Salazar (2013) y Cardona (2016), quienes emplearon los conceptos de Hashimoto (1982) y DVK (1985) para determinar las pérdidas económicas por las inundaciones. El riesgo primeramente se expresa como la pérdida económica anual esperada; a partir de las pérdidas económicas estimadas para cada período de retomo, se obtiene la pérdida económica esperada anual para cada período de retorno, relacionándolas con la probabilidad de ocurrencia de la amenaza (1/Tr). Y también se logra expresarlo cualitativamente (puesto que así lo exige la norma decreto 1077 del 2015) en rangos de alto, medio o bajo, según la misma probabilidad de ocurrencia.

Tal como se calculó la vulnerabilidad por escenarios, así mismo, se modeló el riesgo y se computarizaron las pérdidas económicas esperadas, estas pérdidas económicas se calcularon y se expresan considerando los escenarios más probables de presentar: un escenario en donde todas las parcelas tengan el 100% de su terreno en aprovechamiento para policultivo o cultivos misceláneos, y un escenario donde las parcelas solo tengan su producción en la zona y la cantidad de área señalada por las comunidades.

Primero se ilustran La pérdida económica anual esperada para el escenario de aprovechamiento total de todas las parcelas en el esquema de policultivo, se estimó en los resultados completos, se presentan en la tabla xx. Donde se expresa una pérdida económica esperada anual de $ 8.601.628.318

Tabla 36. Cálculos de la pérdida económica anual esperada

Períodos de Retorno	DAÑOS ECONÓMICOS DIRECTOS							RIESGO ANUAL ESPERADO			
	Valores Elementos Expuestos Edificación	Valores Elementos Expuestos Contenidos	Valores Elementos Expuestos Cultivos				Daños Económicos Totales	Probabilidad de Ocurrencia	Dp	Δp	Perdidas Económicas Anual Esperada
			Arroz	Maiz	Yuca	Plátano					
1	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	1			
10	$ 15.660.714	$ 76.151.604	$ 4.429.235.826	$ 484.559.045	$ 1.500.290.383	$ 9.267.978.984	**$ 15.773.876.557**	0,1	$ 7.886.938.278	0,900	$ 7.098.244.451
50	$ 23.308.970	$ 84.238.500	$ 5.092.046.660	$ 522.153.698	$ 1.637.548.201	$ 10.067.390.017	**$ 17.426.686.046**	0,020	$ 16.600.281.301	0,080	$ 1.328.022.504
100	$ 67.559.596	$ 113.721.975	$ 5.130.383.402	$ 545.399.602	$ 1.651.827.057	$ 10.136.694.991	**$ 17.645.586.622**	0,010	$ 17.536.136.334	0,010	$ 175.361.363
										Total Pérdida economica Anual Esperada	$ 8.601.628.318

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

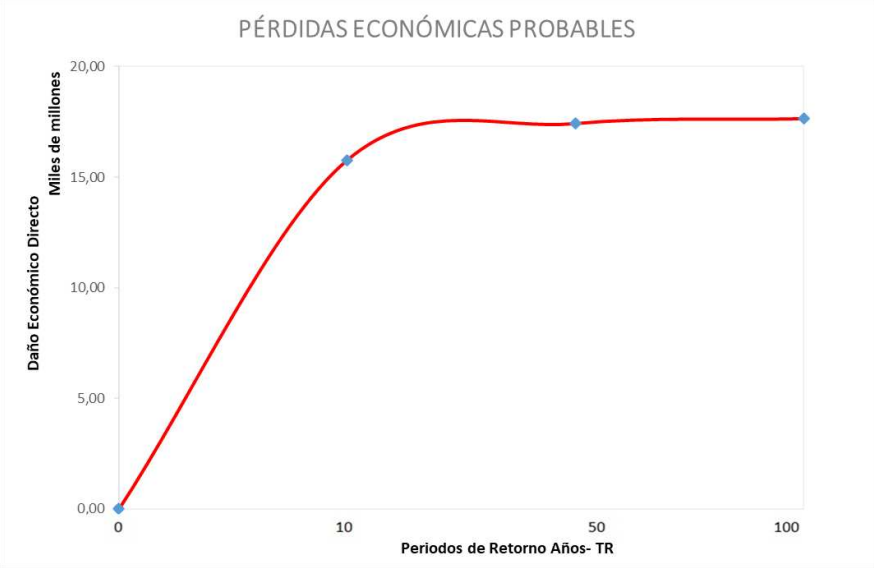


Figura 96. Pérdidas económicas probables
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Las pérdidas económicas esperadas anuales, para el escenario de aprovechamiento productivo de las parcelas en policultivos, según la cantidad de área y la ubicación seleccionada por las comunidades. Para este escenario se estimó una pérdida económica esperada anual de $ 587.992.741 y, se muestran asi:

Tabla 37. Cálculos de la pérdida económica anual esperada propuesto por las comunidades

Períodos de Retorno	DAÑOS ECONÓMICOS DIRECTOS							RIESGO ANUAL ESPERADO			
	Valores Elementos Expuestos Edificación	Valores Elementos Expuestos Contenidos	Valores Elementos Expuestos Cultivos				Daños Económicos Totales	Probabilidad de Ocurrencia	Dp	Δp	Perdidas Económicas Anual Esperada
			Arroz	Maiz	Yuca	Plátano					
1	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	$ -	1			
10	$ 15.660.714	$ 76.151.604	$ 496.533.225	$ 40.845.060	$ 95.550.684	$ 337.926.651	**$ 1.062.667.939**	0,1	$ 531.333.970	0,900	$ 478.200.573
50	$ 23.308.970	$ 84.238.500	$ 534.706.268	$ 51.793.129	$ 97.400.867	$ 407.664.766	**$ 1.199.112.500**	0,020	$ 1.130.890.219	0,080	$ 90.471.218
100	$ 67.559.596	$ 113.721.975	$ 584.874.512	$ 70.231.975	$ 101.834.371	$ 542.376.280	**$ 1.480.598.709**	0,010	$ 1.339.855.604	0,010	$ 13.398.556
									Total Pérdida economica Anual Esperada		$ 587.992.741

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Se ilustran las pérdidas económicas anuales esperadas, y esto es el resultado de la integración de los costos económicos ocasionados en infraestructura de vivienda, contenidos y cultivos para la unidad representativa del estudio (cada predio se subdividió en una grilla de 282 m2).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

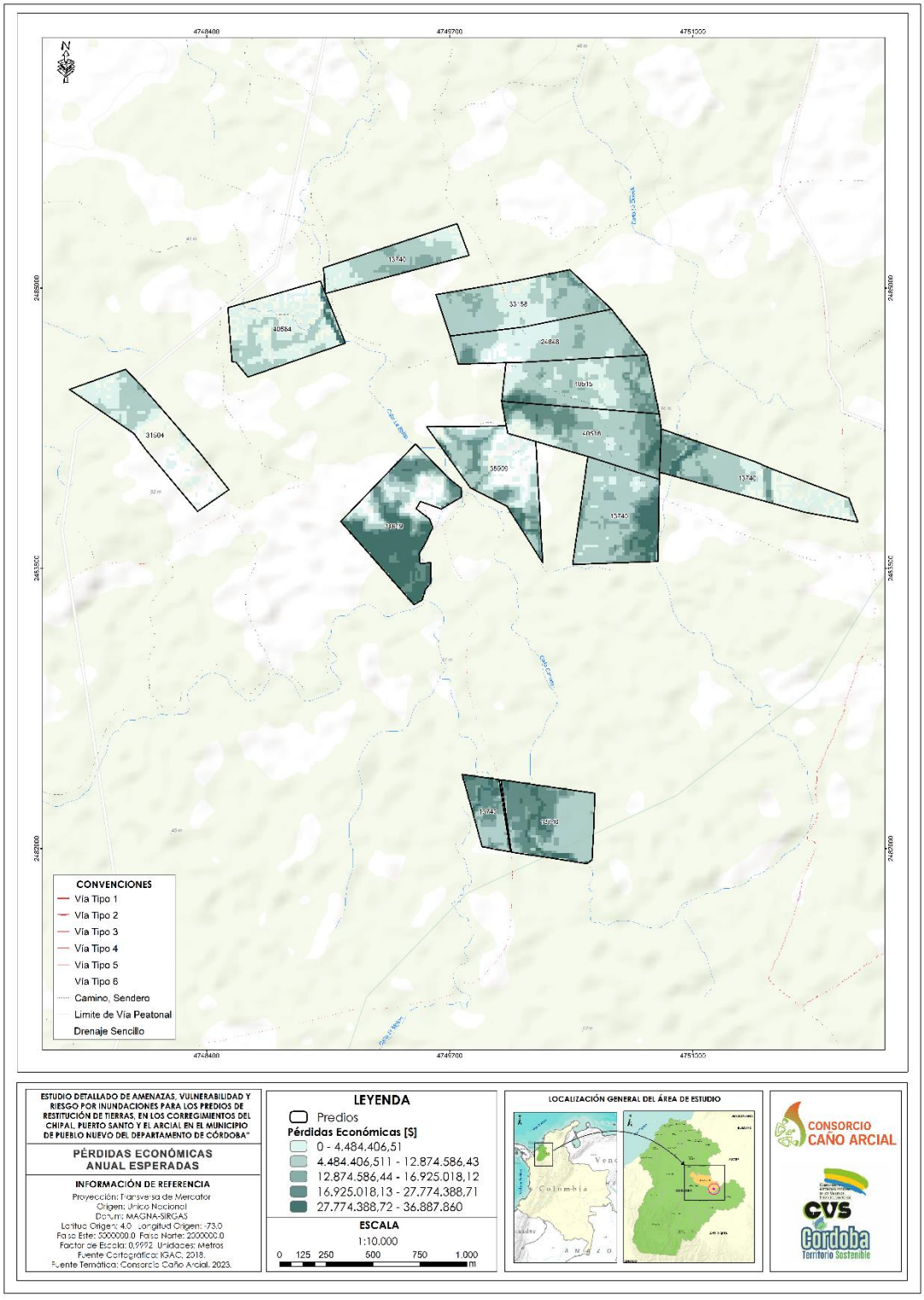


Figura 97 Mapa de pérdidas económicas esperadas anualmente
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3.1 Representación cartográfica de las pérdidas económicas por períodos de retorno.

A Continuación, también se presentan las pérdidas económicas totales por cada período de retorno del estudio, estas pérdidas económicas integran los costos globales de los daños para todos los tipos de elementos expuestos del estudio: infraestructura de vivienda, contenido y cultivos)

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

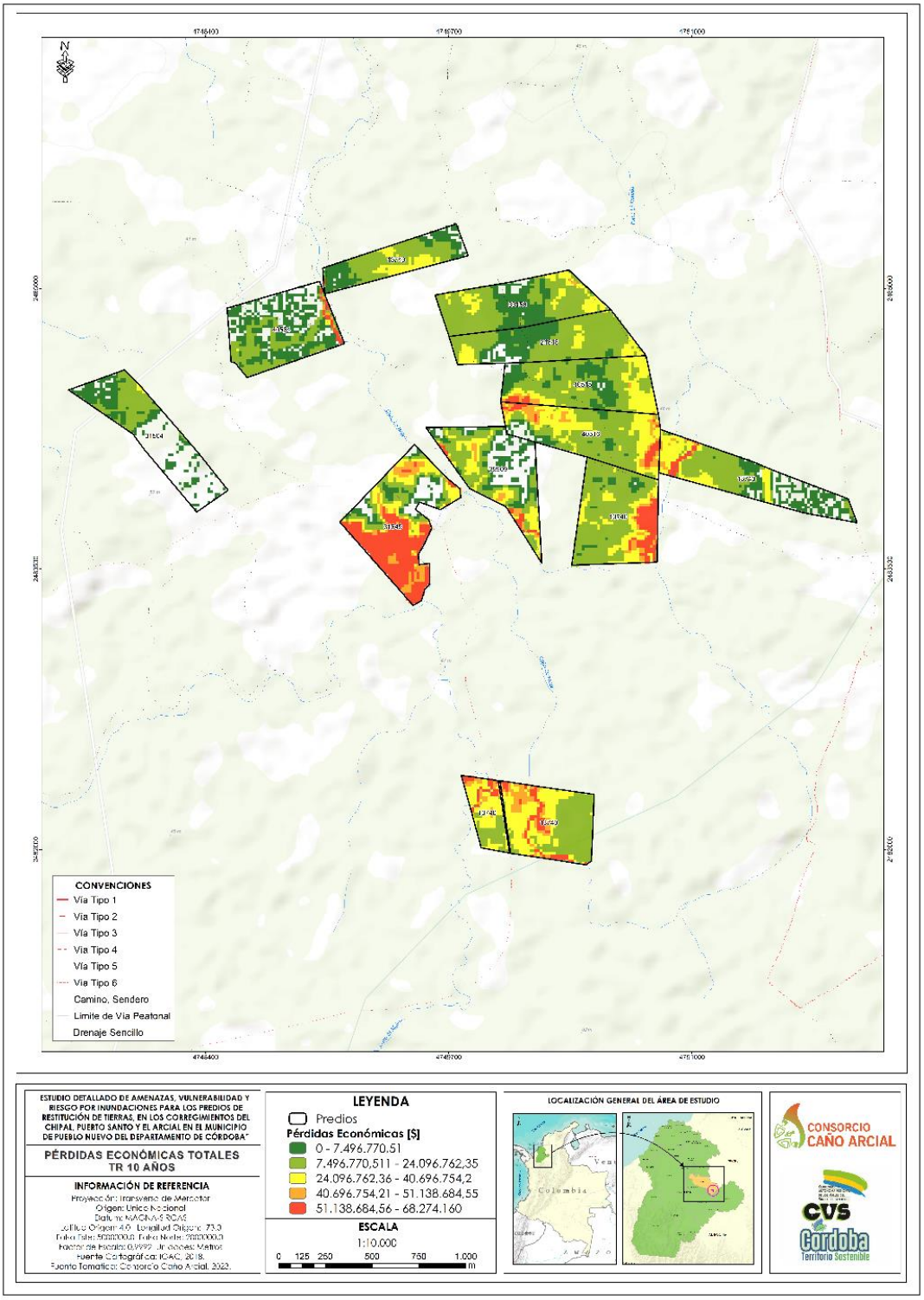


Figura 98 Pérdidas económicas totales tr 10 años.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

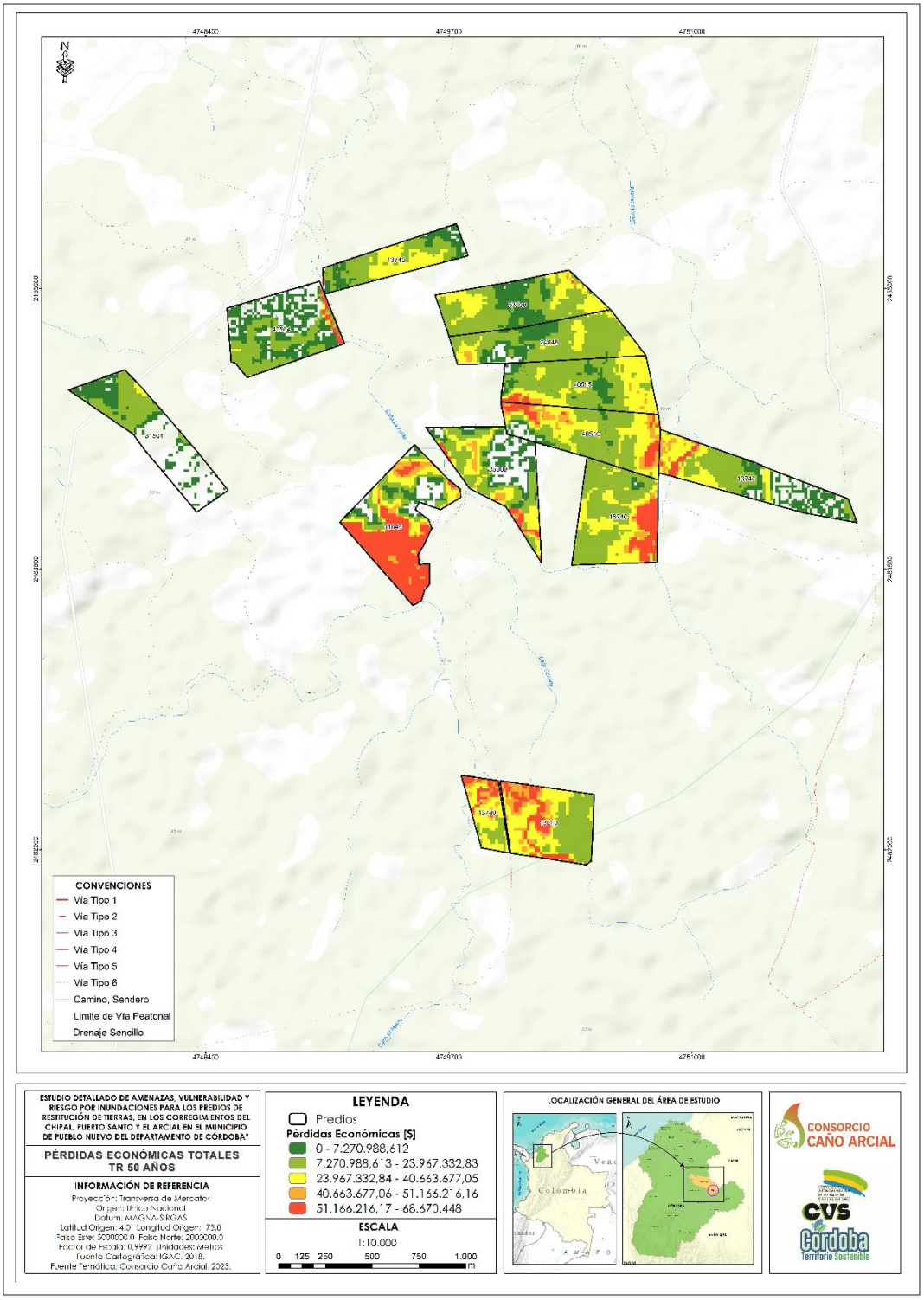


Figura 99 Pérdidas económicas totales tr 50 años.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

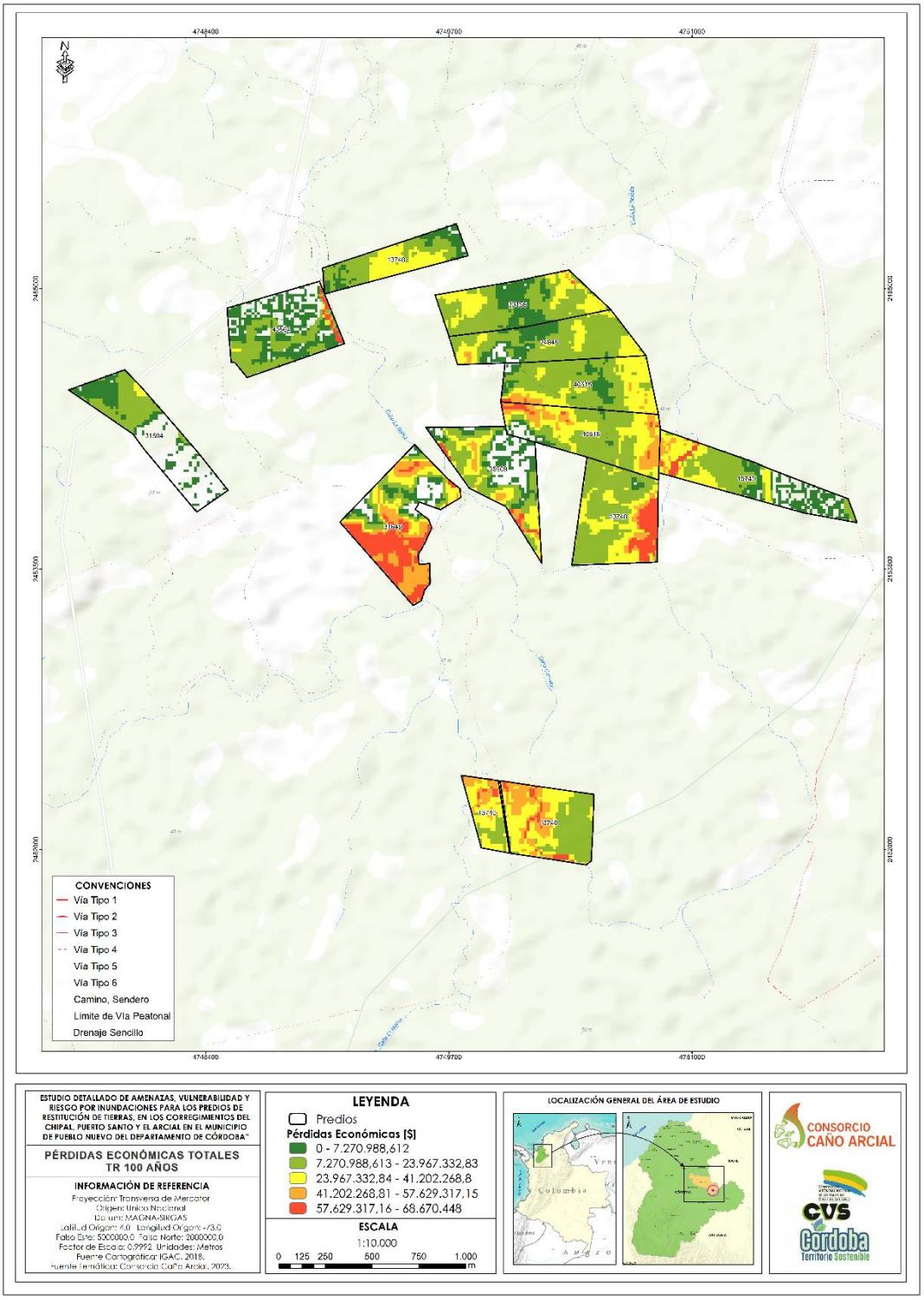


Figura 100 Pérdidas económicas totales tr 100 años.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3.2 Mapa de Riesgo

Para representar geográficamente (especializar) las pérdidas económicas esperadas y el riesgo fue necesaria la construcción de un modelo cartográfico con la utilización de un software SIG, donde se integra la intensidad de inundación, los daños calculados y la caracterización económica, y se expresan las pérdidas cuantitativamente para cada período de retorno y su probabilidad de ocurrencia.

También se expresa el riesgo cualitativamente en un mapa, asignando rangos de alto, medio o bajo, según la probabilidad de ocurrencia para el cumplimiento normativo (decreto 1077 del 2015).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

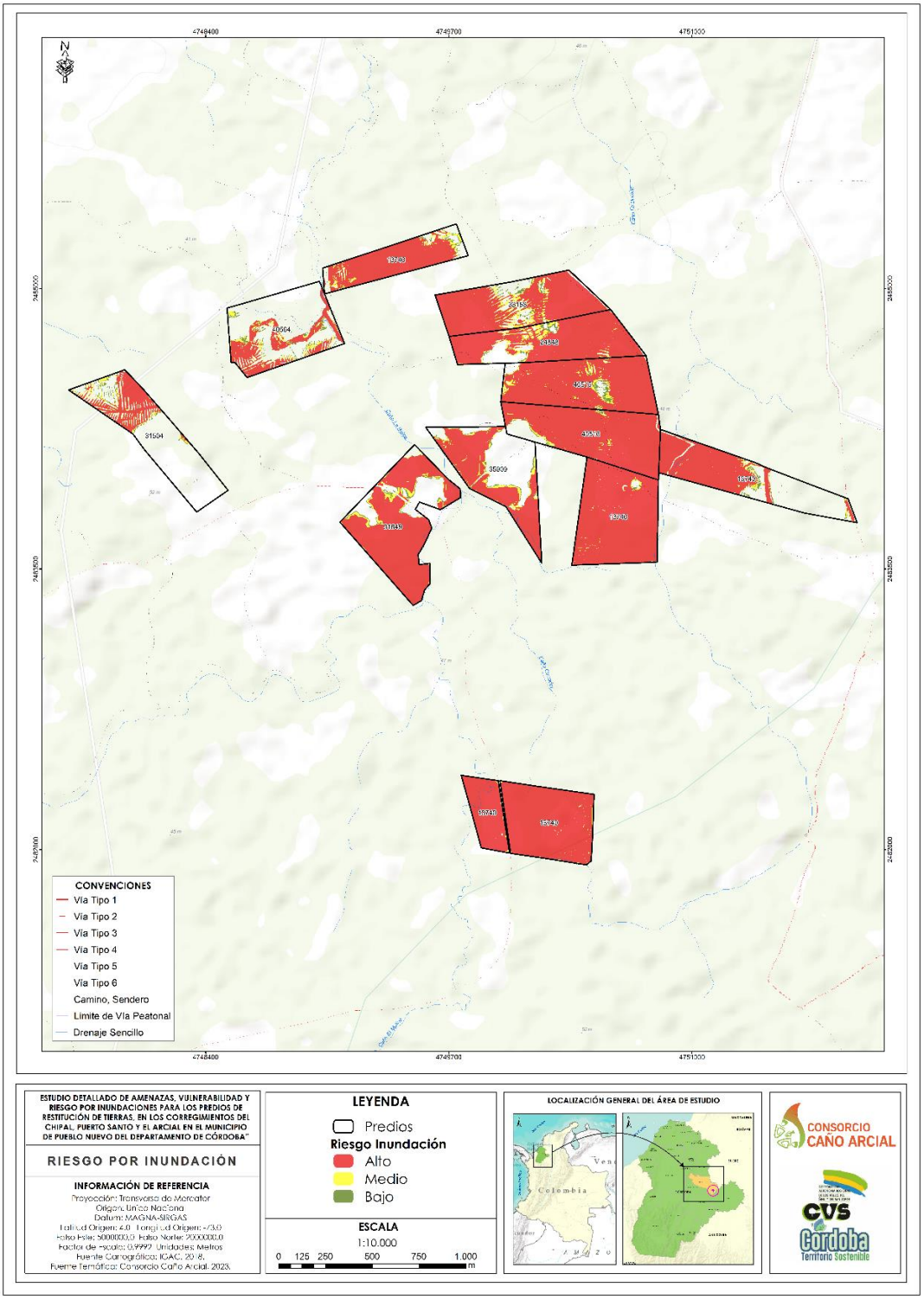


Figura 101 Zonificación de riesgo por inundación (sin medidas de intervención)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3.3 Evaluación del riesgo con medidas de intervención

Para evaluar las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del área de estudio, primeramente, se analizaron las diferentes alternativas y variables técnicas disponibles como una solución a la problemática; de ese diagnóstico de alternativas se seleccionaron las que se consideran posibles según criterios financieros (costos), técnicos (de diseño y construcción) y sociales (incidencia o impacto en las comunidades). Esas alternativas fueron evaluadas nuevamente, sometiéndolas al análisis hidráulico, para determinar su capacidad de disminuir la magnitud e intensidad de las inundaciones, y sistemáticamente mejorar (o disminuir como se prefiera) la vulnerabilidad para mitigar el riesgo en la zona de estudio. aunque se hace la salvedad de que el hecho que se consideren posibles de realizar no lleva implícito que sean viables.

En este capítulo se proponen alternativas técnicas de mitigación contra inundaciones para los cuatro predios objeto de estudio. Estas alternativas de mitigación fueron planteadas principalmente considerando los resultados del análisis de riesgo de inundación consignados en los capítulos anteriores y, a partir del estudio de la definición del acotamiento de ronda hídrica de la Ciénaga Arcial. Cabe resaltar que las alternativas propuestas, deben seguir los lineamientos del estudio de la definición del acotamiento de ronda hídrica de la Ciénaga Arcial (CONSORCIO CAÑO ARCIAL, 2023), donde se establecen su estructura ecosistema, que indica que los predios de estudio se encuentran dentro de las categorías de protección, restauración y uso sostenible.

En la Figura 96 muestra su distribución en las áreas de interés. donde se puede observar que el predio PARCELA #4 TORONTO tiene el 0,95% (0,23 Has) de su área dentro de la zonificación de protección/conservación y uso sostenible. Por tal motivo, sus usos o medidas de manejo para obras de ingeniería no están autorizadas dentro de esta zona, por lo que se requiere de la aprobación de las autoridades ambientales.

De esta manera, se proponen dos alternativas de mitigación que se establecen de forma integral, debido que la construcción de forma aislada de cada una de las estructuras propuestas puede generar un mayor impacto en el sistema.

A continuación, se describe cada una de las alternativas y se realiza la evaluación hidráulica para un periodo de retorno de 100 años. Esto, a fin de establecer las áreas susceptibles de inundación y consecuentemente prevenir futuras inundaciones en los predios de análisis.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609
WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

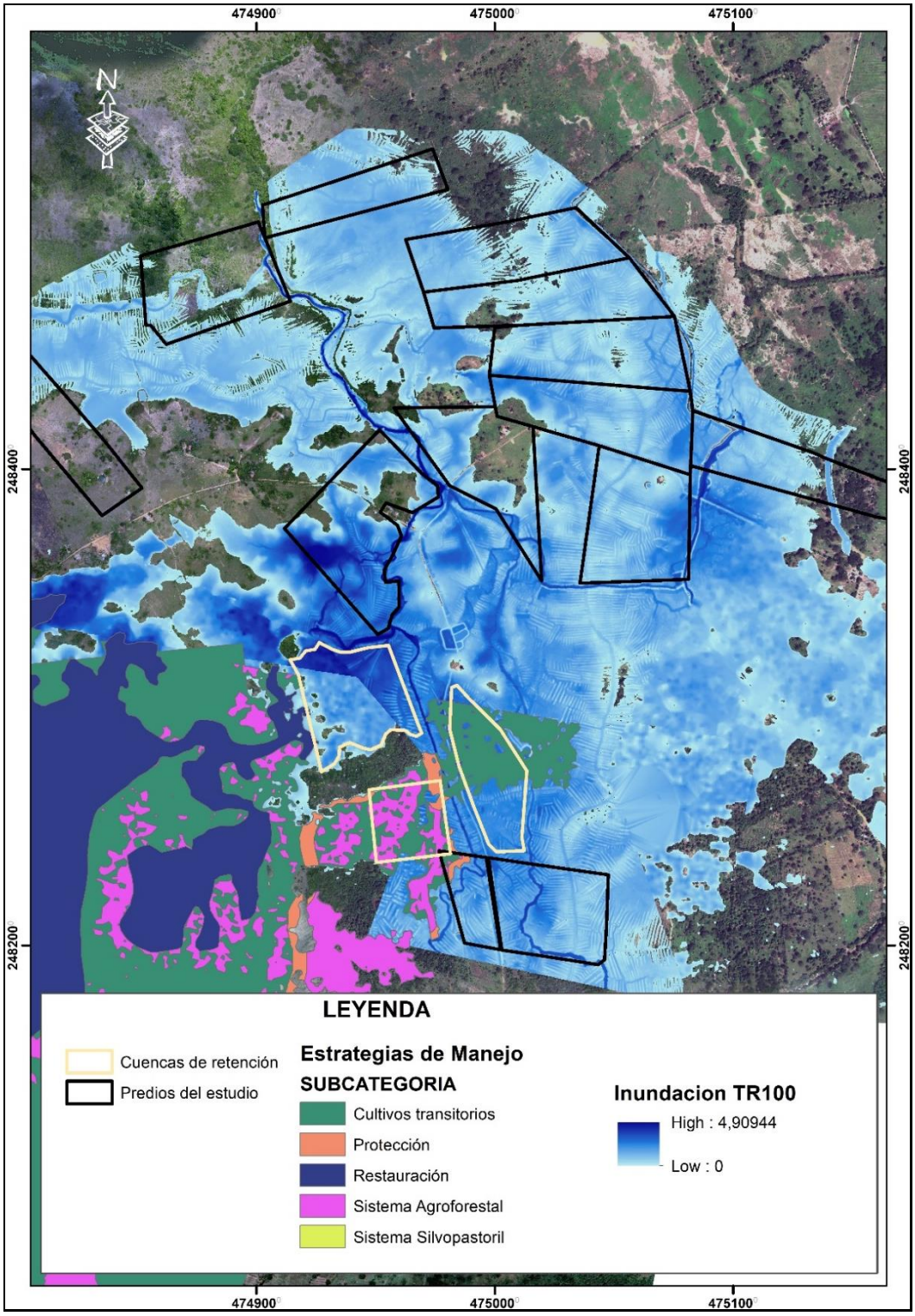


Figura 102 Zonificación de la ronda hídrica para los predios de estudio
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3.4 Propuestas y evaluación de Alternativa de mitigación

Antes de proponer cualquier medida de mitigación, es de extrema importancia saber que la mayor parte del área de los predios está dentro de un ecosistema cenagoso, con su dinámica ecosistémica propia que no puede ser intervenida. Esto quiere decir que desde un punto de vista técnico se recomienda medidas de adaptación por encima de las medidas estructurales propuestas en este capítulo.

A continuación, se propone una alternativa estructural de mitigación contra inundaciones cuyo objetivo primordial **no** es eliminar la inundación sino reducir la amenaza de inundación por medio de la disminución de la lámina de agua, de las velocidades del flujo y (en lo posible) de la extensión de la inundación. Estas alternativas de mitigación fueron planteadas principalmente considerando los resultados de inundación consignados en los capítulos anteriores. Además, se consideraron criterios económicos (costos), técnicos (diseños y construcción) y sociales (impacto en las comunidades).

La medida de intervención es evaluada para un evento con periodo de retorno de 100 años. Esto, a fin de establecer las áreas susceptibles de inundación y consecuentemente prevenir futuras inundaciones con una margen amplia de seguridad en los predios analizados. La alternativa de mitigación incorpora dos tipos de estructuras: (1) ampliación/reconformación del canal principal y (2) cuencas de retención excavadas (Figura 102). En la Tabla 36 se describen las estructuras propuestas cuya distribución espacial se presenta en la Figura 102.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

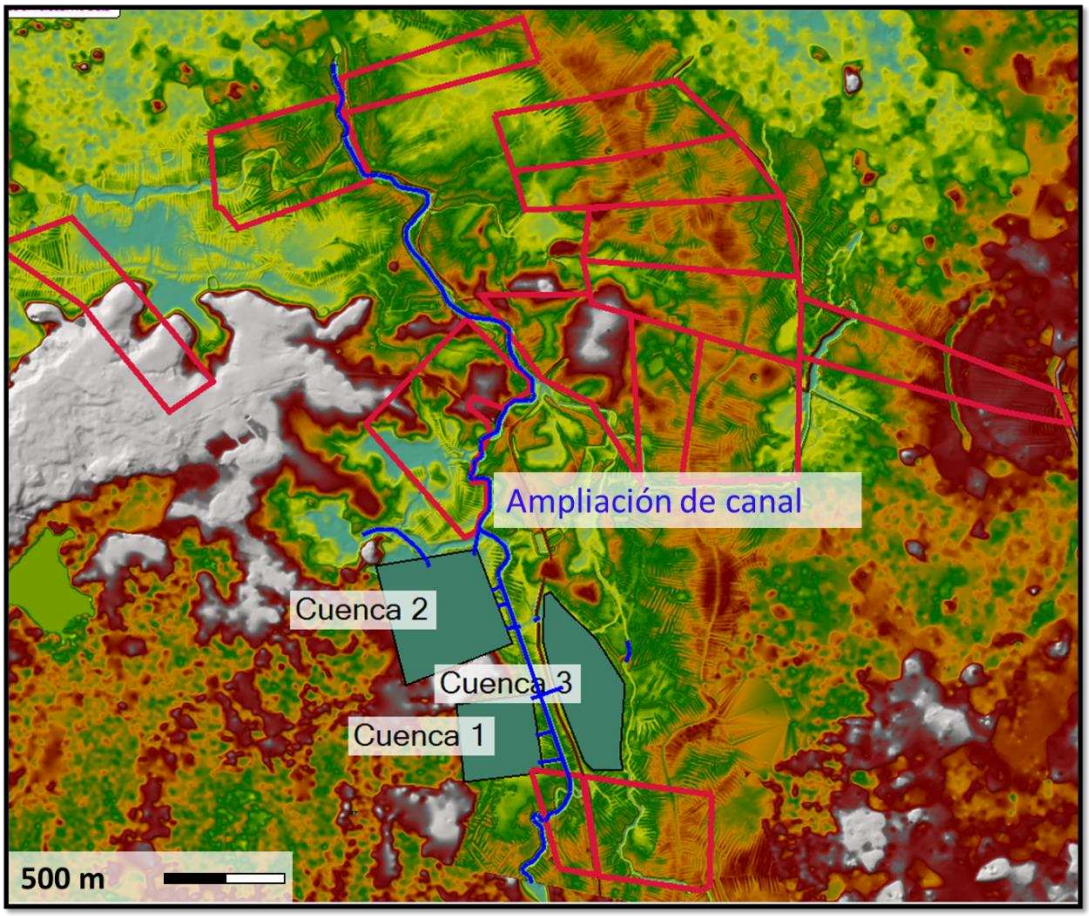


Figura 103. Localización de las medidas de mitigación para la alternativa 1
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 38. Características de las estructuras propuestas para alternativa de mitigación A1.

Medida de mitigación	Longitud (km)	Ancho (m)	Volumen (x 1000 m3)
Cuenca 1	305	310	128.4
Cuenca 2	420	395	233.4
Cuenca 3	680	200	128.5
Ampliación canal	4278	10	173.2

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3.5 Ampliación y reconformación de canal principal

Esta medida busca evacuar lo más rápido posible el caudal al inicio de los eventos, puesto que, para instantes avanzados de la inundación, el canal transborda y el flujo dominante es el flujo lateral al eje del canal. Para reducir el flujo lateral, se proponen tres cuencas de retención a los lados del canal, para almacenar agua de las crecidas amortiguando el pico de caudal.

Se propone reconformar el canal principal para una forma transversal trapezoidal más amplia a la original. Para esto, se proyecta un canal trapezoidal de base de 10 m, longitud 4278 m y una pendiente promedio de 0.0005 m/m. La Figura 104 a continuación muestra los perfiles transversal y longitudinal propuestos y los originales.

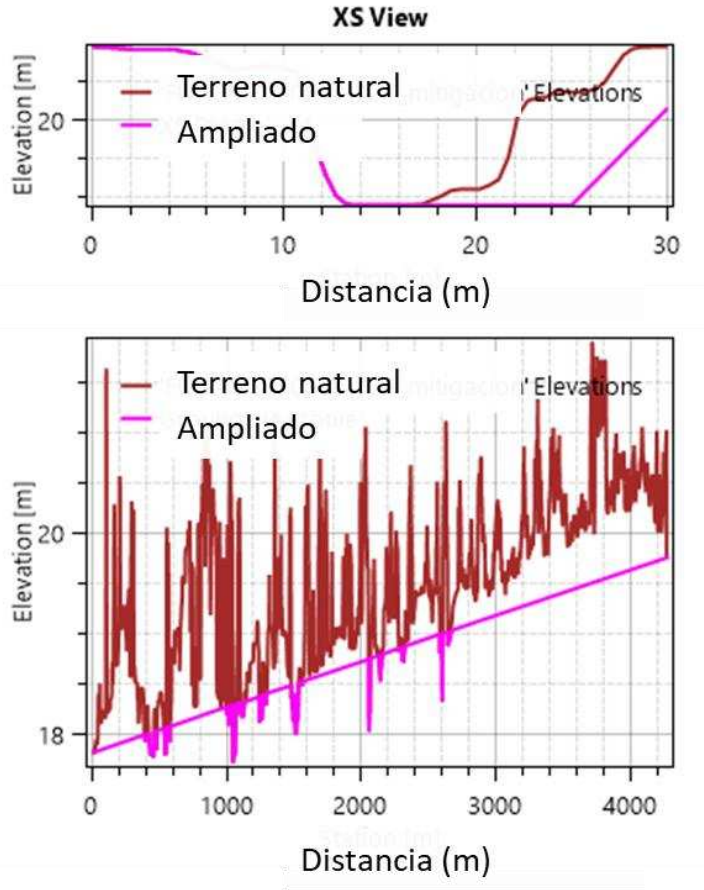


Figura 104. Perfil transversal y longitudinal de canal principal en condición actual y proyectado.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.3.6 Cuencas de retención para amortiguar crecidas

Se proyectan tres cuencas de retención que, en la práctica, son piscinas con un gran volumen que permiten almacenar cierta cantidad de agua del hidrograma antes de desbordar. Este efecto de amortiguamiento es el mismo que tiene una ciénaga natural, por lo que las cuencas de retención pueden ser vistas en este caso como una ampliación del volumen de ciertas zonas cenagosas a los costados del canal principal.

Debido a que la entrada difusa de ciénaga Arcial en el área del proyecto está marcada por una dirección transversal al eje del canal principal, las cuencas de retención tienen también el papel de reducir el flujo lateral.

Propuesta complementaria a la alternativa de mitigación: Viviendas palafíticas

Para el planteamiento de una solución de vivienda palafítica en se toma los criterios plasmados en el documento del Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas DNP el cual es “19 Lineamientos Públicas Lineamientos para la Construcción de Vivienda Palafíticas Versión 1.0”.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

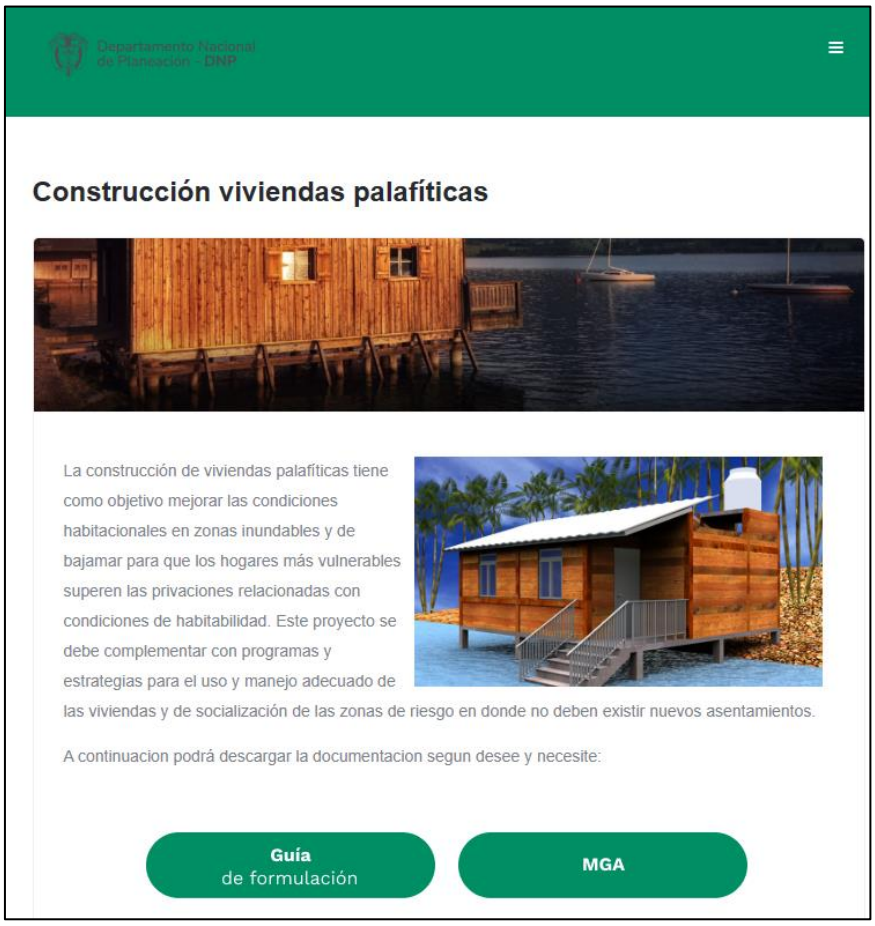


Figura 105. VIVIENDA PALAFÍTICA TIPO
Fuente: (DNP, 2016)

En este documento se plasman todas las Condiciones a cumplir para implementar el proyecto las cuales se resumen en:

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 1. Criterios para la construcción de una vivienda palafítica

Aspecto	Descripción	Requisito
Lote	Área mínima (m2)	80 m ²
	Dimensiones mínimas	10 x 8 m
Población	Número de habitantes (máximo)	6 personas
Condiciones geográficas	Desnivel del terreno (máximo)	1,0 m
	Nivel crecida del cuerpo de agua (máximo)	2,0 m sobre el nivel del terreno natural
Suelo	Tipo de suelo (NSR-10)*	C (2)
	Mínima capacidad portante	Menor a 10 ton/m²
	Asentamiento máximo	3 cm
Ubicación	Tipo zona	Zonas inundables, a 30m de las márgenes de ríos, lagos, lagunas y/o cuerpos de agua que tengan fuertes varia - ciones de nivel y lugares de fauna nociva y/o peligrosa.
	Zona de Amenaza Sísmica	Alta
	Zona de riesgo sísmico	7 o menor
	Categoria	Municipios de categoria 1 y 2
Servicios públicos	Servicios públicos recomendados	Agua, drenaje y electricidad

(1) El lote a utilizar para la edificación de este proyecto tipo deberá conservar proporciones razonables si las medidas del mismo sobrepasan las aquí descritas. Por ningún motivo podrá utilizarse el diseño si se pone en riesgo la estructura original propuesta. Será responsabilidad de la entidad territorial, informar si existe algún incumplimiento con este requisito.
(2) Basado en la Norma Sismo Resistente (NSR-10) Título A "Clasificación de los perfiles de suelo", pag. 22.

Figura 106. Criterios para la construcción de una vivienda palafítica
Fuente: (DNP, 2016)

Los municipios a los cuales corresponde la presente solución cumplen con los criterios anteriores, con la característica que están sobre la zona de amenaza sísmica intermedia acorde a los Localización, nivel de amenaza sísmica REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10.

La Alternativa propuesta por parte del manual del para la Construcción de vivienda palafítica consta de tres alcobas, un baño, sala-comedor, cocina abierta, patio de servicio y escalera de acceso, para un área total de construcción de 71 m_2. (9,58 x 7,40).

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

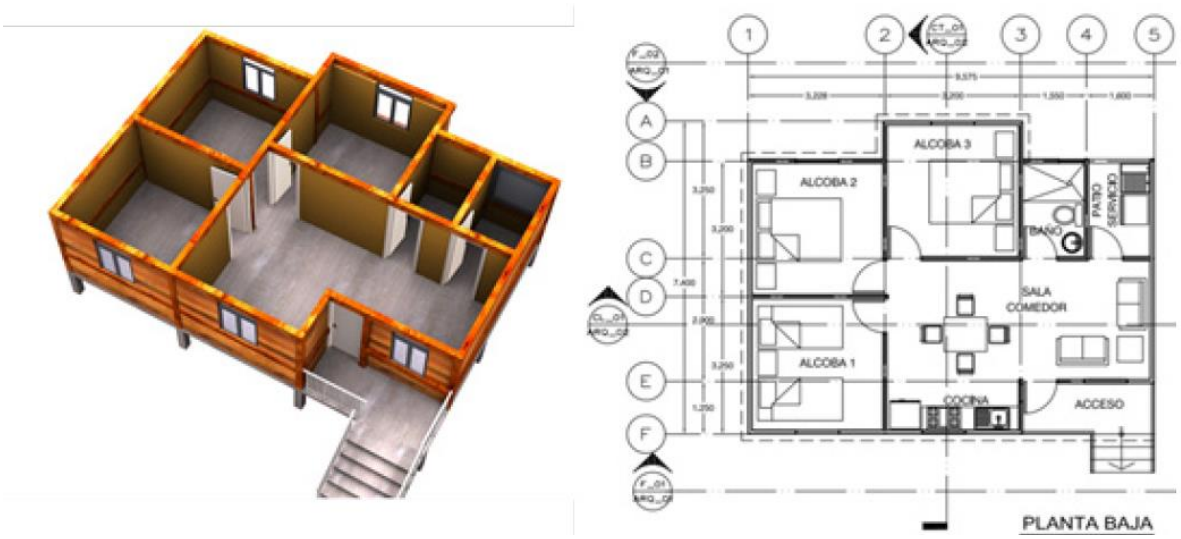


Figura 107. Distribución espacial vivienda palafítica tipo
Fuente: (DNP, 2016)

7.3.7 Inundación del área con medidas de intervención

La evaluación del desempeño de las medidas de mitigación propuestas se realiza para el evento extremo más critico simulado, correspondiente al evento de 100 años de periodo de retorno. Esto con el fin de someter a las estructuras propuestas a las peores condiciones posibles, y de esta forma inferir que para evento de menor magnitud este efecto también será positivo. De cualquier forma, en el anexo con los resultados ("modelo_hidraulico/10_Resultados") contiene los mapas de profundidad, velocidad e inundación para todos los periodos de retorno simulados y para la condición actual y la condición hipotética con implementación de medidas de mitigación. Estos mapas corroboran lo aquí discutido para 100 años.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

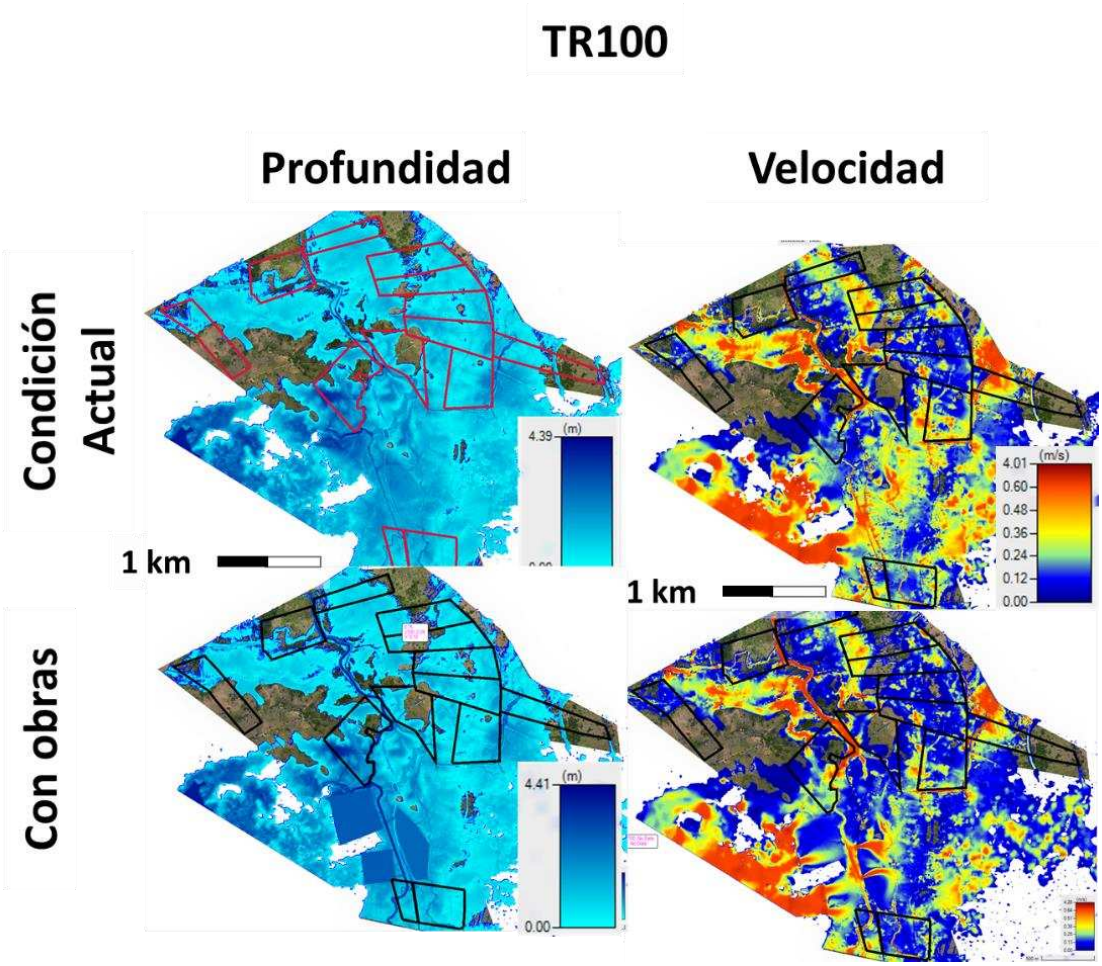


Figura 108. Mapa de profundidad y velocidad máximo de inundación, para evento de periodo de retorno de 100 años sin y con medidas de mitigación propuestas.
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Una vez implementadas las medidas de mitigación estructurales, se observa un menor alcance de la inundación de 100 años de periodo de retorno, como mostrado en la Figura 108. Aunque la disminución en el alcance no sea significativa, la magnitud de las profundidades y, principalmente de las velocidades es apreciable. Con estos resultados, se muestra que las medidas de mitigación tienen un efecto benéfico en cuanto a la disminución de la amenaza que representa un evento de inundación. Sin embargo, es de extrema importancia notar que los efectos son suficiente mente sutiles en relación a la magnitud de las obras. Adicionalmente, fue necesario intervenir el cauce natural principal que atraviesa el área y realizar excavaciones en áreas de ciénaga. Por estos motivos, se alienta a los ejecutores a adoptar medidas de adaptación en vez de cualquier medida de

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

mitigación estructural que obligatoriamente tendría que intervenir cauce o zonas cenagosas.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.4 RESULTADOS.

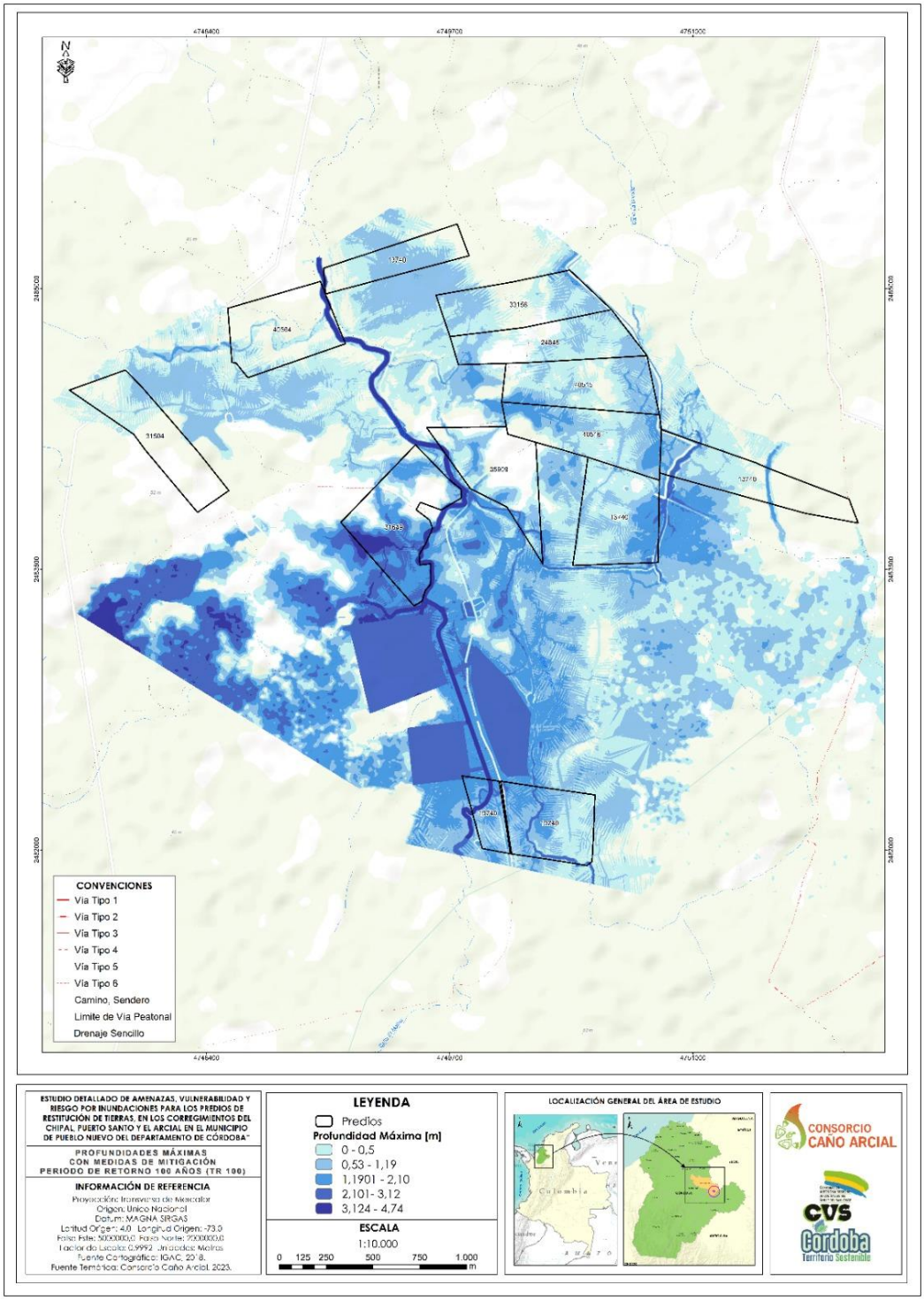


Figura 109. Mapa de profundidades de inundación tr 100
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.4.1 Análisis presupuestal de medidas de intervención.

Tabla 39 Costos de intervención_ alternativa: Vivienda palafítica

ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	**PRELIMINARES**				
1	Trazado ,replanteo y nivelacion con equipo de topografia	M2	70,00	$ 7.060,34	$ 494.223,80
2	**EXCAVACIONES Y MOVIMIENTO DE TIERRA**				
2	Excavacion manual	M3	8	$ 80.778,68	$ 620.380,26
2	Relleno con material seleccionado compactado	M3	12	$ 126.556,47	$ 1.518.677,60
3	**CIMENTACION**				
3	Solado en mortero 2500 PSI e= 0,05 cm	M3	0,48	$ 553.772,34	$ 265.810,72
3	Zapata en concreto rigido 3500 PSI	M3	4,80	$ 815.783,21	$ 3.915.759,39
3	Viga de cimentacion	ML	35,0	$ 56.465,50	$ 1.976.292,50
36	Pedestal y columna en concreto impermeabilizado 3500 PSI	M3	1,88	$ 940.219,09	$ 1.767.611,89
4	**ESTRUCTURA DE PISO**				
4,1	Madera armado de estructura de base vivienda	Ml	110,0	$ 137.635,67	$ 15.139.923,33
4,2	Madera armado de piso de vivienda	Ml	150,0	$ 114.476,75	$ 17.171.512,50
5	**ESTRUCTURAS DE MUROS Y PUERTAS**				
5,1	Adq.instalacion de espiga de pilar (esqueleto muros)	M3	160,0	$ 242.031,75	$ 38.725.080,00
5,2	Montaje de entre muros	M2	90,0	$ 201.294,80	$ 18.116.532,00
5,3	suministro e instalacion de puertas	Und	2,0	$ 353.000,00	$ 706.000,01
6	**ESTRUCTURAS DE CUBIERTA**				
6,1	Instalacion de caballetes armados previamente y tratados	Ml	80,0	$ 53.111,88	$ 4.248.950,40
6,2	Adq.instalacion de viga de caballete	Ml	11,0	$ 380.713,33	$ 4.187.846,63
6,3	Adq. Instalacion de correas (madera tratada)	Ml	55,0	$ 133.527,13	$ 7.343.992,33
6,4	Adq. Instalacion de cubierta	M2	50,0	$ 208.377,46	$ 10.418.873,08
7	**INSTALACIONES HIDROSANITARIAS**				
7,1	Lavamanos con pedestal, incluye accesorios	Und	1,0	$ 490.809,25	$ 490.809,25
7,2	Tuberia de 1/2 PVC hidrahulica	ML	12,0	$ 35.875,00	$ 430.500,00
7,3	Tuberia de 2" PVC sanitaria	ML	6,0	$ 56.201,00	$ 337.206,00
7,4	Tuberia de 3" PVC sanitaria	ML	6,0	$ 60.701,00	$ 364.206,00
7,5	Punto de agua potable	PTO	4,0	$ 55.738,38	$ 222.953,50
7,6	suministro e instalacion de sanitario	Und	1,0	$ 512.599,00	$ 512.599,00
7,7	Punto sanitario	PTO	4,0	$ 126.254,25	$ 505.017,00
7,8	sistema septico anaerobico (sistema prefabricado polietileno)	Und	1,0	$ 4.243.800,00	$ 4.243.800,00
8	**INSTALACIONES ELECTRICAS**				
8,1	punto electrico alumbrado comun	Und	5,0	$ 22.056,11	$ 110.280,56
8,2	punto electrico toma corriente comun	und	6,0	$ 96.276,75	$ 577.660,50
8,3	tablero de dos circuitos	Und	1,0	$ 161.635,67	$ 161.635,67
8,4	acometida parcial No.8 en PVC	ML	4,2	$ 83.599,00	$ 351.115,80
9	**ASEO**				
9,1	Aseo General	Gl	1	$ 374.063,50	$ 374.063,50
	TOTAL COSTOS DIRECTOS UNIDAD DE VIVIENDA				**$ 135.299.313,22**
	Administración				$ 33.824.828,30
	Imprevistos				$ 1.352.993,13
	Utilidad				$ 6.764.965,66
	IVA Utilidad				$ 1.285.343,48
	Total costos indirectos				$ 43.228.130,57
	TOTAL				**$ 178.527.444**

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 40 Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 1: Canal

No.DE ORDEN	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIÓN		PRESUPUESTO				
		GR.	PART.	ITEM DE PAGO	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1			1	LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO (con equipos topograficos)	M2	42780,00	$ 5.134,58	$ 219.657.439,35
2	200.2.2	200		DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONA NO BOSCOSA	M2	42780,00	$ 5.809,91	$ 248.547.940,47
3	210.2.4	210		EXCAVACION DE CANALES	M3	173130,00	$ 4.283,80	$ 741.655.037,23
4	900,2	900		TRANSPORTE DE MATERIALES PROVENIENTES DE LA EXCAVACIÓN DE LA EXPLANACIÓN, CANALES Y PRÉSTAMOS	M3/KM	52811,25	$ 1.239,58	$ 65.463.636,16
5	220,1	220-22		TERRAPLENES	M3	96255,00	$ 12.977,81	$ 1.249.178.894,77
				SUBTOTAL OBRAS				**$ 2.524.502.947,98**
				COSTOS ADMINISTRATIVOS		20%		$ 504.900.589,60
				COSTOS POR IMPREVISTOS		5%		$ 126.225.147,40
				COSTOS POR UTILIDAD		5%		$ 126.225.147,40
				SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE IVA)				**$ 3.281.853.832,38**
				INTERVENTORÍA		10%		$ 328.185.383,24
				TOTAL VALOR DEL PROYECTO				**$ 3.610.039.215,61**

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 41. Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 2: Cuenca de retención N° 1

No.DE ORDEN	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIÓN		PRESUPUESTO				
		GR.	PART.	ITEM DE PAGO	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1			1	LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO (con equipos topograficos)	M2	87983,5	$ 5.134,58	$ 451.758.539,39
2	200.2.2	200		DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONA NO BOSCOSA	M2	87983,5	$ 5.809,91	$ 511.176.197,29
3	210.2.4	210		EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR CON MAQUINARIA	M3	175.967	$ 14.258,50	$ 2.509.025.057,38
				SUBTOTAL OBRAS				**$ 3.471.959.794,06**
				COSTOS ADMINISTRATIVOS		20%		$ 694.391.958,81
				COSTOS POR IMPREVISTOS		5%		$ 173.597.989,70
				COSTOS POR UTILIDAD		5%		$ 173.597.989,70
				SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE IVA)				**$ 4.513.547.732,28**
				INTERVENTORÍA		10%		$ 451.354.773,23
				TOTAL VALOR DEL PROYECTO				**$ 4.964.902.505,50**

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Tabla 42. Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 3: Cuenca de retención N° 2

No.DE ORDEN	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIÓN		PRESUPUESTO				
		GR.	PART.	ITEM DE PAGO	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1			1	LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO (con equipos topograficos)	M2	47434,5	$ 5.134,58	$ 243.556.353,60
2	200.2.2	200		DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONA NO BOSCOSA	M2	47434,5	$ 5.809,91	$ 275.590.165,55
3	210.2.4	210		EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR CON MAQUINARIA	M3	94.869	$ 14.258,50	$ 1.352.689.414,31
				SUBTOTAL OBRAS				**$ 1.871.835.933,46**
				COSTOS ADMINISTRATIVOS		20%		$ 374.367.186,69
				COSTOS POR IMPREVISTOS		5%		$ 93.591.796,67
				COSTOS POR UTILIDAD		5%		$ 93.591.796,67
				SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE IVA)				**$ 2.433.386.713,49**
				INTERVENTORÍA		10%		$ 243.338.671,35
				TOTAL VALOR DEL PROYECTO				**$ 2.676.725.384,84**

Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Tabla 43. Costos de intervención_ alternativa obra de drenaje 4: Cuenca de retención N° 3

No.DE ORDEN	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIÓN		PRESUPUESTO				
		GR.	PART.	ITEM DE PAGO	UND	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1			1	LOCALIZACIÓN TRAZADO Y REPLANTEO (con equipos topograficos)	M2	66189	$ 5.134,58	$ 339.852.881,09
2	200.2.2	200		DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONA NO BOSCOSA	M2	66189	$ 5.809,91	$ 384.552.118,55
3	210.2.4	210		EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR CON MAQUINARIA	M3	132.378	$ 14.258,50	$ 1.887.511.402,97
				SUBTOTAL OBRAS				**$ 2.611.916.402,61**
				COSTOS ADMINISTRATIVOS		20%		$ 522.383.280,52
				COSTOS POR IMPREVISTOS		5%		$ 130.595.820,13
				COSTOS POR UTILIDAD		5%		$ 130.595.820,13
				SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE IVA)				**$ 3.395.491.323,39**
				INTERVENTORÍA		10%		$ 339.549.132,34
				TOTAL VALOR DEL PROYECTO				**$ 3.735.040.455,73**

Fuente: Consorcio Caño Arcial

7.4.2 Análisis costo de oportunidad de las medidas de intervención.

Teniendo en cuenta la situación planteada con anterioridad, a continuación, se procede a describir el procedimiento técnico financiero utilizado para determinar el impacto o pérdida económica total en la que podría incurrirse, en caso de implementar las obras de mitigación propuestas:

Tomando como referencia, los precios unitarios en proyectos de obra utilizados por las alcaldías de Pueblo Nuevo y Buenavista Córdoba, se totalizó la edificación de una vivienda caracterizada para las parcelas objeto de estudio y se discriminaron los componentes de dichas viviendas que pudieran recibir afectación en un posible evento de inundación, como son: muros, pisos, puertas y ventanas; totalizando un valor por vivienda y uno para todas las parcelas.

Para poder proyectar el valor de la posible afectación en viviendas, se aplicó la metodología de indexación, que se determina actualizando los precios conforme a la inflación periódica y se va acumulando, es decir, se multiplica cada precio por la inflación periódica para luego sumarle el precio anterior. Esto se realiza considerando la inflación histórica a la fecha y proyectándola según estimaciones del DANE con promedio móvil aritmético, el cual se obtiene sumando los últimos cinco datos, dividiéndolos por cinco para hallar el siguiente y así sucesivamente.

También se consideró esta metodología para calcular los valores de las obras de mitigación que se plantean realizar para contrarrestar el impacto económico que causaría el suceso de inundación en la zona.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Para realizar el cálculo de la estimación del valor de los cultivos, se consideraron variables como: Precio promedio por kilogramo de los productos agrícolas a cultivar que reportaron las encuestas entre los parceleros, el área asignada a cada parcela, la distribución por cultivos del área parcelada.

La metodología de estimación utilizada fue la de promedio ponderado, en la cual, se tomó el área de cada cultivo expresada en kilogramos de producción según su rendimiento estimado (según los estándares manejados por el ministerio de agricultura en sus informes periódicos EVA Agrícola_SIPRA de su portal Agronet) multiplicándolo por el precio promedio por kilogramo (estimado con los precios de los 7 principales centros de acopio del país, para los últimos ocho meses, julio 2022 - febrero 2023). Posteriormente se realizó sumatoria de las ponderaciones para totalizar el posible valor de la cosecha por cada parcela. Este valor es susceptible de proyección hacia futuro con proceso de indexación.

En el proceso para el cálculo de la posible pérdida en muebles y enseres se adaptó de la metodología: Instrumento de Agregación de Demanda, utilizada por Colombia Compra Eficiente (Portal SECOP), a través del cual se conforma un catálogo de proveedores que ofrezcan los artículos con características técnicas uniformes y de común utilización, de los cuales se podrá escoger uno o varios siguiendo un criterio definido, según la necesidad de la entidad compradora, como por ejemplo: mínimo precio, precio promedio u otro que se pueda definir según la conveniencia del proyecto. Adicionalmente, los valores se proyectaron con actualización contable, utilizando el método de depreciación de línea recta, para lo cual, se divide el valor de cada activo según su especie, entre su vida útil estimada, el valor obtenido se va descontando periódicamente del valor inicial del bien mueble hasta que su valor sea igual a cero.

Para determinar el impacto económico total, se utilizó la metodología Relación Beneficio / Costo, el cual se refiere a Durante mucho tiempo, la figura de la compensatio lucri cum damno ha sido desconocida por la doctrina y la jurisprudencia españolas; y, cuando ha sido objeto de alguna puntual atención, ha sido para negarla como técnica relativa a la valoración del daño y para criticar que algún pronunciamiento judicial aislado hubiera acudido a ella. Por otra parte, cuando es objeto de consideración, los autores suelen restringir su alcance al exigirse que el beneficio obtenido por el perjudicado sea consecuencia directa del hecho dañoso, sin que encajen en ella los beneficios indirectos o colaterales y tampoco los ocasionales. Pero, por encima de tal dogmática que, sin apoyo normativo alguno, deriva de limitar la figura al sentido de los casos conocidos en el Derecho romano, se ha ido imponiendo, de modo más bien virtual, un concepto amplio de la figura que es comprensivo de las tres manifestaciones señaladas. De ellas, la que se

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

revela como particularmente relevante es la de la computación de los beneficios indirectos, como son los que proporcionan las prestaciones sociales que cumplen la función de neutralizar o aliviar el lucro cesante de los accidentados laborales, sin que sea pertinente que, a través de la responsabilidad civil, se resarzan perjuicios que han dejado de ser efectivos. Dado que esta figura no había sido objeto hasta ahora de un estudio monográfico, la presente obra trata de sentar las bases para colmar esta laguna, acudiendo a una construcción teórica puesta al servicio de una práctica que, con la técnica del descuento de los beneficios obtenidos, evita el enriquecimiento de los perjudicados al circunscribirse su resarcimiento al daño diferencial (Medina Crespo, M. (2015)). La compensación del beneficio obtenido a partir del daño padecido: aplicación del principio "compensatio lucri cum damno" en el derecho de daños. España: Bosch. . Para calcularlo, se realizó división del Riesgo Siniestrable entre el valor total de las obras de mitigación estimadas para tal efecto, encontrando un cociente inferior a 1, lo que supondría que el beneficio no alcanza a cubrir los costos de las obras planteadas para mitigar el impacto de la posible materialización del riesgo inherente.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.4.3 Cuadro de análisis costo de oportunidad de las medidas de intervención.

Tabla 44 Análisis financiero del impacto económico intervención sobre riesgo de inundaciones en la zona

		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
	IPC proyectado	4,69%	4,65%	4,63%	4,64%	4,59%	4,43%	4,55%	4,63%	4,67%	4,79%	4,94%	5,01%
Riesgo Económico Anual Siniestrable	1.987.306.026	2.080.468.841	2.177.109.788	2.278.005.131	2.383.761.420	2.493.113.231	2.603.436.480	2.721.964.636	2.847.870.049	2.980.941.558	3.123.733.926	3.278.052.193	3.442.202.762
Valor Total Proyectos de Intervención	19.585.375.191	- 17.598.069.165	- 17.504.906.350	- 17.408.265.403	- 17.307.370.061	- 17.201.613.771	- 17.092.261.960	-16.981.938.711	-16.863.410.555	- 16.737.505.142	-16.604.433.633	- 16.461.641.265	- 16.307.322.998
Cociente de Beneficio / Costo	0,1015												

		2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046
	IPC proyectado	4,91%	4,87%	4,91%	5,00%	5,07%	5,25%	5,23%	4,81%	4,82%	4,83%	4,84%	
Riesgo Económico Anual Siniestrable	1.987.306.026	3.611.380.296	3.787.285.097	3.973.314.420	4.172.103.271	4.383.479.543	4.613.539.311	4.854.770.926	5.088.452.797	5.333.719.072	5.591.298.312	5.861.890.248	
Valor Total Proyectos de Intervención	19.585.375.191	- 16.143.172.429	- 15.973.994.895	- 15.798.090.094	- 15.612.060.771	- 15.413.271.920	- 15.201.895.649	-14.971.835.880	-14.730.604.265	- 14.496.922.394	-14.251.656.119	- 13.994.076.879	- 13.723.484.943
Cociente de Beneficio / Costo	0,1015												

Fuente: Consorcio Caño Arcial

RELACIÓN BENEFICIO / COSTO	
CONCEPTO	**VALOR**
Riesgo Económico Anual Siniestrable	$1.987.306.026
Valor Total Proyectos de Intervención	$19.585.375.191
Cociente de Beneficio / Costo	**0,1015**

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.4.4 Zonificación de amenazas por inundación con las medidas de mitigación.

Con la aplicación de estas medidas solo se logra disminuir un poco el impacto causado por las inundaciones en el sector donde se encuentran las parcelas, a continuación, se presenta los resultados de la modelación de la zona con estas propuestas de intervención.

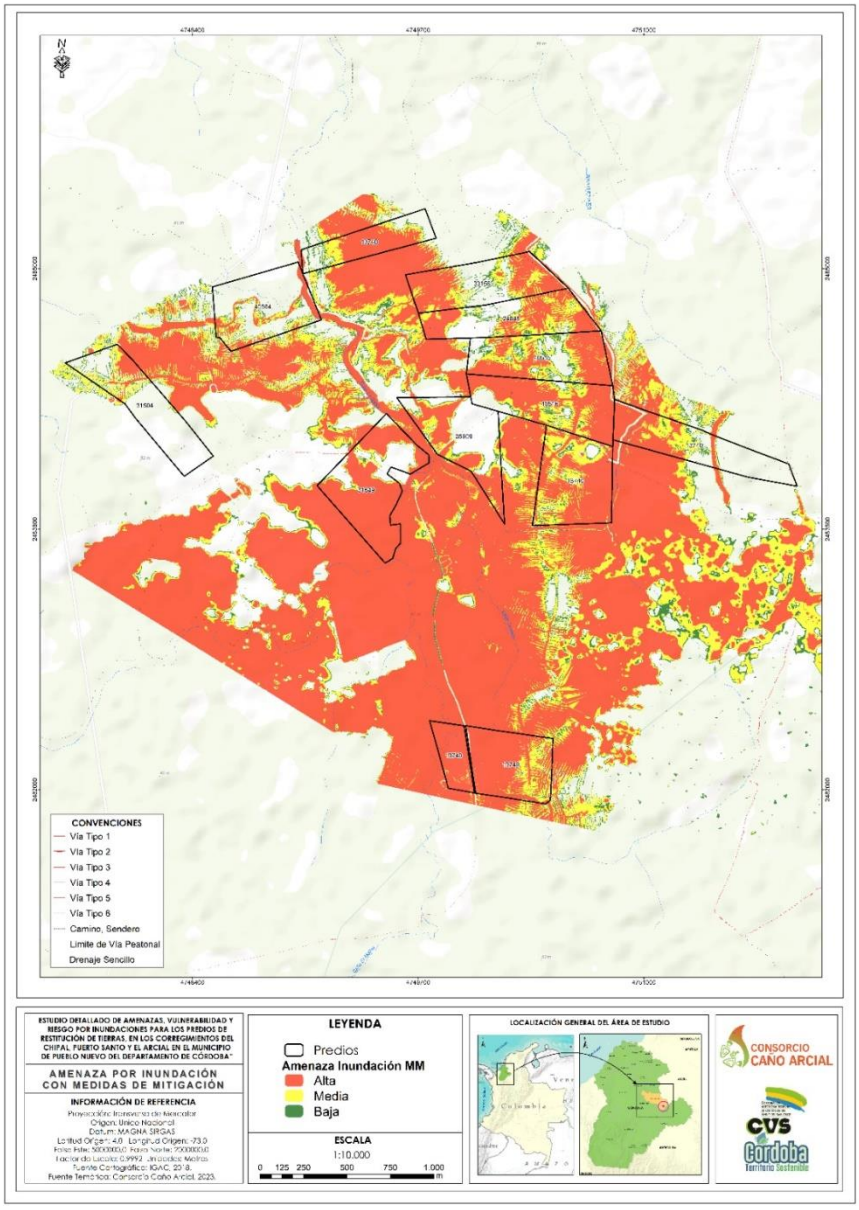


Figura 110 Zonificación de amenaza por inundación (con medida de intervención) Alternativa 1
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Como se puede observar, con las medidas de mitigación propuestas no mejoraría en gran medida la capacidad de drenaje de la zona y los predios o parcelas del estudio continuarían sometidas a inundaciones y encharcamientos. Por lo que en esas áreas la vulnerabilidad y el riesgo se categorizan como alto no mitigable, como se expresa en las siguientes figuras.

7.4.5 Zonificación de la vulnerabilidad por inundación con las medidas de mitigación.

Consecuentemente con el análisis de amenazas inmediatamente anterior, los prediseños de las medidas propuestas mejoran muy poco la capacidad de drenaje de la zona y no disminuyen considerablemente la exposición de los elementos que en ella se proyectan, por lo tanto la vulnerabilidad se puede recategorizar como se expresa en la siguiente figura.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

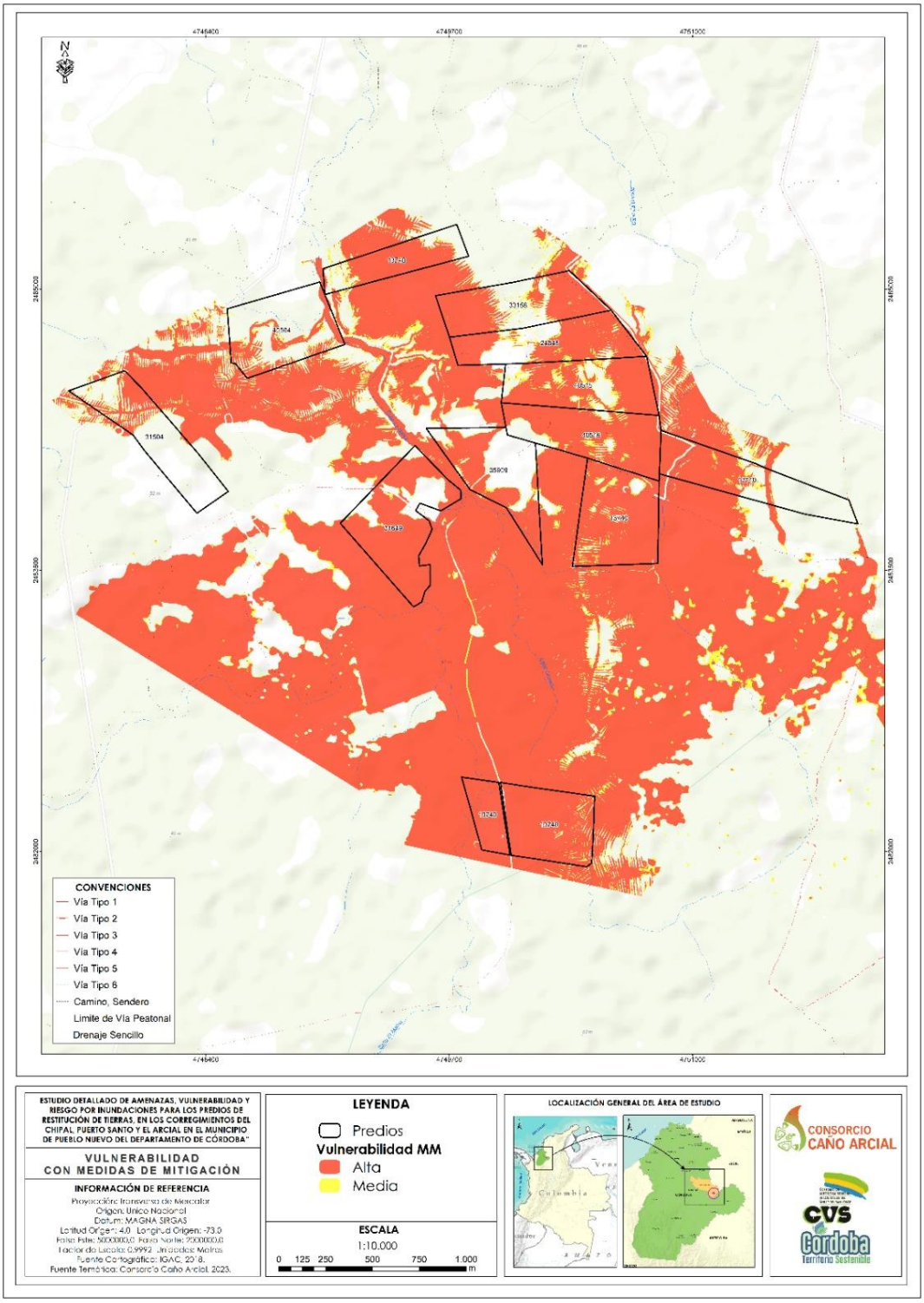


Figura 111 Vulnerabilidad alternativa 1
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.4.6 Zonificación de riesgo por inundación con las medidas de mitigación.

Se muestra finalmente en el estudio que, las condiciones de la zona para la ubicación de los elementos proyectados mejoran muy poco, pues no se reducen o cambia muy poco, respecto a la situación inicial. Se mantienen en algunas áreas la categoría de riesgo alto, que después de haber explorado varias alternativas se considera no mitigable. Solamente se encuentran condiciones aptas para la habitabilidad y el aprovechamiento en algunas áreas no inundables de los predios: Parcela #6 Grupo Castilleral 1B, hacienda toronto grupo 1a castilleral, toronto grupo 2 parcela no 2, parcela 3 de toronto, campo bello, parcela # 1 grupo nueva esperanza 6.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

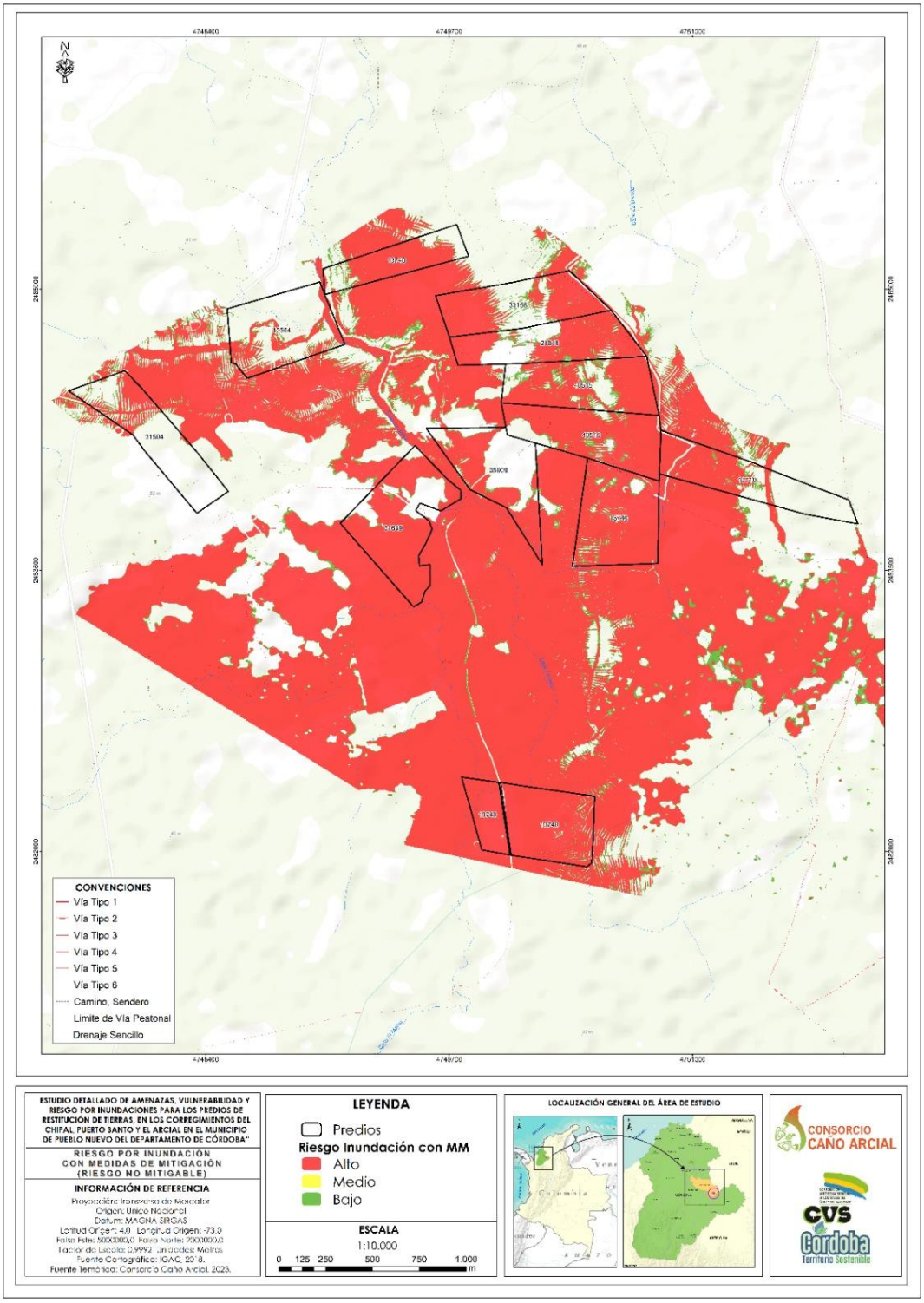


Figura 112 Riesgo por inundaciones (No Mitigable)
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7.4.7 Análisis de las medidas de intervención en la ronda hídrica

Considerando que la corporación también había realizado en el año 2022 los estudios científicos para el acotamiento de la ronda hídrica de la Ciénaga de Arcial (CVS-SAHED, 2022), y que el área de influencia de la ronda hídrica incluyen parte de uno de los predios y del área de influencia de este estudio detallado de riesgos; adicionalmente se realiza una exposición del impacto que pueden generar las medidas de intervención propuestas en el manejo de la ronda hídrica, y de la importancia que representa la zonificación y reglamentación de la ronda hídrica en el desarrollo de los predios objeto de este análisis.

Abordamos entonces este análisis según cada una de las medidas de intervención propuestas.

7.4.8 Medida de intervención (o mitigación) y su incidencia en la ronda hídrica.

Para analizar la propuesta de intervención que se requiere para intentar mitigar el riesgo alto por inundaciones en los 12 predios objeto de restitución de tierras, se hace necesario describir de manera sucinta el tipo de medida que se plantea. En este caso se plantean a nivel de prediseño unas intervenciones que están constituidas por: excavaciones, movimientos de tierra y rellenos totales en la parte sur de la zona de estudio, cercana a una de las parcelas del estudio (PARCELA #4 TORONTO).

Estas intervenciones se realizarían dentro de la ronda hídrica, casi traslapadas con el predio Parcela #4 Toronto, otras en zonas de influencia directa de este predio. Según se ilustra en el siguiente mapa.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

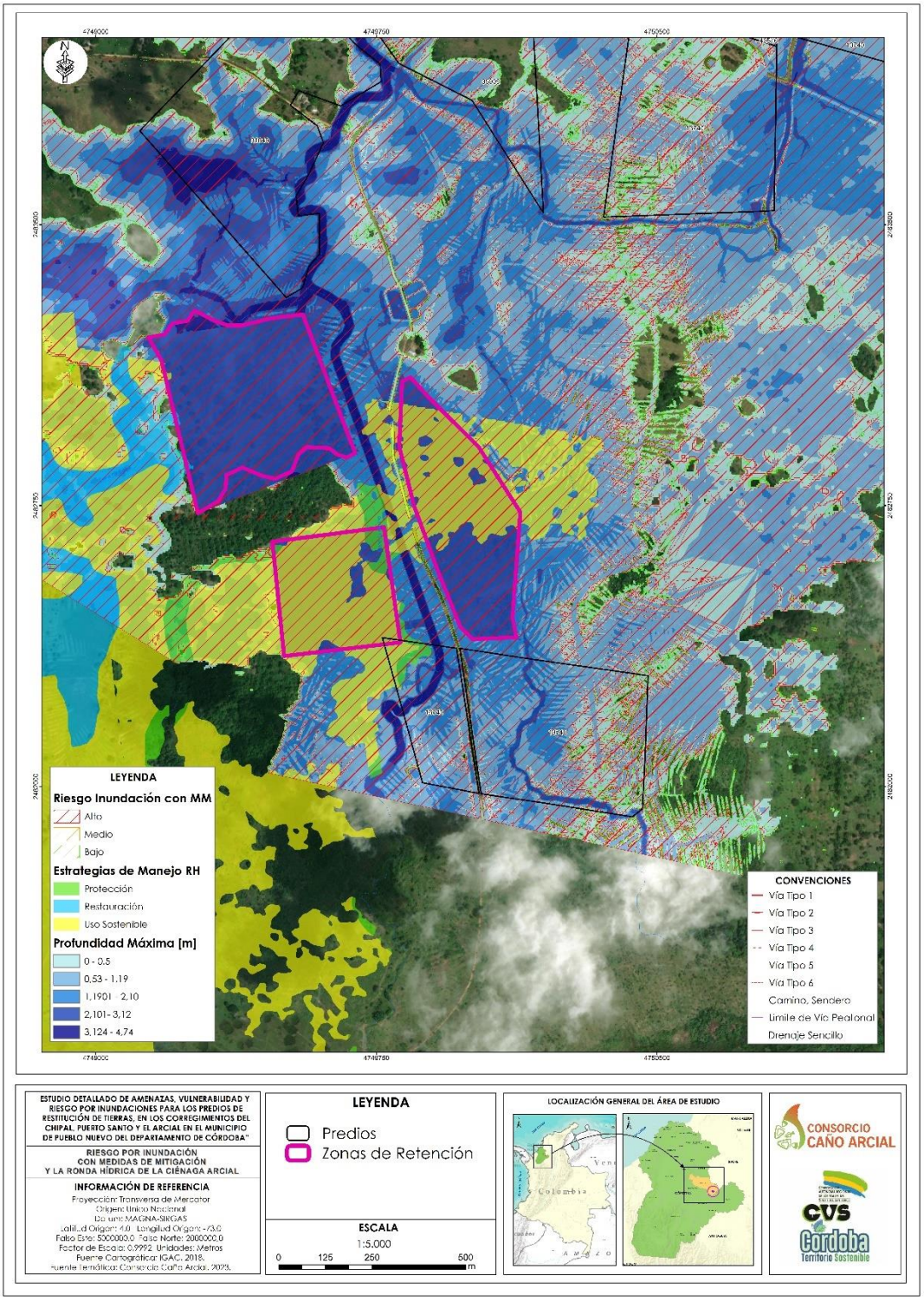


Figura 113 Impacto medida intervención ronda hídrica
Fuente: Consorcio Caño Arcial

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Como se ilustra en el mapa, la medida de intervención requiere obligatoriamente de movimientos de tierra y rellenos propuestos en el área de influencia de la ronda hídrica. Para el caso de la parcela denominada Parcela #4 Toronto, esas acciones se proponen en unas áreas dentro de las parcelas categorizada por la zonificación de ronda hídrica como de protección, y otras de uso sostenible. En la reglamentación de manejo y usos ambientales propuesta en el estudio de ronda hídrica, esas categorías de zonificación de la ronda establecen como usos y/o actividades prohibidas los rellenos, las obras hidráulicas de ingeniería no autorizadas y el uso de maquinaria pesada, esta última imprescindible para la realización de esas intervenciones.

En el caso particular de la en la zona de la zona cercana a la parcela # 4 Toronto, las actividades de relleno propuestas no serían compatibles con lo especificado como necesario en la reglamentación de la ronda hídrica Ciénaga de Arcial; puesto que en la parcela en contexto la categoría de zonificación es uso sostenible, y en esta categoría la reglamentación de manejo prohíbe los aterramientos.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones Generales.

1. Fue posible realizar la estimación del riesgo de inundación en términos cuantitativos, para la zona de las parcelas con resultados satisfactorios, puesto que cuantifican de forma aproximada las pérdidas económicas esperadas; hecho que solo se había logrado en otros estudios de riesgo realizados por la corporación en los años 2021 y 2022, con muy pocos antecedentes en Colombia. Estos resultados podrían ser utilizados para la transferencia del riesgo, o para la evaluación cuantitativa en términos económicos de alternativas de gestión del riesgo en la zona.

2. Se espera (o estima) que se presenten daños y pérdidas económicas en los elementos expuestos tipo cultivos en las parcelas (según su ubicación), inclusive, aunque realicen obras o medidas de intervención, esto debido al deficiente sistema de drenaje de la planicie y a la sobre oferta en cantidad del recurso hídrico, que hacen muy complejo el comportamiento del sistema hídrico general.

3. Los daños y pérdidas económicas esperadas, estarían expresadas en función (o según) la ubicación de los tipos de elemento en el territorio; en este caso nos referimos a infraestructura de vivienda y cultivos.

4. Las medidas de mitigación (o intervención) propuestas, disminuyen muy poco el impacto de las inundaciones, y reducen en cierta medida la vulnerabilidad y el riesgo en las parcelas; pero no lo mitigan por completo.

5. Para la materialización de las alternativas de intervención propuestas como cuencas de retención (o amortiguación de crecientes) para la posible mitigación, implica obligatoriamente acometer la intervención de la zona de ronda hídrica de la Ciénaga de Arcial (Según estudios CVS- SAHED, 2022) con obras y rellenos que irían en contravía de lo dispuesto en la reglamentación propuesta en el estudio de acotamiento de la ronda hídrica de la Ciénaga Arcial.

6. Aunque los predios son naturalmente anegados en muchas de sus áreas, debido al comportamiento hidrodinámico de la Ciénaga de Arcial y la red de caños que los influyen (Caño Molino, Caño La Balsa y Caño Corredor, principalmente); se pudo establecer que aun sin condiciones de intervención, existen zonas dentro de los predios: Parcela #6 Grupo Castilleral 1B, hacienda toronto grupo 1a castilleral, toronto grupo 2 parcela no 2, parcela 3 de toronto, campo bello, parcela # 1 grupo nueva esperanza 6, que no se inundan y como tal no presentan nivel de riesgo significativo.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

7. Tomando en consideración que las pérdidas económicas esperadas continuarán concretándose en la zona de estudio, puesto que el riesgo por inundaciones no lograría mitigarse por completo, se recomienda el uso de estas zonas como sitios de aprovechamiento productivo temporal para agricultura; enfatizando que esta agricultura deberá ejecutarse con cultivos temporales en épocas de sequía y siguiendo las directrices de las entidades oficiales pertinentes. Toda vez que, si se valoran los antecedentes de los estudios técnicos de la zona como el estudio de ronda hídrica Ciénaga de Arcial (CVS-SAHED, 2022) y el estudio del Plan de Manejo de Arcial Porro y Cintura (CVS, 2016), se presentan áreas con suelos clasificación agrologica tipo III, aptos para reserva agrícola.

8.2 Conclusiones Específicas.

A continuación, se presentan una serie de conclusiones específicas sobre los resultados obtenidos para las parcelas objeto de estudio:

1. Los daños en infraestructura de vivienda, considerado las viviendas tipo esperadas para la zona, se concretarían solo en caso de que las viviendas se ubicaran en las áreas inundables de los predios (se recuerda que varios de los predios: Parcela #6 Grupo Castilleral 1B, hacienda toronto grupo 1a castilleral, toronto grupo 2 parcela no 2, parcela 3 de toronto, campo bello, parcela # 1 grupo nueva esperanza 6, presentan algunas áreas que no se anegan). Esas potenciales afectaciones generarían reparaciones importantes en los principales elementos estructurales; pero, el tipo de inundaciones que se presentan en la zona (relativamente lentas y con bajas velocidades), no tendrían la intensidad suficiente para ocasionar el colapso de una vivienda de este tipo.

2. Para el caso de infraestructura de vivienda, se empleó como variable detonante de os daños la profundidad a la que pueden estar expuestas las viviendas, en función de la ubicación deseada o elegida por las comunidades.

3. Los daños más significativos en cultivos, se presentan en la primera fase (o fase de siembra), debido a que, en esta etapa la altura y el diámetro del tallo principal no ha alcanzado un estado de madurez que le permita soportar la intensidad de las inundaciones.

4. La relación profundidad- velocidad se utilizó para los cultivos de maíz, arroz y yuca, puesto que lo antecedentes de los estudios de la mojana (Cardona y F.A, 2014) demuestran que relaciones similares de profundidad- velocidad causan daños en los cultivos y pérdidas económicas, indistintamente al tiempo de ocurrencia del fenómeno.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

5. Para el caso de los daños en cultivos de plátano, se optó por usar funciones profundidad – tiempo de permanencia, puesto que este tipo de cultivos por las características de su tallo, no registran daños para este tipo de inundaciones lentas (por velocidades bajas), el daño real medible se ocasiona por el tiempo de inundación del individuo (planta y su reacción bioquímica al exceso de humedad por un prolongado período de tiempo.

6. En este estudio, se reflejan dos tipos de cálculos de pérdidas económicas, según la ubicación de elementos expuestos como cultivos. Para esto se estimaron las pérdidas económicas en cultivos según la posible ubicación o siembra que reportaron las comunidades en el trabajo de campo. Pero, considerando que no hay certeza concreta de parte de las comunidades acerca de la ubicación de los sistemas de cultivos, también se calcularon las pérdidas económicas modelando diferentes escenarios según múltiples combinaciones de ubicación de esos cultivos en las parcelas. De esa modelación de múltiples escenarios de ubicación se calcularon y al final se reportaron las pérdidas económicas generales.

7. El análisis de costo de oportunidad determina que la sumatoria de costos acumulativos de las perdidas económicas esperadas anualmente, es mucho menor que los costos de las alternativas de intervención proyectados en un horizonte de más de 20 años; hecho que no generaría ningún ahorro por disminución o eliminación de pérdidas económicas.

8. Luego de analizar la información del estudio económico realizado referente a los costos posibles a incurrir para la construcción de las viviendas que actualmente contienen las parcelas afectadas, sus contenidos y la producción agrícola proyectada, así como también la cuantificación de las inversiones a realizar para mitigar y/o evitar el impacto probable sobre las parcelas intervenidas por causa de inundaciones, podemos concluir que los proyectos de intervención superan ampliamente en su valor a la sumatoria de bienes muebles e inmuebles a proteger. En síntesis, el proyecto de mitigación es inviable por tanto el valor de su inversión no se recupera en el tiempo ni como beneficio de la comunidad afectada.

9. La información topográfica (DEM con resolución 0,5 m x 0,5 m) representa las condiciones actuales de la zona de estudio, al igual que la batimetría, la cual tiene una resolución de 0,5 x 0,5 m.

10. Los diques de las alternativas seleccionada, su recubrimiento y los demas rellenos a detalle, deberán ser diseñados en una fase de ingeniería de detalle, en la que deberán participar las disciplinas hidráulica y geotécnica.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

BLANCA ADRIANA BOTERO HERNÁNDEZ
Ingeniera Civil
Doctora en Ingeniería Hidráulica y medio ambiente
COPNIA: 05202-151109

GABRIEL FERNANDO NARVAEZ CAMPO
Ingeniero Civil
MG y DOC en Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
COPNIA: 05202-234991

WILSON BAYARDO CASTRO GUERRA
Geógrafo
ES Sistema de Información
MG en Geografía
Matricula Prof. (2003) 119

JORGE EDWIN CARDENAS DELAOSSA
Ingeniera Ambiental
Prevención de Desastres
ES en Seguridad y Salud en el Trabajo
COPNIA: 13238-285224

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cardona, O.D . (2014). Documento que recoja el resultado de la modelación de vulnerabilidad ante inundaciones y la definición de curvas de vulnerabilidad para los diferentes elementos expuestos existentes en la Región de la Mojana

Cardona, O.D. 2005. Teoría del Riesgo y Desastres, Capitulo 5. Páginas 93-132: Vulnerabilidad, Riesgo y Desastre.

Congreso de la República. (2012). Ley 1523 de 2012.

DANE. (2005). Censo de Colombia del 2005. Montería.

DANE. (2019). Boletín técnico resultado de la Encuesta Integrada de Hogares para el periodo abril - Junio 2019. Montería.

Dutta D., Herath S., Musiake K., 2003. A Mathematical Model for Flood Loss Estimation. In Journal of Hydrology 277 (2003) 24–49, ScienceDirect.

Gómez O. (1982). Contabilidad de Costos. Editorial McGraw Gill.

Hashimoto T., Loucks D. y Stedinger J.: Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resources systems, Water Resour.Res., 18, 14-20, 1982.

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co

Botero, BA & Hoyos- UDEM. (2016). Estudio estimación del riesgo por inundaciones en el asentamiento Villa Jiménez, sector extremos sur oriental de la ciudad de Montería

Messner, F., Pening -Rowsell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S. y Van der Veen, A.: Evaluating Flood Damages: T09-06-01/ 2_2_ p44, FLOODsite, www.floodsite.net, (2007).

Navarro Campos N., Velázquez P., Ángel J. 2011. Patología, Diagnóstico y Rehabilitación de Edificaciones. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Cuenca, Ecuador. 2011. 265 páginas.

PNUD y UNGRD . (2012). Guía metodológica para la elaboración de planes departamentales para la Gestión del Riesgo.

Salazar, S.E. 2013. Metodología para el Análisis y la Reducción del Riesgo de Inundaciones: Aplicación en La Rambla del Poyo (Valencia) usando medidas de retención de agua en el territorio, Universidad Politécnica de Valencia, España. 394 páginas.

Smith, K. y Ward, R. 1998. (Eds): Flood Physical Processes and Human Impact Wiley Chichester, 1998.

Solis H., Calderon P. 1999. Evaluación y Solución de Areas Inundables en San Antonio de Belen, Usando Modelos Hidrológicos e Hidraulicos. Revista de la

Unidad Nacional para la Gestion del Riesgo de Desastre - UNGRD. (2016).Plan Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres.

Universidad Nacional de Colombia. (2004). Incorporación del componente de riesgo en la escuela. Bogotá.

Plan de Manejo de Las Ciénagas de Arcial, Porro y Cintura, 2016. (CVS).

Contrato 032 – 2022 de la Fundacion Sahed que tiene como Objeto: REALIZAR EL ESTUDIO DETALLADO DE AMENAZAS, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR INUNDACIONES PARA 4 PREDIOS OBJETO DE RESTITUCIÓN DE TIERRAS Y REALIZAR EL ESTUDIO PARA EL ACOTAMIENTO DE LA ZONA DE RONDA HÍDRICA DE LA CIÉNAGA DE ARCIAL, EN LOS MUNICIPIOS DE PUEBLO NUEVO Y BUENAVISTA DEL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA

Carrera 6 No 61-25 Ed. Onomá
PBX: 7890605– 7890609
Montería -Colombia
Línea Verde 018000180609

WWW.CVS.GOV.CO
E-mail: cvs@cvs.gov.co