

	<p align="center">Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE)</p>
	<p align="center"><i>“Estudio integral de la cuenca de los ríos Pirrís- Parrita-Candelaria, Cantón de Parrita y zona de los Santos”</i></p> 
<p align="center">Licitación Nº 2011LA-000055-00200</p>	<p align="right">Avance # 3</p>
	<p align="right">Versión: 30 de junio de 2012</p>
<p>Realizado por: Ing. Javier Saborío B y Asociados</p>	

Índice General

Presentación.....	10
Resumen.....	11
1. Introducción	12
2. Objetivo general.....	14
3. Objetivos específicos.....	15
4. Metodología	17
4.1 Importancia del análisis de riesgo	21
4.2 Caracterización del riesgo	22
5. Descripción del área de estudio	23
5.1 Hidrografía	25
5.3 Pendientes	26
5.4 Modelo de elevación digital.....	28
5.5. Cuencas hidrográficas derivadas	29
5.6 Zonas de vida	30
5.8 El análisis de la capacidad de uso de la tierra.....	33
5.9 Uso – cobertura de la tierra	35
5.10. Geología	36
5.11 Geomorfología	37
5.12 Hidrogeología	37
6. Información espacial de amenazas de la CNE	39
7. Caracterización de la amenaza por inundación	40
8. Hidrometeorológicos, con análisis de efectos de tormentas, efecto de El Niño, análisis de eventos extremos y avenidas.....	40
8.1 Precipitación promedio anual	40
8.2 Distribución temporal de la lluvia.....	43
8.3 Comportamiento de la precipitación-caudales durante la ocurrencia de eventos ENOS	47
8.4 Análisis de precipitaciones diarias máximas.....	57
9. Amenaza por inundaciones (modelo hidrodinámico).....	69
10. Amenaza por inundaciones (modelo bidimensional)	80
10.3 Modelación Hidrológica	81
10.3.1 Resultados - modelación hidrológica de la Cuenca del Rio Parrita.....	81
10.3.2 Resultados - modelación hidrológica de la Subcuenca del Rio Pirrís.....	82
10.3.3 Resultados - modelación hidrológica de la Subcuenca del Rio Grande de Candelaria..	83
10.3.4 Resultados de la modelación hidrológica de la Subcuenca del Rio Parrita (desembocadura)	85
10.4 Conclusiones y recomendaciones acerca de la modelación hidrológica	86
11. Modelación hidráulica.....	87
11.1 Análisis final de la modelación hidráulica	92
11.2 Conclusiones de la modelación hidráulica	97
12. Caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención. Establecer una línea base que integre los siguientes aspectos	100
13. Composición étnica de la población y distribución (datos estadísticos y distribución geográfica de la población)	104
14. Inventario de las principales organizaciones sociales.....	115

15.	Análisis de la percepción comunal del riesgo en actores claves de la comunidad. Mapas de percepción, memoria histórica.	117
15.1	Memoria histórica.....	117
15.2	Mapeo comunitario.....	118
15.3.	Amenazas de inundaciones por cantones.....	120
16.	Lineamientos (medidas estructurales y no estructurales).....	122
17.	Referencias.....	124
Anexo A	126
Anexo B	133
Anexo C	172
Anexo D	190

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama del modelos de lluvias intensas, fuente CAPRA, 2009.	18
Figura 2. Componentes hidrológico-hidráulicos de la planicie de inundación.....	20
Figura 3. Ubicación del área de interés	23
Figura 4. Modelo de elevación digital del área de interés	25
Figura 5. Tipos de relieve y convención de nomenclatura para la gestión del paisaje	26
Figura 6. Pendientes de las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís	27
Figura 7. Modelo de elevación digital del área de estudio y alrededores.....	28
Figura 8. Cuencas definidas utilizando el MED.....	29
Figura 9. Zonas de vida en el área de interés	30
Figura 10. Precipitación promedio anual en cantones en el área de interés	31
Figura 11. Precipitación promedio anual proyectada al 2030 en la cuencas de interés	32
Figura 12. Temperatura promedio anual en el área de interés.....	33
Figura 13. Capacidad de uso de la tierra en el área de interés.....	34
Figura 14. Uso - cobertura de la tierra en el área de interés.....	35
Figura 15. Geología en el área de interés.....	36
Figura 16. Geomorfología en el área de interés	37
Figura 17. Hidrogeología en el área de interés.....	38
Figura 18. Amenazas ubicadas por el SIE-CNE en el área de interés	39
Figura 19. Precipitación promedio anual, en el área de interés.....	42
Figura 20. Distribución pentadal promedio en la estación El Jardín	43
Figura 21. Distribución pentadal promedio en la estación Tabacales	44
Figura 22. Distribución pentadal promedio de la precipitación en la región de interés	46
Figura 23. Comparación de anomalías de precipitación en la estación Providencia y las anomalías de temperatura superficial “El Niño 3”	48
Figura 24. Desviaciones y comparación de la precipitación acumulada del período de febrero 1991 a junio 1992 con respecto al promedio.....	49
Figura 25. Desviaciones y comparación de los caudales mensuales acumulados del período de febrero 1991 a junio 1992 con respecto al promedio.....	51
Figura 26. Desviaciones y comparación de los caudales mensuales acumulados del período de marzo a diciembre 1996 con respecto al promedio.....	54
Figura 27. Lluvias puntuales acumuladas en días sucesivos para eventos que afectaron la cuenca del Río Savegre en los períodos 1988-89 y 1996.....	56
Figura 28. Curva de mejor ajuste para lluvias máximas diarias por estación	57
Figura 29. Curva de mejor ajuste para lluvias máximas diarias por estación	58
Figura 30. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 5 años para la región de interés	59
Figura 31. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 10 años para la región de interés	60
Figura 32. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 25 años para la región de interés	60
Figura 33. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 50 años para la región de interés	61
Figura 34. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 100 años para la región de interés	61
Figura 35. Estaciones virtuales provenientes del sensor TRMM y estaciones del IMN para la región de interés	66
Figura 36. Curvas PADF para las estaciones virtuales en el área de interés.....	66
Figura 37. Curvas PADF para las estaciones del IMN en el área de interés.....	67
Figura 38. Comparación de curvas PADF para las estaciones virtuales e históricas, en el área de interés.....	68
Figura 39. Perfil de las estaciones ubicadas en la cuenca de los ríos Parrita y Pirrís.....	70
Figura 40. Creciente seleccionada para simular la inundación.	71
Figura 41. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $T_r = 5$ años	73

Figura 42. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $Tr = 10$ años	74
Figura 43. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $Tr = 25$ años	75
Figura 44. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $Tr = 50$ años	76
Figura 45. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $Tr = 100$ años	77
Figura 46. Áreas mostrando los datos de elevaciones a diferentes escalas	78
Figura 47. Modelo de elevación digital del terreno cada 2 metros	79
Figura 48. Hidrograma de crecida para la subcuenca del Río Pirrís.	83
Figura 49. Hidrograma de crecida en la desembocadura del Río Grande de Candelaria	84
Figura 50. Hidrograma de salida en la desembocadura del río Parrita.	85
Figura 51. Profundidad de la inundación a las 4 am del 27 de mayo de 2008	88
Figura 52. Profundidad máxima de la inundación a las 8 pm del 29 de mayo de 2008	89
Figura 53. Profundidad máxima de la inundación a las 7 am del 31 de mayo de 2008	90
Figura 54. Riesgo de inundación basado en la profundidad y área cubierta por la inundación al momento del pico.	91
Figura 55. Inundaciones máximas alcanzadas para el evento del 31 mayo 2008	93
Figura 56. Profundidades alcanzadas para el evento del 31 mayo 2008.....	94
Figura 57. Inundaciones máximas alcanzadas para el evento del 31 mayo 2008	95
Figura 58. Inundaciones máximas alcanzadas para el evento del 31 mayo 2008	96
Figura 59. Uso de la tierra o de condición de uso para las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís ...	101
Figura 60. Divergencia de uso de la tierra para las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís	102
Figura 61. Relación de áreas divergentes respecto al área de las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.....	103
Figura 62. Composición del Índice de Desarrollo Social, 2007	106
Figura 63. Índice de desarrollo social a nivel distrital en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.	110
Figura 64. Segmentos censales en las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita	111
Figura 65. Población total por segmento censal en las cuencas de los ríos Candelaria Parrita y Pirrís	113
Figura 66. Índice de vulnerabilidad por segmento censal en las cuencas de los ríos Candelaria Parrita y Pirrís	114
Figura 67. Ejemplo de perfiles históricos y calendario histórico	118
Figura 68. Ilustración del croquis, mapa de riesgo y de capacidades.....	119
Figura 69. Amenaza por inundaciones en el área de interés	121

Índice Figuras Anexo A

Figura A 1. Componentes del análisis hidrológico-hidráulico de la planicie de inundación	127
Figura A2. Modelo de celdas para los cálculos del volumen de descarga	128
Figura A3. Tormentas para diferentes periodos de retorno en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.	130
Figura A4. Mapa de inundaciones en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís e inundaciones de la CNE, 2011	132

Índice Figuras Anexo B

Figura B 1. Modelo hipsométrico a partir del Modelo de Elevación Digital	134
Figura B 2. Acondicionamiento del MED utilizando el método AGREE.....	135
Figura B 3. Llenado de depresiones locales.....	136
Figura B 4. Cálculo de la dirección de flujo.....	137
Figura B 5. Acumulación de flujo cerca de la confluencia del Río Pirrís y Grande de Candelaria y sus respectivos códigos.	137
Figura B 6. Cálculo de la acumulación de flujo.....	138
Figura B 7. Acumulación de flujo en una sección de la cuenca del Río Parrita	138
Figura B 8. Definición de la red de drenaje de la cuenca del Río Parrita (GRID).....	139
Figura B 9. Segmentación de corrientes de la Cuenca del Río Parrita y su respectiva tabla de atributos	140
Figura B 10. Grid de subcuencas con su respectiva tabla de atributos. Los valores (value) de esta tabla coinciden con los valores (value) en la tabla de los tramos de los ríos.....	141
Figura B 11. Puntos de drenaje para la red de drenaje de la cuenca del Río Parrita.	142
Figura B 12. Cuenca del Río Parrita hasta la desembocadura y su respectiva tabla de atributos.	143
Figura B 13. División final de subcuencas para la modelación hidrológica del Río Pirrís-Parrita y Candelaria	144
Figura B 14. Ruta de flujo más larga para cada una de las subcuencas modeladas.....	149
Figura B 15. Ubicación y elevación del centroide de las subcuencas modeladas.	150
Figura B 16 Modelo de cuenca para exportar a HEC-HMS.....	151
Figura B 17. Mapa de condición hidrológica de la cuenca del Río Pirrís.	156
Figura B 18. Mapa de grupo hidrológico de suelos de la Cuenca del Río Parrita.....	157
Figura B 19. Mapa de NC para la cuenca del Río Parrita.	158
Figura B 20. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación hidrológica.	161
Figura B 21. Hietogramas de la tormenta del 27 al 29 de Mayo de 2008.....	164

Figura B 22. Modelo meteorológico HEC-HMS de la cuenca del Río Parrita (Ej. Candelaria Alto)	165
Figura B 23. Elementos que intervienen en la modelación de la escorrentía y flujo en canales en el modelo HEC-HMS.	166
Figura B 24. Modelo conceptual de la cuenca en donde se muestran los tramos (R), y la confluencia de los mismos (J).....	170
Figura B 25. Especificaciones de control para la simulación hidrológica de la Cuenca del Río Pirrís.....	171

Índice Figuras Anexo C

Figura C 1. Flujograma para la simulación hidráulica usando HEC-GeoRAS y HEC-RAS....	175
Figura C 2. Modelos de elevación de 10 y 2 m utilizados en la modelación.	176
Figura C 3. Línea central del Río Parrita para la modelación hidráulica y su respectiva tabla de atributos.	177
Figura C 4. Líneas de acotamiento o talud del río (Banks)	178
Figura C 5. Límites de la planicie de inundación, tanto derecha como izquierda.....	179
Figura C 6. Secciones transversales con su tabla de atributos.....	180
Figura C 7. Puente sobre el río Parrita en la ruta 34.	181
Figura C 8. Valores n-Manning para las diferentes tipos de cobertura en el área de estudio.....	182
Figura C 9. Interface gráfica de HEC-RAS con los archivos generados en ArcGIS importados.	183
Figura C 10. Editor de secciones transversales en HEC-RAS.....	184
Figura C 11. Sección transversal 7112.025 mostrando la topografía de la sección y la ubicación de los taludes (Banks) como puntos rojos.	184
Figura C 12. Puente sobre el río Parrita en la ruta 34.	185
Figura C 13. Hidrograma de entrada	185
Figura C 14. Datos del hidrograma de entrada en HEC-DDSVue.....	186
Figura C 15. Análisis de flujo variable del Río Parrita.	187
Figura C 16. Crecida pico en las secciones transversales aguas arriba, en el puente y en la sección agua abajo.	188

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Las dimensiones analíticas del Riesgo (adaptado de Barrenechea, J., 1999).....	21
Cuadro 2. Cuencas hidrográficas en el área de interés.....	24
Cuadro 3. Cantones y áreas que incluyen las cuencas de interés.....	24
Cuadro 4. Pendientes y áreas en las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita.....	27
Cuadro 5. Precipitación promedio para estaciones en el área de interés	41
Cuadro 6. Duraciones de los eventos El Niño y La Niña para el período 1982-2005	47
Cuadro 7. Valores de Intensidad de la lluvia para diferente periodo de recurrencia en años	59
Cuadro 8. Características de TRMM 3B42.....	65
Cuadro 9. Caudales estimados para cinco períodos de retorno en las estaciones estudiadas.	71
Cuadro 10. Transformación de lluvia para equivalente a $1\text{m}^3/\text{seg}$, acorde al tamaño de pixel	72
Cuadro 11. Resumen de resultados de la modelación de la subcuenca del Río Pirrís.	82
Cuadro 12. Resumen de resultados de la modelación de la subcuenca del Río Grande de Candelaria.	84
Cuadro 13. Resumen de resultados de la modelación de la subcuenca del Río Parrita (desembocadura).	85
Cuadro 14. Resumen de las áreas divergentes en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís	103
Cuadro 15. Índice de Desarrollo Social a nivel distrital en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.....	109
Cuadro 16. Resumen de la información vinculada a los segmentos censales en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís	112
Cuadro 17. Resumen de proyectos en la región de las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita	116

Índice de Cuadros Anexo A

Cuadro A 1. Factor de Manning-Strickler para los usos del suelo en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.	131
---	-----

Índice de Cuadros Anexo B

Cuadro B 1. Longitud de los segmentos de ríos	147
Cuadro B 2. Pendiente (Slp), elevación aguas arriba (ElevUP) y aguas abajo (ElevDS) de los segmentos de ríos.....	148
Cuadro B 3. Pendiente promedio de cada una de las subcuencas modeladas.	148
Cuadro B 4. Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura (para condición de humedad antecedente II e $I_a = 0.2S$)	153
Cuadro B 5. Condiciones de humedad antecedente (SCS).....	154
Cuadro B 6. Condición hidrológica en función de la cobertura vegetal.....	154
Cuadro B 7. Clasificación hidrológica de los suelos	155

Cuadro B 8. Valores de NC para las combinaciones de CH, GH y Cobertura	157
Cuadro B 9. Valor de la mediana del número de curva (NC) para cada una de las cuencas modeladas.	158
Cuadro B 10. Tiempo de desfase (tlag) para cada una de las subcuencas modeladas.	160
Cuadro B 11. Estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación hidrológica.	160
Cuadro B 12. Valores de precipitación (mm) horarios de las estaciones pluviométricas consideradas en el estudio.	161
Cuadro B 13. Peso de las estaciones pluviométricas en cada una de las subcuencas modeladas en el estudio.....	164
Cuadro B 14. Número de curva y % de impermeabilidad del suelo para las subcuencas modeladas.	167
Cuadro B 15. Tiempo de retardo y coeficiente al pico para las subcuencas del Río Parrita.	167
Cuadro B 16. Descarga inicial y constante de recesión para las cuencas modeladas.	168
Cuadro B 17. Valores de Muskingum K y X para los tramos modelados en la cuenca del Río Parrita	170

Presentación

Este informe presenta la metodología y los resultados de la consultoría solicitada por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), cuyo objetivo principal es el: "caracterizar el riesgo de la cuenca del río Pirrís-Parrita-Candelaria, con el fin de diseñar un sistema de alerta temprana contra inundaciones y generar procesos sostenibles de gestión del riesgo".

Dado que se han incluido varios modelos de inundación, el informe se inicia con el marco lógico que se utilizará en los análisis; y la metodología que se usó se desarrolla con detalle en los anexos, para que sea replicada cuando se tenga información hidro-climática que en la actualidad no existe.

Se recolecta diversa información relacionada a las amenazas de inundaciones. Aunque la mayoría de la información es útil para el estudio, se tienen vacíos importantes que se han identificado. El análisis se lleva a cabo con énfasis en el diagnóstico inicial de las amenazas climatológicas que se han dado en la zona y que han provocado diversos eventos de inundación que afectan continuamente a las llanuras de inundación, con incidencia a la población, la infraestructura y la economía del área. Se incluyen diferentes modelos de inundación con el objeto de tener mejor criterio de planificación para aumentar la resiliencia de las áreas vulnerables que se han visto afectadas. Con análisis para diferentes periodos de retornos de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Se dan las bases para avanzar en la puesta en marcha de a) medidas de resiliencia para la las áreas vulnerables y b) un Sistema de Alerta Temprana.

Resumen

El área de estudio se encuentra en el Pacífico Central en las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita, que son cuencas que en que su variación de altitud y las condiciones de lluvias intensas que reciben en sus partes altas y medias-bajas, requieren modelarse bajo el concepto de cuenca hidrográfica, para reconocer las necesidades, los problemas, las situaciones diversas y los riesgos, de las amenazas a inundaciones.

Las cuencas, además de ser el territorio donde se verifica el ciclo hidrológico, son espacios geográficos donde los grupos y comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura, y en donde las personas socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos renovables y no renovables, y en este caso donde el crecimiento urbano se ha ubicado en forma vulnerable respecto a las amenazas de inundación.

En los últimos tiempos, se viene reconociendo a las cuencas hidrográficas como los territorios más apropiados para conducir los procesos de manejo, aprovechamiento, planeación y administración del agua y, en su sentido más amplio y general, como los territorios más idóneos para llevar a cabo la gestión integral de los recursos hídricos, ya que involucra los recursos ambientales, en general (biofísicos, socio-económicos, culturales, institucionales y políticos).

De esta forma, partiendo de diferentes modelos de inundaciones, todos bajo el concepto de cuenca hidrográfica se hace una recopilación de la información histórica de las inundaciones, luego su modelamiento que permita conocer las áreas expuestas a las inundaciones en forma anticipada, y esto en combinación con la vulnerabilidad: social – económica – cultural, produciría la zonificación espacial del riesgo, que dará las bases para a) la planificación territorial y las medidas de resiliencia para la población e infraestructura actual y b) para el funcionamiento de un sistema de alerta temprana o continua.

Finalmente se dan lineamientos acerca del uso de la información y recomendaciones para las siguientes fases de implementación del sistema de alerta.

1. Introducción

La situación geográfica de la Cuenca del Río Pirrís - Parrita - Candelaria, hace que la misma esté sometida a una variabilidad climática importante con afectación directa o indirecta por huracanes y tormentas tropicales. Esta situación a su vez se agrava por la presión que ejerce la sociedad al ubicarse en áreas de alta vulnerabilidad respecto a las amenazas hidroclimáticas.

Respecto a amenazas los términos de referencia son muy específicos señalando a las inundaciones como la amenaza a considerarse y a integrarse mediante un análisis de riesgo integral del área de interés.

La Comisión Nacional de Emergencias en sus términos de referencia señala:

“Los primeros registros de inundaciones encontrados se remontan al 30 de octubre del año 1952, reportándose daños importantes en La Palma, la vía férrea, servicios marítimos suspendidos y pérdidas totales en la vía férrea.

Para el 25 de octubre de 1960, se reporta la población inundada y abundantes pérdidas materiales, en 1977 (2 octubre), se informa de 300 familias auxiliadas. Para el año 1988, los huracanes Gilbert y Joan, generan abundantes lluvias en el Pacífico Central, produciendo inundaciones en esta cuenca, que afectan de forma abundante la infraestructura de comunicaciones, viviendas y producción de toda la región.

Más recientemente, es posible demostrar como la cuenca del río Parrita se ha visto recurrentemente afectada por inundaciones que han generado no solo abundantes pérdidas materiales, sino la necesidad de reconstrucción de infraestructura dañada, muchas veces es afectada nuevamente en el siguiente evento. Algunos de los principales eventos que han afectado este sector son:

- *Sismo de Parrita, el 20 de noviembre del 2004 (Decreto Ejecutivo -D.E.- 32118-MP), se reportan solamente en el cantón de Parrita 80 casas dañadas y múltiples pérdidas en agricultura, transportes, comunicaciones, salud y otros.*
- *Temporal y Onda Tropical, 29 de octubre del 2007, daños generalizados en toda la cuenca, sobre todo en agricultura y viviendas. (D.E. 34045-MP)*
- *Tormenta Tropical Alma, 10 de junio del 2008, daños por casi 2 mil millones de colones solamente en el cantón de Parrita (D.E. 34553-MP).*

- *Depresión Tropical Nº 16, 4 de noviembre del 2008, durante 3 días este evento afecta al país provocando el desbordamiento de ríos, las inundaciones, las cabezas de agua y los deslizamientos, que se agrava por la saturación de suelos en el Pacífico Norte, Pacífico Central, Pacífico Sur, Valle Central y la Zona Norte. Solamente en Parrita se reportan más de 47 mil millones de colones en pérdidas. (D.E. 34805-MP).*
- *Tormenta Tropical Nicole, 30 de setiembre del 2010, genera enormes pérdidas en diferentes comunidades del Valle Central y Pacífico Central, en Parrita se reportan pérdidas mayores a 184 mil millones de colones.*
- *Huracán Tomas, 2-7 noviembre 2010, se cobra la vida de más de 30 personas y extendidos daños en el Pacífico Central. Solamente en el Parrita se estiman más de 20 millones de colones en pérdidas (D.E. 36252). “*

Estos antecedentes, demuestran con mucha claridad el alto grado de exposición de la población, las actividades agrícolas e infraestructura pública a las recurrentes inundaciones que se presentan en el sector, lo que fija el enfoque principal de este estudio.

Los efectos de fenómenos tipo huracán, en particular, Gilbert o Joan fueron devastadores para las cuencas donde se ubican estos cantones, sin embargo otros de tipo tormentas han sido igualmente devastadores, produciéndose pérdidas de millones de dólares por daños a propiedades, infraestructura, usos productivos de la tierra y servicios. Anualmente, se sufren cientos de eventos a pequeña y mediana escala que, combinados, causan más perjuicios y alteraciones que los grandes eventos.

Esta clase de eventos amenaza el desarrollo sostenible, al destruir años de esfuerzo e inversiones y al crearle nuevas cargas a la sociedad para la reconstrucción y la rehabilitación, así como por desviar las prioridades de desarrollo de los objetivos a largo plazo hacia la satisfacción de necesidades más inmediatas.

Ambos tipos de fenómenos, sean de gran escala (huracanes y terremotos) o de pequeña escala (tormentas, efectos de “El Niño”, períodos de sequías, y otros), no tienen que convertirse en “desastres naturales y sociales”. Gran parte del riesgo puede reducirse con una planificación apropiada, incluyendo el manejo adecuado de la gestión ambiental y esto puede llegar ser más importante que un sistema de alerta temprana, en el sentido que esto es una reacción al momento de la inundación, que protege a la población al alertarla, pero los daños y pérdidas sobre los bienes seguirán produciéndose.

Por otra parte, los riesgos de la amenaza por inundaciones aumentan debido a las tendencias sociales y ambientales tales como: la rápida urbanización y los asentamientos humanos descontrolados, construcciones mal diseñadas, falta de infraestructura adecuada, pobreza, y prácticas ambientales inapropiadas como la deforestación y la degradación de la tierra. Estas causas deben ser atendidas tanto inmediatamente en el proceso de reconstrucción posterior al evento, como a largo plazo, mediante un manejo adecuado de la cuenca hidrográfica. Es aquí donde las acciones que realizan diferentes instituciones y entidades en cuanto a regular los espacios, buscando zonificaciones territoriales toman importancia solo si se consideran la Gestión del Riesgo con información efectiva y oportuna para la toma de decisiones.

El enfoque moderno de la planificación de los usos de la tierra y el manejo de los recursos naturales, especialmente el manejo de cuencas hidrográficas, desempeñan un papel fundamental en la reducción de los riesgos.

Hay una variedad de medidas de tipo político y herramientas que se pueden utilizar con el fin de disminuir la vulnerabilidad. Las agencias públicas pueden hacer cumplir las medidas reguladoras, así como controlar los usos de la tierra. Otro enfoque lo constituye la creación de incentivos económicos mediante los cuales se anima a los involucrados a invertir en procesos de gestión ambiental. Sin embargo, estas acciones requieren conocer espacialmente la amenaza del fenómeno, las zonas vulnerables y de ahí los niveles de riesgo.

2. Objetivo general

Caracterizar el riesgo de la cuenca del río Pirrís-Parrita-Candelaria, con el fin de diseñar un sistema de alerta temprana contra inundaciones y generar procesos sostenibles de gestión del riesgo.

Se pretende así, realizar un estudio para determinar el **grado de riesgo** y el impacto que los eventos generadores de inundaciones, tienen en la Región de Pirrís- Parrita - Candelaria, dándole un enfoque desde el punto de vista del Manejo de la Cuenca Hidrográfica, a escala base 1:25,000, con información temática digital auxiliar a diferentes.

3. Objetivos específicos

Los objetivos específicos se centran en:

- I. **Caracterización hidrometeorológica de la cuenca:**
 - Se deberán implementar modelos hidrometeorológicos que permitan, con el máximo de horas de anticipación, alertar a la población de la parte baja de la cuenca sobre una inundación potencialmente peligrosa. Los modelos deberán ser implementados tanto en la CNE como en la oficina del Comité Municipal de Emergencias.
 - Se deberán identificar las áreas que pueden ser afectadas por inundaciones, debido a crecientes con 5 años, 10 años, 25 años, 50 años y 100 de periodo de retorno, en aquellos sectores cercanos a centros de población. Los mapas de inundación deberán elaborarse a partir de información topográfica de las secciones transversales a los cauces de los ríos, levantada directamente en el campo o un modelo alterno.
 - Con base en los mapas de inundación, en las características físicas de la cuenca y las distribuciones espaciales y temporales de los eventos extremos de precipitación, se debe definir un sistema de alerta temprana contra inundaciones, que considera al menos:
 - La definición de los umbrales de precipitación que requieran de un conjunto de acciones para salvaguardar vidas y propiedades.
 - Las características climáticas que permitan emitir una alerta con al menos tres horas de anticipación.
 - Desarrollar un protocolo que especifique: a) quien recibe la información hidrometeorológica, b) quien procesa la información, c) quien emite la alerta, d) El formato de mensaje de alerta, el cual debe ser específico, congruente, claro en la ubicación, claro en las acciones a tomar, explicar con qué evento debe tomarse como cierto y actualizarse con qué frecuencia. e) Las acciones a tomar por parte de la población, una vez emitida la alerta, para salvaguardar vidas y propiedades.
- II. **Caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención para la cuenca.**

Establecer una línea base que integre al menos los siguientes aspectos:

-
- Uso actual de la tierra y capacidad de uso, conflictos del uso.
 - Registro de eventos críticos, debe incluirse cronología, localidades afectadas, número de personas afectadas, número de viviendas afectadas y mapa de impacto. El rango de escala será entre 1:25,000 y 1:10,000 o menos, dependiendo de la información cartográfica existente.
 - Composición etárea de la población en las áreas de amenaza y distribución (datos estadísticos y distribución geográfica de la población, así como la nomenclatura de del lugar, toponimia).
 - Inventario de las principales organizaciones sociales de la cuenca, año de creación, forma de administración, áreas de acción social actual, número de miembros, tipo de relaciones o vínculos con la municipalidad, proyectos, programas o acciones vigentes en la temática ambiental, educación, protección de cuencas, organización para emergencias, vigilancia de amenazas, formas de obtención de recursos, humanos y materiales y cualquier otra información que se considere necesaria.
 - Descripción de las principales actividades económicas en la cuenca.
 - Identificación y señalamiento de la infraestructura vulnerable a inundaciones. Análisis de la percepción comunal del riesgo con actores claves de las comunidades.(entrevistas, talleres): a. mapas de percepción, memoria histórica (respaldada con documentos), b. Conclusiones donde se integra toda la información histórica y la percepción del riesgo, c. Aspectos positivos y negativos identificados con los siguientes ejes: a. degradación ambiental, b. emergencias y desastres, c. trámites de construcción – plan regulador, d. salud-educación.
 - Escenarios de intervención del Estado y el Municipio, sobre las causas, efectos para reducir el riesgo.
 - Señalar opciones validadas con las comunidades para la transferencia del riesgo (seguros y otros).
 - Propuesta para incorporar la información generada en los planes reguladores de los cantones involucrados.
 - Propuesta de una estrategia de intervención a cinco años plazo con las comunidades priorizadas, identificando responsables y medidas a implementar.

- Caracterizar las comunidades en riesgo con el fin de dar insumos para el desarrollo de planes reguladores que integren la variable de gestión del riesgo y a la vez contar con una línea base de la vulnerabilidad de esta región a las diferentes amenazas.

4. Metodología

Determinar el grado de riesgo, partiendo de que el mismo se puede entender como una evaluación cognoscitiva de las pérdidas que pueden ocurrirle a un elemento expuesto, de acuerdo con sus características, su situación y un contexto particular de tiempo y de espacio, el análisis pretende **cuantificar espacialmente el grado de riesgo**, con énfasis en la amenaza de inundación.

Proponer y considerar un modelo preliminar de ordenamiento territorial con énfasis en prevención, en el que se considere el riesgo como una función de la amenaza y de la vulnerabilidad, esto es, $R = f(A,V)$

Donde

R = riesgo ante un evento

V = grados de exposición y fragilidad, valor económico, potencial de daño a la vida humana y al ambiente, esto es el impacto del fenómeno sobre la vida humana y el ambiente.

A = amenaza por fenómenos naturales destructivos con o sin intervención humana.

Caracterización de la amenaza por inundaciones y otros procesos hidrometeorológicos

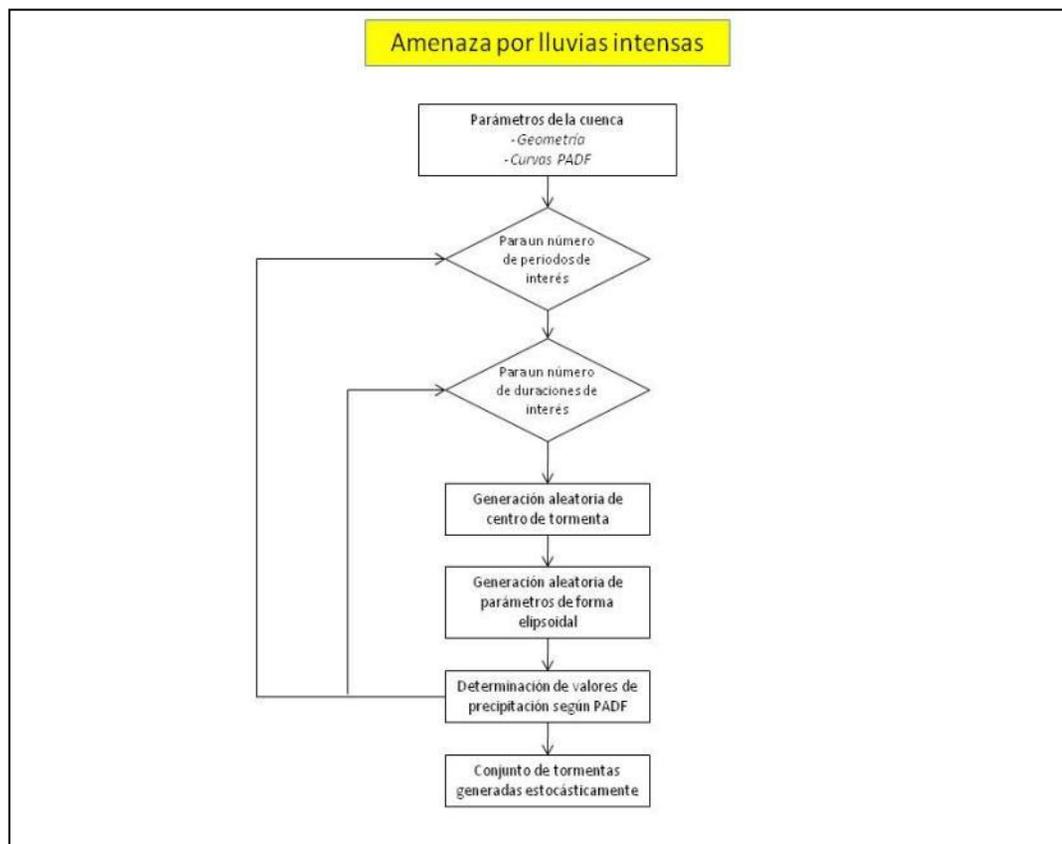
Amenaza de inundaciones

Para realizar este estudio, se utilizarán modelos de elevación digital, sea del 1:25,000 o de la información suministrada por Catastro Nacional (1:10,000), que debe ser suministrada por la CNE. Se tomará como base el estudio: Diagnóstico del Recurso Hídrico para la Región Pacífico Central, desarrollado por J. Saborío, para AyA, en el año 2010.

La selección del modelo de amenaza por lluvias intensas se hace teniendo en cuenta la necesidad de contar con un modelo detallado, cuyos resultados estén basados en registros diarios de precipitación, y cuya aplicación permita caracterizar las condiciones de pluviosidad de cuencas y subcuencas, dada su posterior inclusión como insumo al modelo de amenaza por inundación.

Para la amenaza de inundaciones por ser de tipo hidrometeorológica se usarán el enfoque el diagrama de flujo del modelo seleccionado de evaluación de amenaza por lluvias intensas, ver Figura 1.

Figura 1. Diagrama del modelos de lluvias intensas, fuente CAPRA, 2009.



Los pasos principales para el desarrollo del modelo son los siguientes:

- (1) *Caracterización de la cuenca de análisis:* debe caracterizarse la cuenca mediante un juego de curvas PADF. El proceso de caracterización es previo a la aplicación del modelo.
- (2) *Caracterización geográfica de la cuenca:* el modelo propuesto debe trabajarse a nivel de cuenca, razón por la cual debe conocerse el límite o divisoria de aguas de la misma.
- (3) *Generación de tormentas estocásticas:* a partir de la información contenida en las curvas PADF, se generan tormentas estocásticas mediante la generación aleatoria

de su ubicación y forma (elipsoidal), con valores de precipitación que cumplen la relación profundidad-área, para una duración y frecuencia de ocurrencia determinados.

Para la amenaza se utilizará el programa **FLOODAREA**, **alternativamente HEC-GEORAS o bien ERN_Inundación de CAPRA** que permite modelar las áreas de inundación para diferentes periodos de recurrencia, esto ha sido probado en el estudio de la Región Huetar Atlántica, ABT y Asociados para MIDEPLAN, 2004 y para la cuenca del Río Savegre por Saborio, J. y Rodríguez M, 2002. ICE. Para esto se requiere de un modelo de elevación digital corregido hidrológicamente, de datos de lluvias o de caudales para diferentes periodos de recurrencia, del uso de la tierra a esa escala 1:25,000.

La modelación se hará por cuenca hidrográfica y se integrará la misma en un mapa de inundaciones para toda la región analizada.

FloodArea es un producto de Geomer gmbH, de Heidelberg, de Alemania. El propósito principal **de FloodArea** es la delineación de las áreas inundadas. Los cálculos se basan sobre:

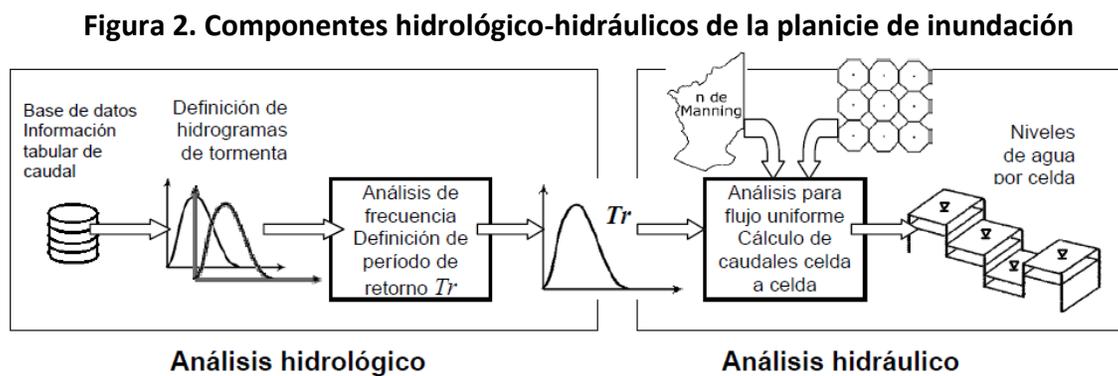
- Un Grid de la red de drenaje con los niveles de agua asignados a éste. Aunque los niveles del agua pueden variar espacialmente (por ejemplo: a lo largo de un cauce del río) siguen siendo constantes durante el proceso de la simulación. Sin embargo, los niveles del agua se pueden cambiar, modificándolos entre corridas únicas del modelo,
- Uno o más hidrogramas en coordenadas definidas por el usuario. Las coordenadas son editables recíprocamente,
- Una simulación de la tormenta de una lluvia sobre un área más amplia, especificada por una cuadrícula "Grid" de pesos.

Los resultados del modelo se almacenan como rejillas o Grid en intervalos definidos por el usuario, proporcionando la posibilidad de reproducir el aspecto temporal del proceso de inundación. Los valores de las rejillas resultantes se pueden almacenar como niveles absolutos de la altura o como valores relativos a la superficie.

Se pueden especificar parámetros adicionales para una ejecución de la simulación. Las barreras del flujo (por ejemplo: terraplenes o diques) que no son representadas por el modelo de elevación se pueden especificar. Las localizaciones de las fallas de la presa pueden ser especificadas determinando en qué puntos fallan las barreras al flujo, haciendo que la presa se rompa en escenarios posibles.

Para adaptar las velocidades del flujo a las condiciones del mundo real, se pueden especificar por el usuario los valores de la rugosidad.

La Figura 2 muestra el análisis hidrológico – hidráulico que realiza el modelo.



Para entender el análisis de riesgo se requiere partir de la siguiente premisa filosófica: ***“la forma en que se piensan los problemas orienta el tipo de solución que se adopta”***. (Barrenechea, J. 1999). Inicialmente se puede definir al riesgo como una evaluación cognoscitiva de las pérdidas que pueden ocurrirle a un elemento expuesto, de acuerdo con sus características, su situación y un contexto particular de tiempo y de espacio.

Si se piensa en *“el riesgo como proceso”*, se trata de situaciones complejas que se construyen históricamente y se materializan en un territorio.

Si la solución es la *“gestión de riesgo como continuo”* se trata de fases diferenciadas, dentro del *“ciclo del desastre”*, aunque se considera que las actividades de cada una tienen impacto sobre las otras. Las fases se conocen como:

- Prevención
- Preparación
- Respuesta
- Rehabilitación
- Reconstrucción.

Entendiéndose la prevención como las acciones para evitar la causa primaria del desastre; la preparación como la respuesta para la atención de las emergencias que inevitablemente se pueden presentar. La respuesta en sí, como la ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación; la rehabilitación como el restablecimiento del funcionamiento de las líneas vitales y, finalmente, la reconstrucción como el proceso

de recuperación a mediano y largo plazo de las estructuras afectadas por la ocurrencia de un desastre.

Desde la perspectiva de la planificación y del manejo de cuencas hidrográficas interesa el concepto asociado a las fases iniciales y que se puede integrar bajo el término reducción, que agrupa los conceptos de prevenir la ocurrencia, mitigar las pérdidas, prepararse para las consecuencias y alertar la presencia.

El riesgo diferencia analíticamente 4 dimensiones irreductibles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Las dimensiones analíticas del Riesgo (adaptado de Barrenechea, J., 1999)

PERSPECTIVAS	CONOCIMIENTO NECESARIO
Amenaza (Peligrosidad potencial)	Aspectos físico – naturales, físico – químicos y procesos vinculados al fenómeno desencadenante.
Exposición (Materialización)	Aspectos territoriales y poblacionales. Aquello materialmente expuesto al peligro (número de personas, bienes, su
Vulnerabilidad (Estructuras y procesos sociales)	Aspectos socioeconómicos del estado antecedente de los grupos sociales involucrados. Marcos institucionales. Aspectos culturales.
Incertidumbre (Contexto en el que se toman las decisiones)	Aspectos del conocimiento, políticos y de percepción de los grupos sociales involucrados. Valores e intereses en juego.

4.1 Importancia del análisis de riesgo

Un diagnóstico cuali - cuantitativo del riesgo permite identificar las heterogeneidades del área involucrada y, en consecuencia, realizar aportes concretos diferenciales en cada una de las fases del desastre. En la **prevención**, implementar medidas focalizadas y diversificadas (de zonificación territorial, de educación, de comunicación, de organización, etc.), dirigidas a distintos grupos sociales según su tipo y grado de vulnerabilidad. En la **preparación**, priorizar grupos sociales que requieran medidas específicas para la respuesta. Y sin ser parte de este estudio: en la **respuesta**, se podrá contar con información de consulta directa para tomar medidas diversificadas según las características, necesidades y posibilidades de los distintos grupos sociales y en la rehabilitación y la reconstrucción, se podrá plantear el mejoramiento de la situación pos-desastre.

Además de todas estas circunstancias de origen natural envueltas en el diagnóstico (estructuras geofísicas, localizaciones geológicas y condiciones meteorológicas), la situación social y económica generalmente crea condiciones adicionales de vulnerabilidad a los riesgos, con la continua amenaza de desastre.

De esta forma, las amenazas naturales obstruyen el desarrollo sostenible de la cuenca hidrográfica al destruir años de esfuerzo en desarrollo e inversiones, al generar nuevas cargas sobre la sociedad para la reconstrucción y la rehabilitación, y al desviar las políticas de desarrollo y las prioridades con serias consecuencias a largo plazo. Aun cuando la asistencia de la comunidad internacional responde de una manera generosa, ésta rara vez cubre más de una fracción de los costos para las sociedades afectadas. Para las economías relativamente pequeñas, las amenazas naturales pueden ser extremadamente dañinas.

Por estas razones, el incorporar la variable riesgo en los planes de manejo de las cuencas hidrográficas coadyuva a una mejor toma de decisiones en beneficio del ambiente (comunidades, recursos y servicios) en la cuenca hidrográfica, más aún, en opinión de Saborío, J. (2002), el análisis de riesgo se convierte en una metodología apta para realizar una mejor zonificación y la posibilidad de realizar un ordenamiento territorial más real, como base del Plan de Manejo de la Cuenca Hidrográfica, por lo que se debería considerar como un modelo de Ordenamiento Territorial, en lugar de una variable adicional al Plan de Manejo, como se ha tratado tradicionalmente.

4.2 Caracterización del riesgo

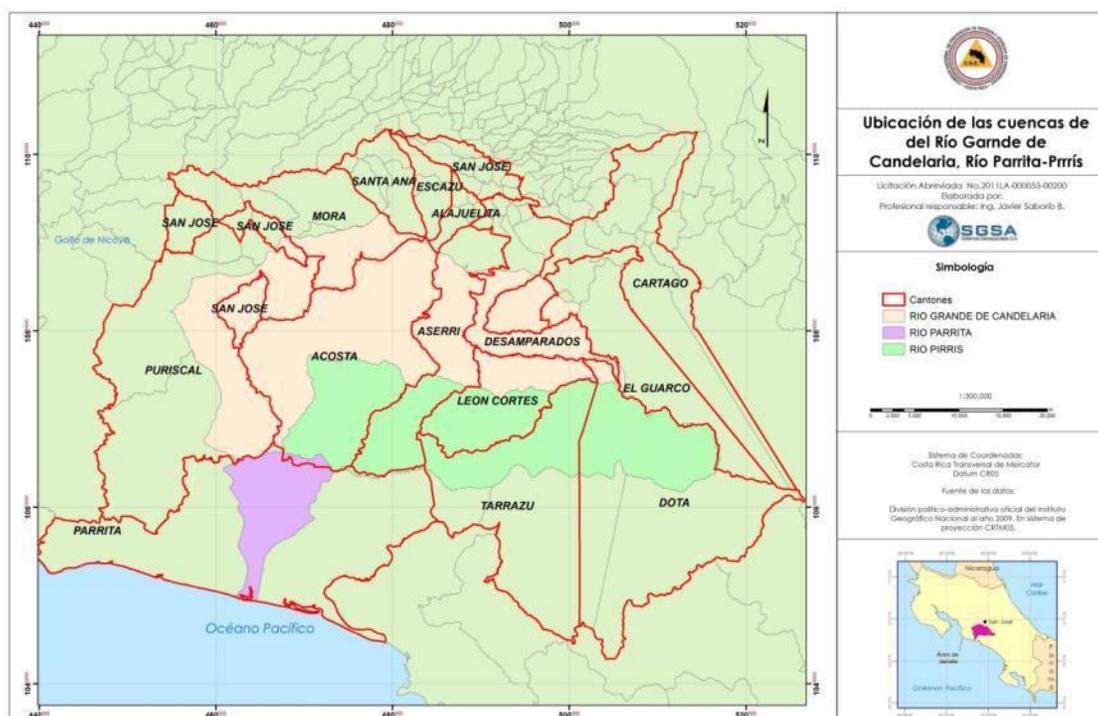
Para este apartado se siguen los términos de referencia solicitados por la CNE, dado que algunos son de tipo general, se adaptarán al área de estudio. Como abordaje a la caracterización se seguirá el modelo de riesgo, iniciando con la caracterización de las amenazas, luego la exposición o vulnerabilidad (componente local) y se finalizará con posibles medidas de intervención (estructurales y no estructurales) tanto en el ámbito local (comunidad y municipal) y nacional (instancias del Sistema Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias)

Se debe indicar que el análisis se hará a nivel del área de estudio y luego los principales resultados se desagregarán por cantón.

5. Descripción del área de estudio

El área de interés se ubica en los Cantones de Parrita en su parte baja de la cuenca y Tarrazú, Dota y León Cortez en la Parte Media y Alta de la Cuenca y otros. En la figura 3, se muestra el área de estudio, siguiendo el enfoque de cuencas hidrográficas para el estudio de la amenaza por inundaciones y de los límites cantonales para la vulnerabilidad. Se observan las cuencas de los ríos Candelaria, río Parrita y río Pirrís.

Figura 3. Ubicación del área de interés



Cuadro 2. Cuencas hidrográficas en el área de interés

Región	Nombre de la cuenca	Area (Km ²)	Porcentaje
Pacífico Central	Río de Candelaria	707.8	54.9
Pacífico Central	Río Parrita	102.4	7.9
Pacífico Central	Río Pirrís	478.3	37.1
Total		1288.5	100.0

Respecto a los cantones dónde se ubican las cuencas hidrográficas, en el Cuadro 3, se incluyen los cantones con sus áreas respectivas. Dejando por fuera los cantones con áreas en porcentaje de cero, debido a las imperfecciones de los archivos utilizados y aunque ambos son los oficiales, se tienen problemas entre sus límites, debido a que corresponden a diferentes fuentes.

Cuadro 3. Cantones y áreas que incluyen las cuencas de interés

Número	Nombre Cantón	Provincia	Area (Km ²)	Porcentaje
1	ACOSTA	SAN JOSE	341.5	26.5
2	ALAJUELITA	SAN JOSE	0.2	0.0
3	ASERRI	SAN JOSE	138.6	10.8
4	CARTAGO	CARTAGO	33.9	2.6
5	DESAMPARADOS	SAN JOSE	64.9	5.0
6	DOTA	SAN JOSE	128.9	10.0
7	EL GUARCO	CARTAGO	13.1	1.0
8	ESCAZU	SAN JOSE	0.1	0.0
9	LEON CORTES	SAN JOSE	122.6	9.5
10	MORA	SAN JOSE	54.5	4.2
11	PARRITA	PUNTARENAS	101.6	7.9
12	PURISCAL	SAN JOSE	155.0	12.0
13	SAN JOSE	SAN JOSE	30.2	2.3
14	SANTA ANA	SAN JOSE	0.2	0.0
15	TARRAZU	SAN JOSE	103.4	8.0
Total			1288.5	100.0

El cantón de Acosta ocupa el 26.5% del área de estudio, el cantón de Puriscal el 12.0%, el cantón de Aserrí con 10.8%, el cantón de Dota con 10.0%, el cantón de León Cortés con 9.5%, el cantón de Tarrazú con 8%, el cantón de Parrita con 7.9%, el cantón Desamparados con 5%, el cantón Mora con 4,2% el cantón de Cartago con 2.6%, el cantón de San José con 2.3% y el cantón del El Guarco con 1%, respecto al área total del estudio.

Aunque se observan no coincidencias del límite cantonal y las cuencas, esto se retomará al definir la cuencas hidrográficas de forma más precisa, con la ayuda del modelo de elevación digital del terreno.

5.1 Hidrografía

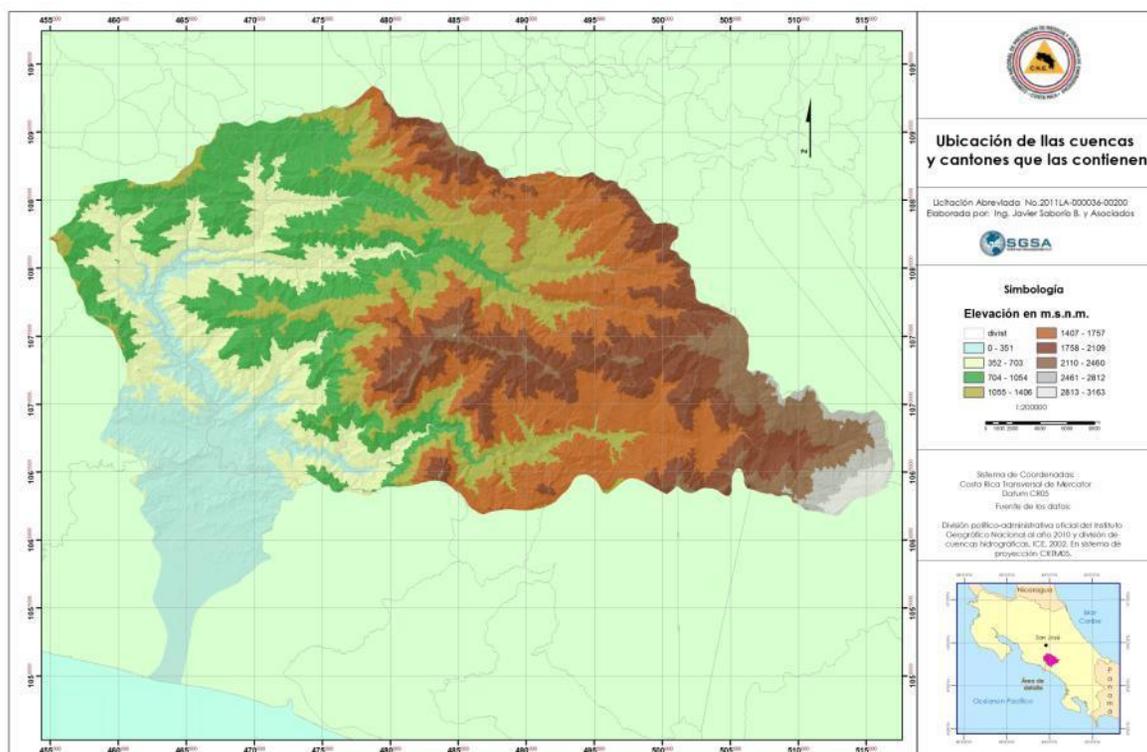
La divisoria de cuencas utilizada corresponde al ICE, 2002 a escala 1:50,000.

De esta forma, el área de interés se ubica en el Pacífico Central o Pacífico Medio y cubre totalmente la cuenca del río Candelaria en un 54.9 % (707.8 Km²), la cuenca del río Pirrís en un 37.1 % (478.3 Km²), y la cuenca del río Pirrís con un 7.9% (102.4 Km²). En la Figura 5 se incluyen el área de interés en las cuencas hidrográficas que la contienen.

5.2 Orografía

El área presenta altitudes que van desde los 0 msnm hasta los 3 163 msnm, ver Figura 4. Siendo la variación en altitud muy considerable, se considera que éste es un factor que interviene y regula los aspectos climáticos, por lo que se hace necesario reconocer o caracterizar el clima considerando dos sectores: el sector montañoso y el sector medio, idealmente hasta la costa.

Figura 4. Modelo de elevación digital del área de interés



Este modelo es de tipo preliminar, porque luego se usará un modelo a detalla y que define mejor el área de la desembocadura.

5.3 Pendientes

Con base en el Decreto Ejecutivo 23214-MAG-MIRENEM, se han establecido los rangos de pendiente y su nomenclatura están basados en la metodología de Capacidad de Uso de la Tierra, en la Figura 6 se incluyen los rangos de las pendientes.

Figura 5. Tipos de relieve y convención de nomenclatura para la gestión del paisaje

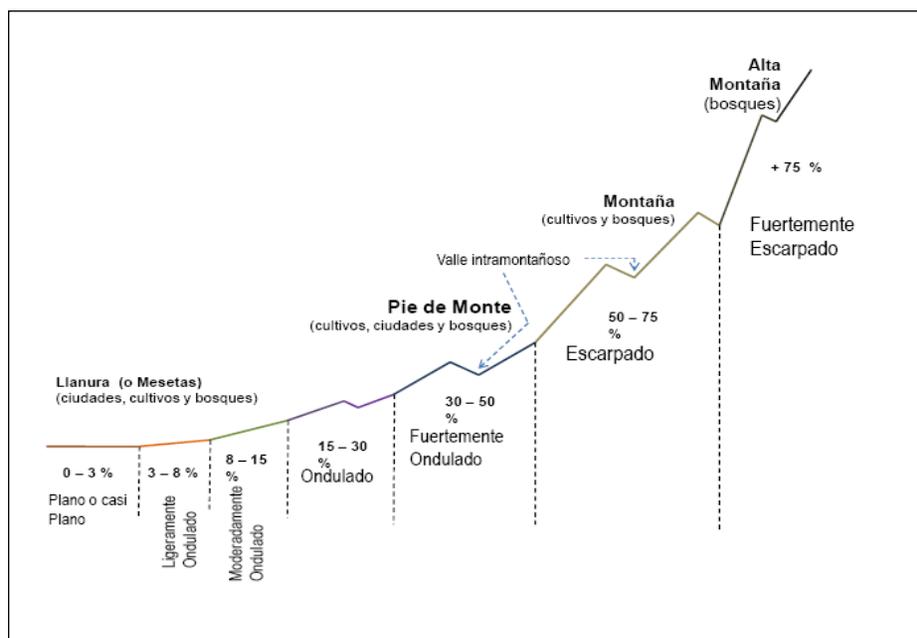
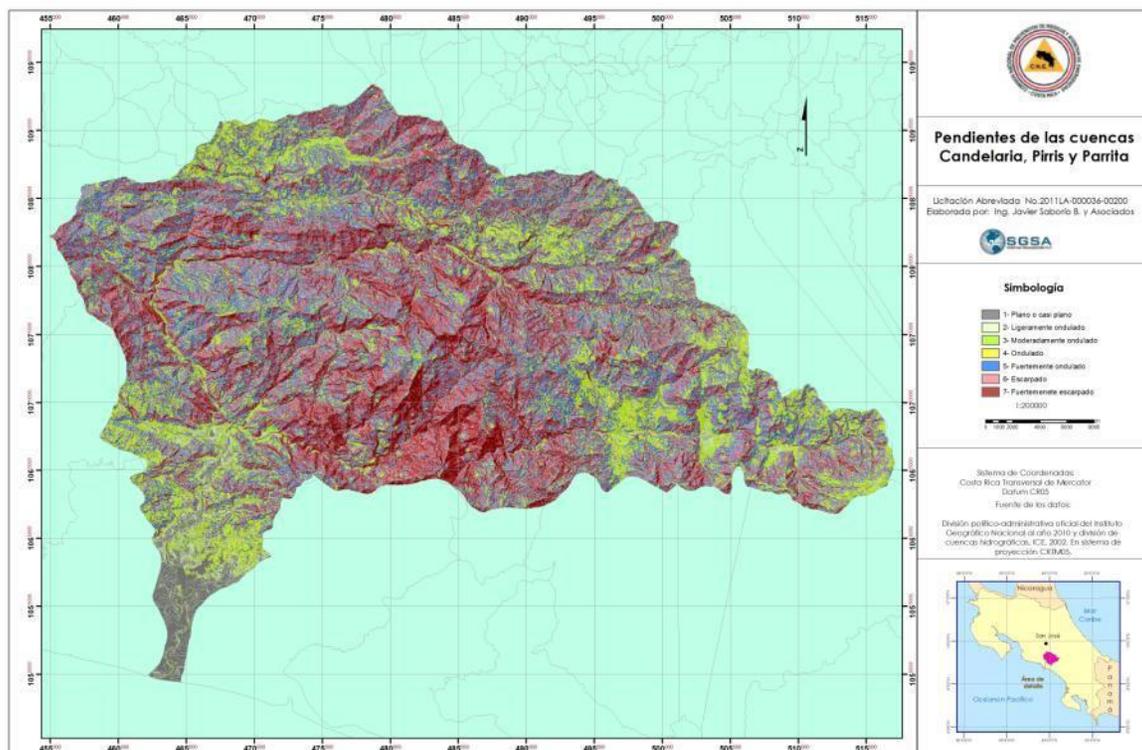


Figura 6. Pendientes de las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís



Cuadro 4. Pendientes y áreas en las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita

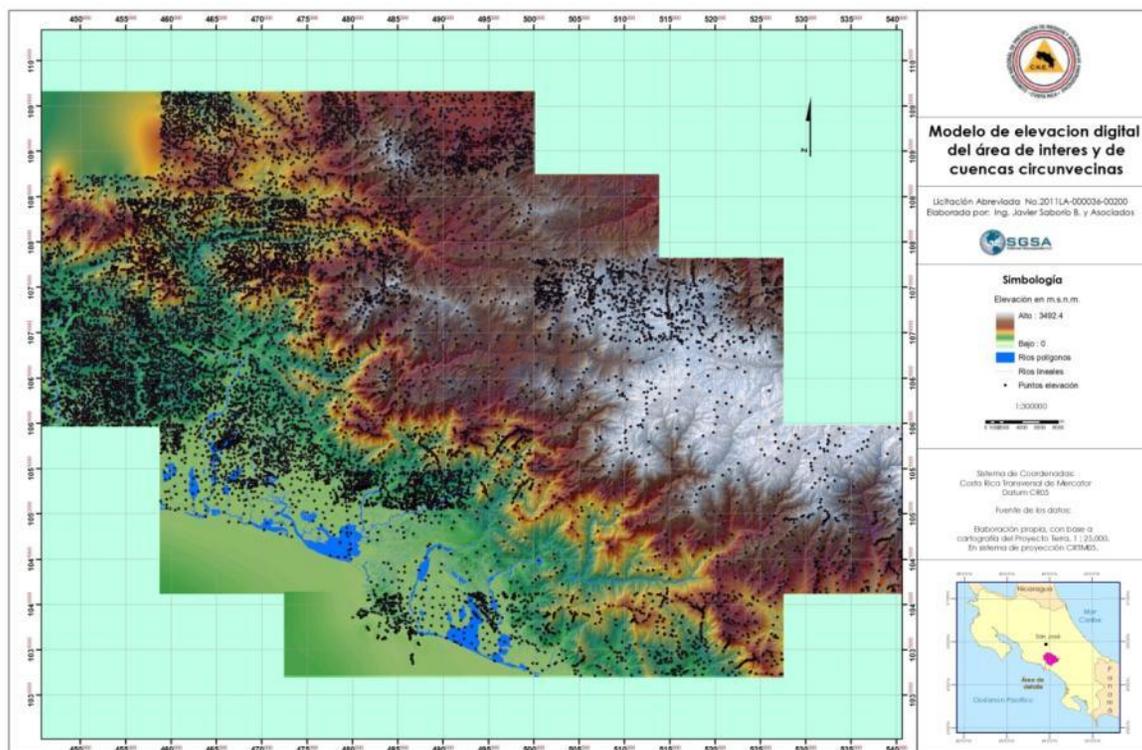
Clase	Rango %	Descripción	Area	Porcentaje
1	0 a 3	Plano o casi plano	48.5	3.8
2	3 a 8	Ligeramente ondulado	29.4	2.3
3	8 a 15	Moderadamente ondulado	100.2	7.8
4	15 a 30	Ondulado	249.1	19.3
5	30 a 50	Fuertemente ondulado	364.7	28.3
6	50 a 75	Escarpado	296.6	23.0
7	Mayor 75	Fuertemenete escarpado	200.0	15.5
Total			1288.5	100.0

5.4 Modelo de elevación digital

Para el análisis de inundaciones se requiere de un modelo de elevación digital preciso. A la fecha se ha localizado al información básica generada por el Proyecto TERRA, 1998 y se está a la espera de nueva información generada por el Proyecto de Catastro Nacional, 2010.

La información comprende datos de curvas de nivel cada 10 metros, puntos de elevación y ríos tanto lineales como de polígono, estos reflejan el ancho de los ríos o los lagos o cuerpos de agua. Con esto se produjo un modelo de elevación digital del terreno que se podría mejorar con la información que suministre Catastro Nacional (a la fecha no ha aportado nada que mejore al modelo) y en el futuro con imágenes LIDAR. En la Figura 7 se incluye el modelo que se ha extendido más allá de los límites del estudio.

Figura 7. Modelo de elevación digital del área de estudio y alrededores

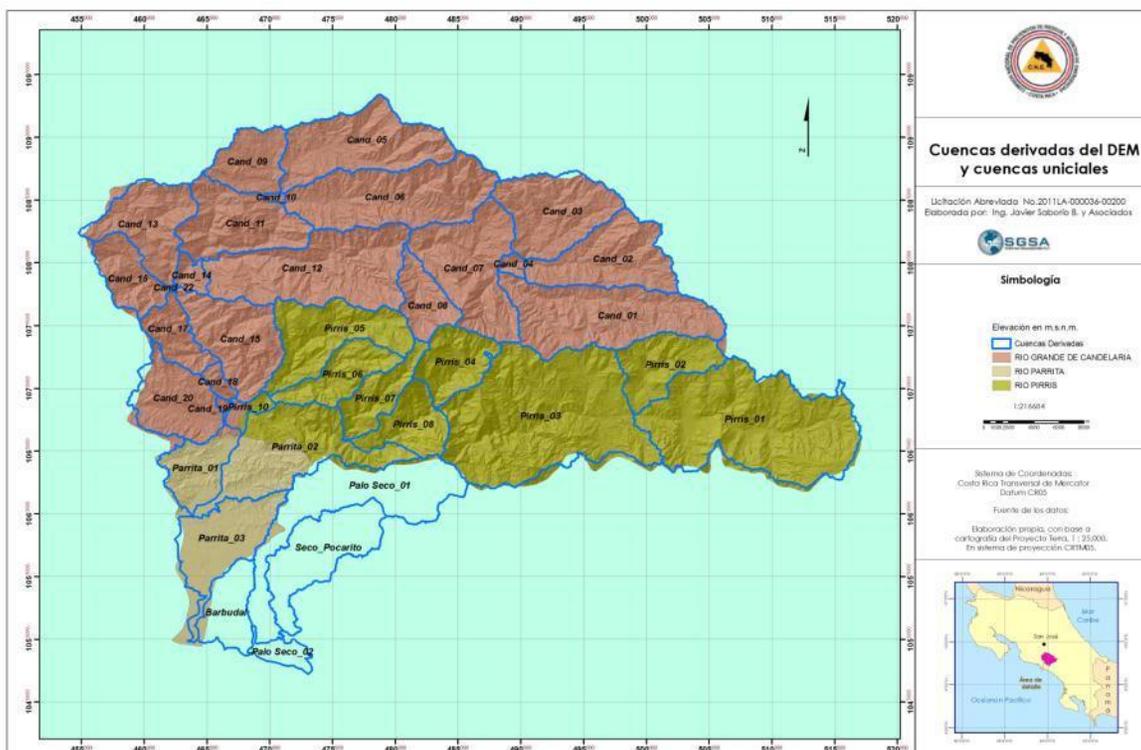


5.5. Cuencas hidrográficas derivadas

Con base al Modelo de Elevación Digital (MED) y utilizando el programa ArcHidro se logran redefinir las cuencas del área de interés.

En la Figura 8 se incluyen las cuencas derivadas.

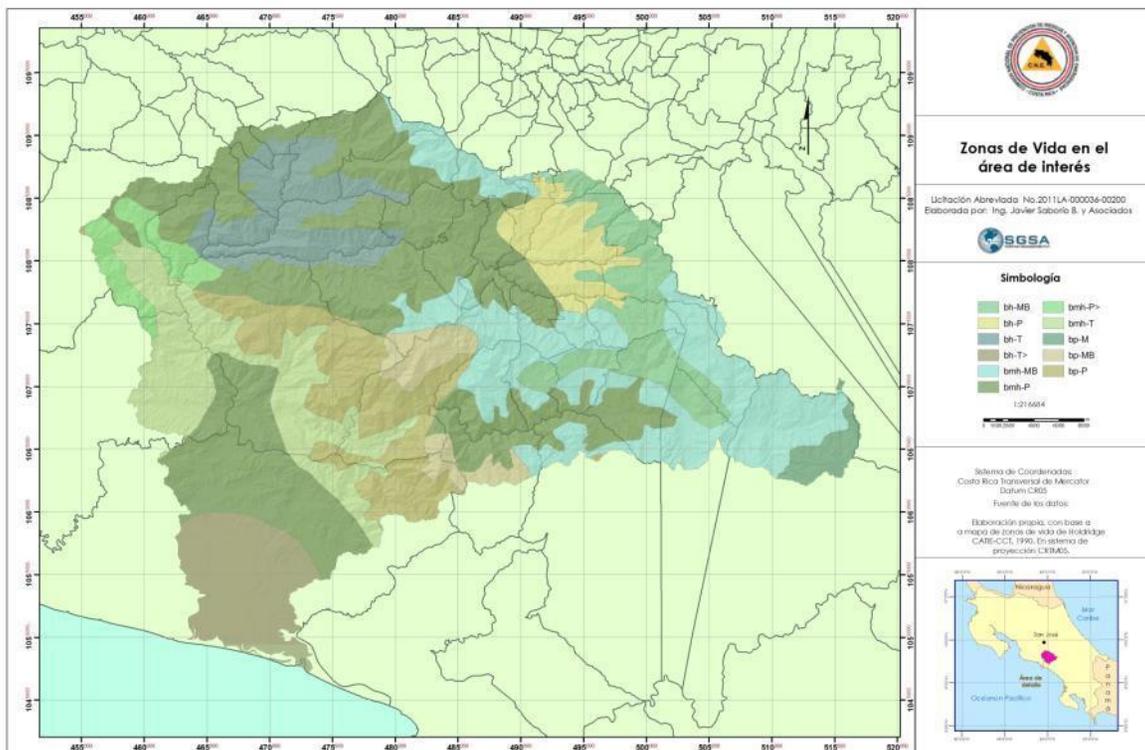
Figura 8. Cuencas definidas utilizando el MED



5.6 Zonas de vida

Respecto a Zonas de Vida, se utilizó el Mapa Ecológico de Costa Rica, según el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida del Mundo de L. R. Holdridge, del Centro Científico Tropical. En la Figura 9 se muestran las 11 zonas que se tienen en el área de interés.

Figura 9. Zonas de vida en el área de interés

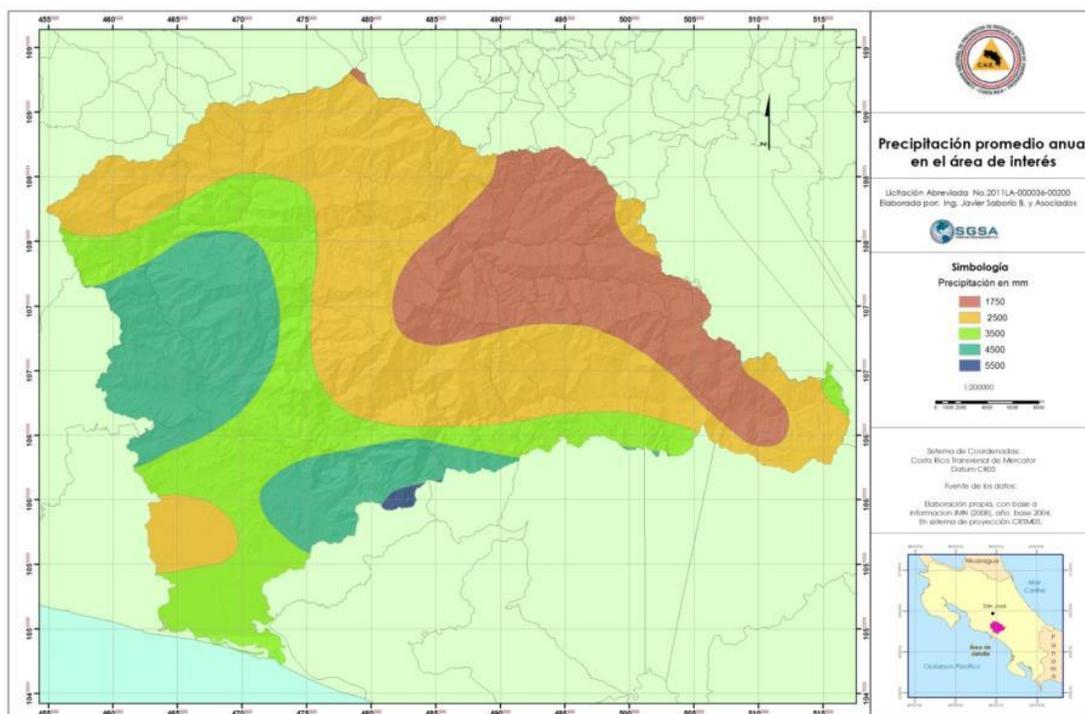


5.7 Climatología

Con base en el mapa de precipiación a nivel anual correspondiente a la líneas base para Costa Rica y desarrollado por el IMN para el periodo 1961-1990, tomado de El Clima, su variabilidad y Cambio Climático en Costa Rica (IMN, 2008); para el área de interés, la precipitación media anual es de 2946 mm, con un máximo de 5500 mm y un mínimos de 1750 mm, con un período seco entre diciembre y abril, y una temperatura media anual entre 16°C y los 22.6 °C.

Las condiciones de relieve hacen que se presente un máximo de precipitación localizado en la región central- hacia el Suroeste del área, debido al ascenso orográfico del aire húmedo procedente del Pacífico; a medida que éste asciende hacia el Norte la precipitación disminuye hasta alcanzar el mínimo en la divisoria del área, que a su vez es divisoria continental de la vertiente del Caribe y del Pacífico (ver Figura 10, “Precipitación promedio anual en las cuencas de interés”).

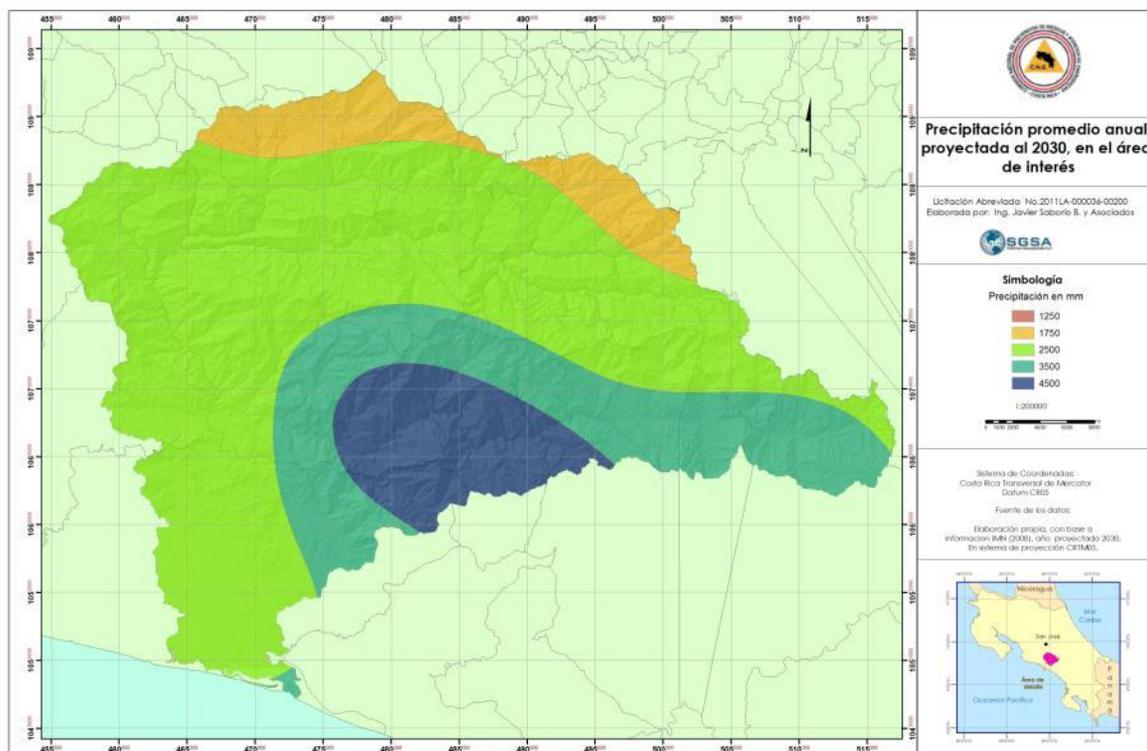
Figura 10. Precipitación promedio anual en cantones en el área de interés



Fuente: IMN, 2008. Digitalizado por SGSA para el diagnóstico Biofísico de Costa Rica, 2009.

El IMN, 2008 cuenta con una proyección de lluvia al 2030, tomando en cuenta el promedio anual proyectado a esa fecha, para el área de interés se presenta la Figura 11, que muestra la precipitación promedio anual proyectada al 2030 para el área de interés

Figura 11. Precipitación promedio anual proyectada al 2030 en la cuencas de interés

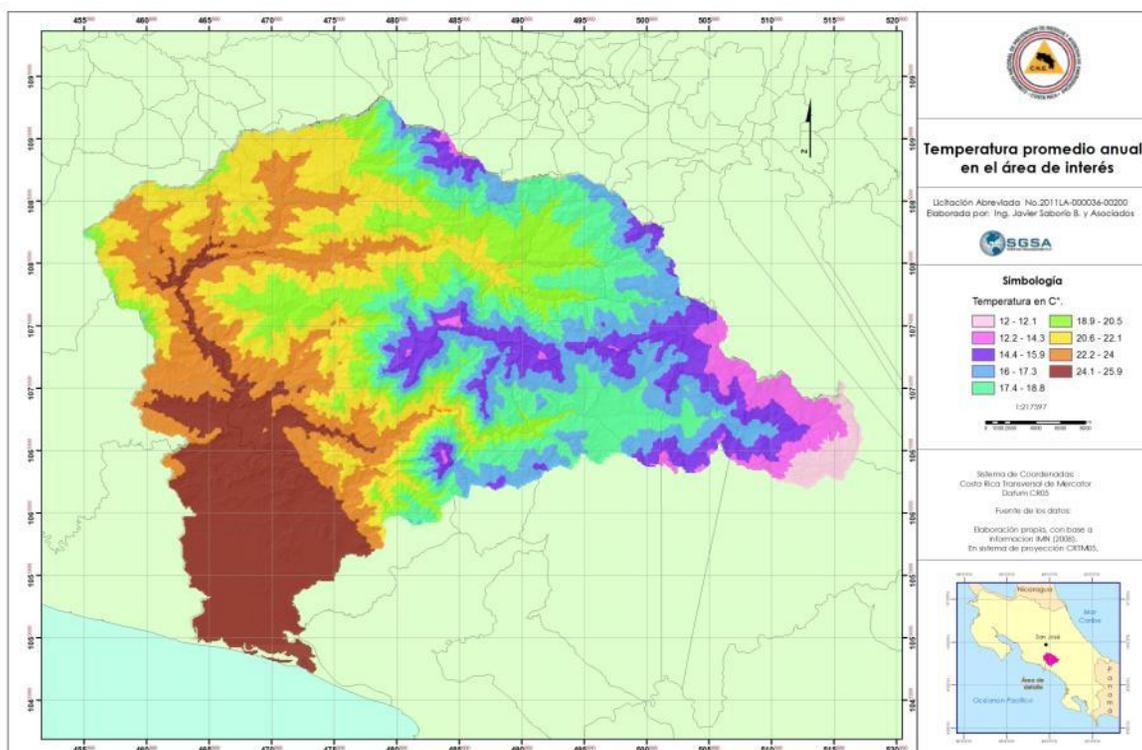


Fuente: IMN, 2008. Digitalizado por SGSA para el diagnóstico Biofísico de Costa Rica, 2009.

La precipitación promedio anual proyectada para el área de interés es de 4,20 mm, esto se debe que aunque el promedio se mantiene muy similar, su distribución espacial cambia haciendo que el núcleo actual de 5,500 mm disminuya su valor a 4000 mm pero se amplíe en su extensión, igualmente el mínimo aumentan se mantiene en 1,750 mm pero disminuye en su distribución espacial, en la parte media y este el valor de 2,500 llega a ser dominante. En general las condiciones por precipitación serán favorables para el área con disminución probable de sequías y por su homogeneidad sería de esperar que los deslizamientos asociados a intensidades de lluvia se vean atenuados., esto al sur y al este, al oeste se tiene un aumento.

En la Figura 12 se incluye la distribución de la temperatura en el área de interés. La temperatura está asociada a las elevaciones del terreno, así hacia el este tienen las temperaturas más bajas con un promedio anual de 11.0 C°, aumentando hacia el sur con un máximo de 25.9 C° y un promedio para el área de interés de 19.5 C°.

Figura 12. Temperatura promedio anual en el área de interés



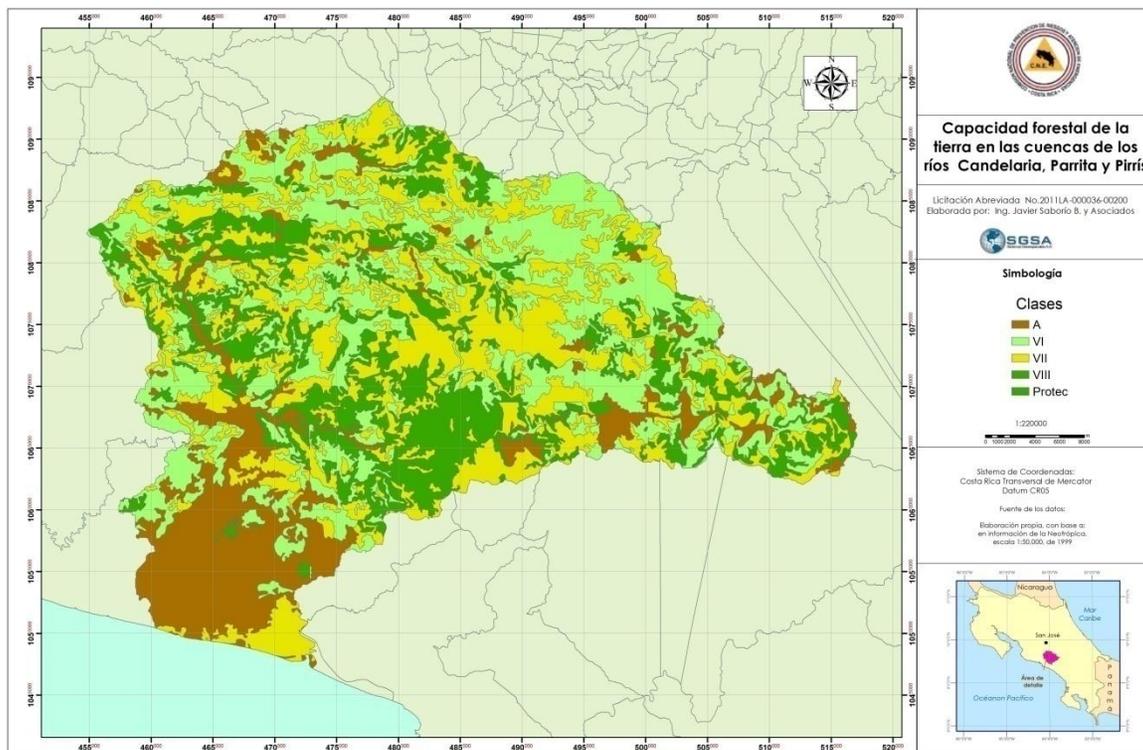
5.8 El análisis de la capacidad de uso de la tierra

Determina el mejor uso posible del recurso suelo, para fines agrícolas y de protección forestal. Para ello, los datos empleados se obtuvieron del mapa homólogo elaborado por la Fundación Neotrópica, 1:50,000, 1999. La capacidad de uso de la tierra, es un instrumento muy valioso para la toma de decisiones en medio rural, puesto que involucra un conjunto de variables biofísicas muy importantes sobre los suelos y su articulación con los otros componentes del medio natural.

De la conjugación de esas variables se origina una clasificación en 8 clases, cuyas últimas 4 son las más restrictivas, por presentar limitaciones severas, que tienen que ver con la zona de vida, la erosión, el drenaje, la pendiente. Comparadas estas zonas con el uso actual, definen lo que se ha llamado la condición de uso, es decir el tipo de respuesta logrado una vez que se correlaciona el uso actual de las tierras con su capacidad.

En el caso de la capacidad del uso de la tierra de la Neotrópica las clases agrícolas se agrupan en la clase A, y se dejan las clases forestales VI, VII y VIII y una especial de Protección. Para el caso de área de interés se tiene el mapa mostrado en la Figura 13.

Figura 13. Capacidad de uso de la tierra en el área de interés



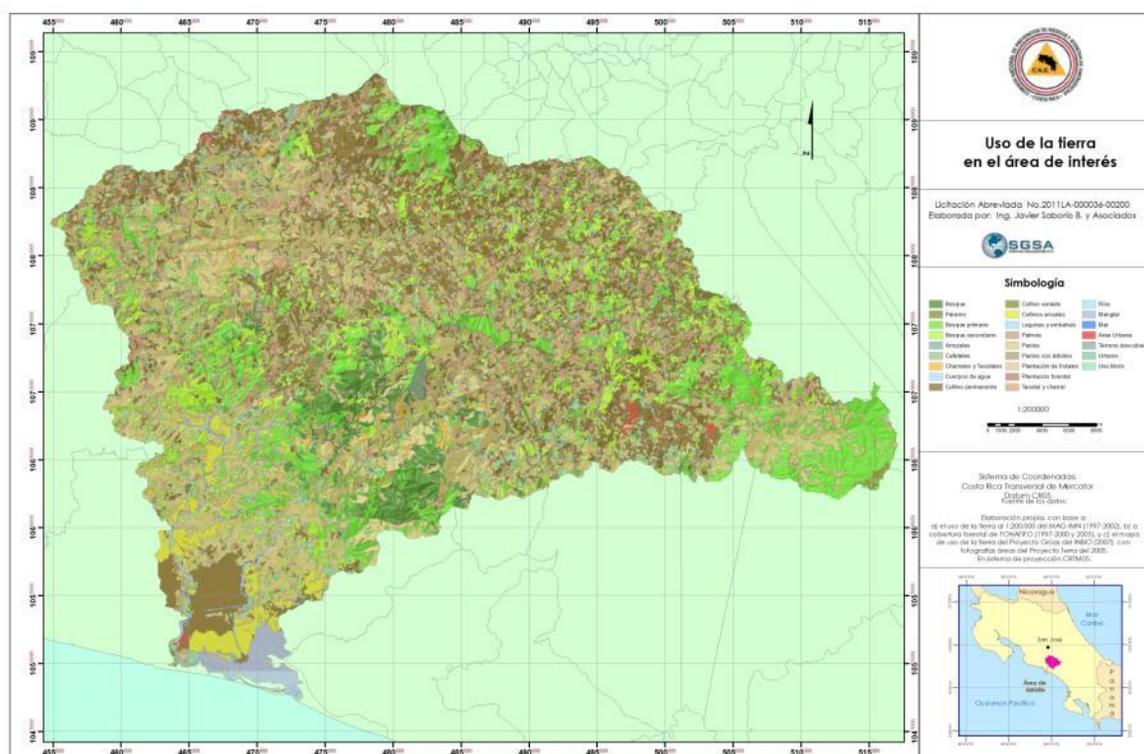
5.9 Uso – cobertura de la tierra

Por uso de la tierra se entiende la función o la utilidad que se le da a la misma, con fines de explotación por medio de cultivos, de pastoreo (ganado u otro), de urbanización, conservación de suelos, bosques naturales, bosques implantados, etc., teniéndose de esta manera la oportunidad de poder determinar cuál es la utilidad por cuenca hidrográfica y cómo ha sido su desarrollo en un tiempo específico.

El mapa de cobertura – uso de la tierra es la unión de tres coberturas básicas: a) el uso de la tierra al 1:200,000 del MAG-IMN (1997-2002), la cobertura forestal de FONAFIFO (1997-2000 y 2005), y el mapa de uso de la tierra del Proyecto Grúas del INBIO (2007), con fotografías áreas del Proyecto Terra del 2005.

En la Figura 14 se muestra el uso - cobertura de la tierra en el área de interés.

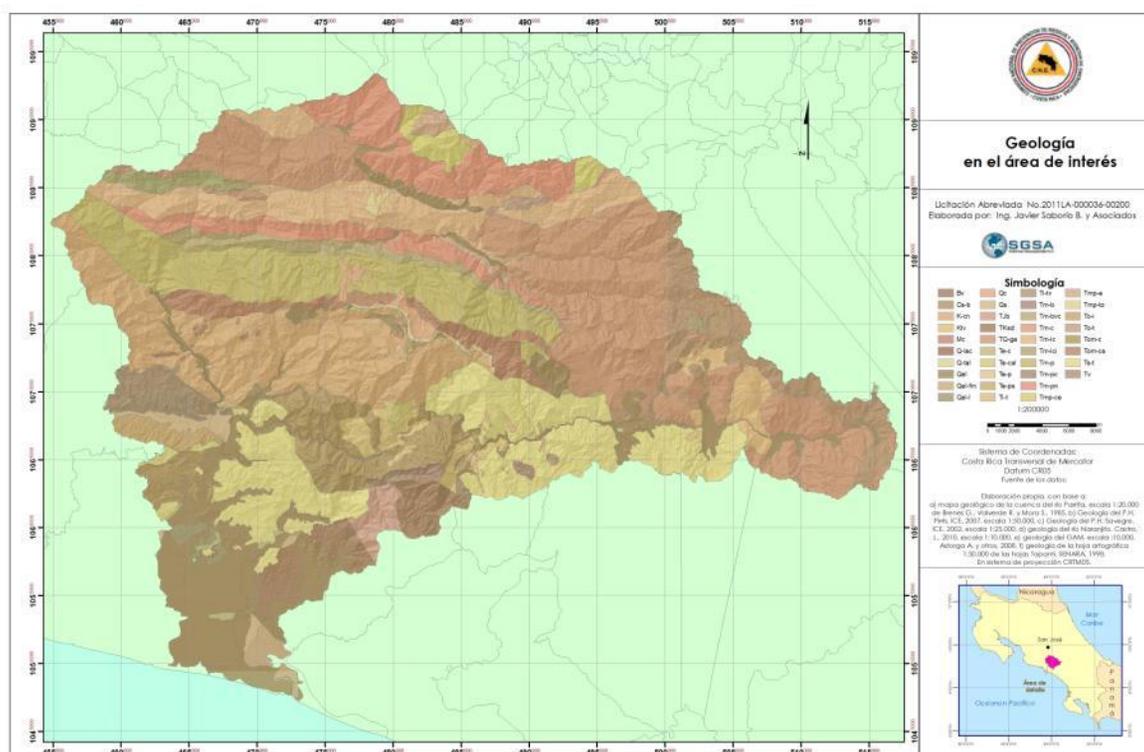
Figura 14. Uso - cobertura de la tierra en el área de interés



5.10. Geología

Para obtener al geología del área de interés (Figura 15) se está recurriendo a diferentes fuentes: a) mapa geológico de la cuenca del río Parrita, escala 1:20,000 de Brenes G., Valverde R. y Mora S., 1985, b) Geología del P.H. Pirrís, ICE, 2007, escala 1:50,000, c) Geología del P.H. Savegre, ICE, 2002, escala 1:25,000, d) geología del río Naranjito, Castro, L., 2010, escala 1:10,000, e) geología del GAM, escala 1:10,000, Astorga A. y otros, 2008, f) geología de la hoja cartográfica 1:50,000 de las hojas Tapanti, SENARA, 1998.

Figura 15. Geología en el área de interés



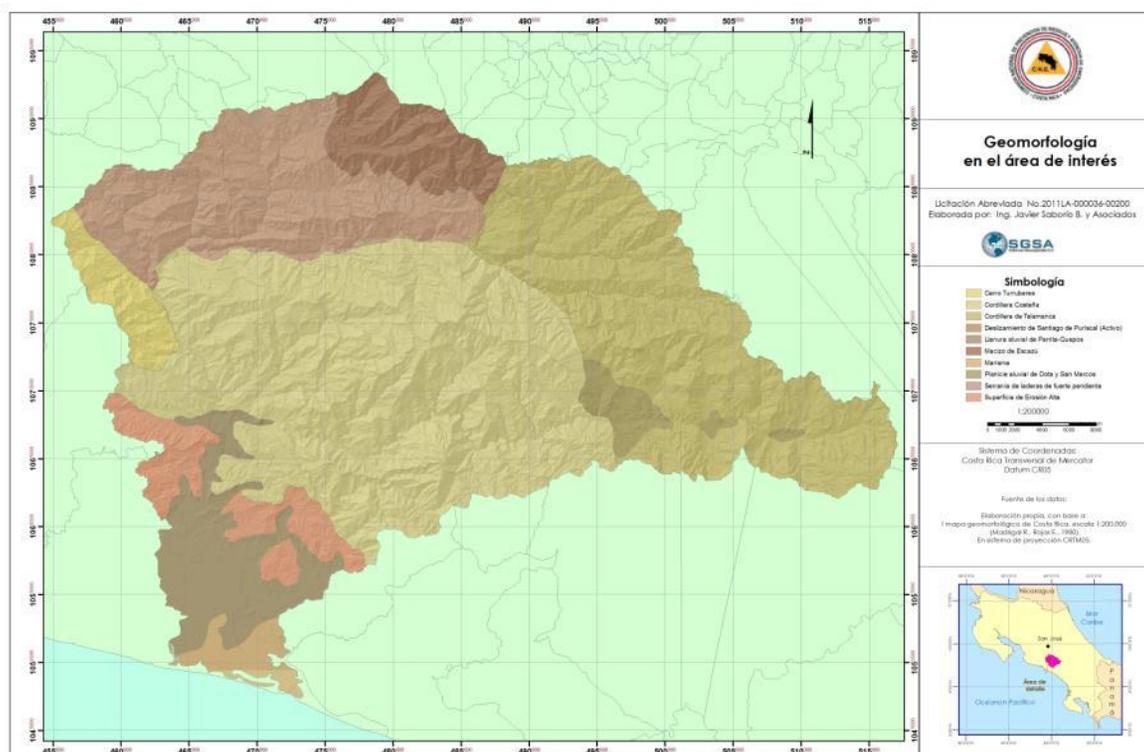
Si bien se combinan diferentes escalas se puede decir que para el área el mapa puede tener una escala 1:25,000 para el área de interés.

5.11 Geomorfología

Con base en el mapa geomorfológico de Costa Rica, escala 1:200,000 (Madrigal R., Rojas E., 1980), que fue digitalizado por la Escuela de Geología de la UCR y el ICE en 2002, se obtienen las unidades geomorfológicas en el área de interés. La base de datos acompañante del mapa se compiló por Sistemas Geoespaciales S.G.S.A.

En la Figura 16 se incluye el mapa geomorfológico en el área de estudio.

Figura 16. Geomorfología en el área de interés



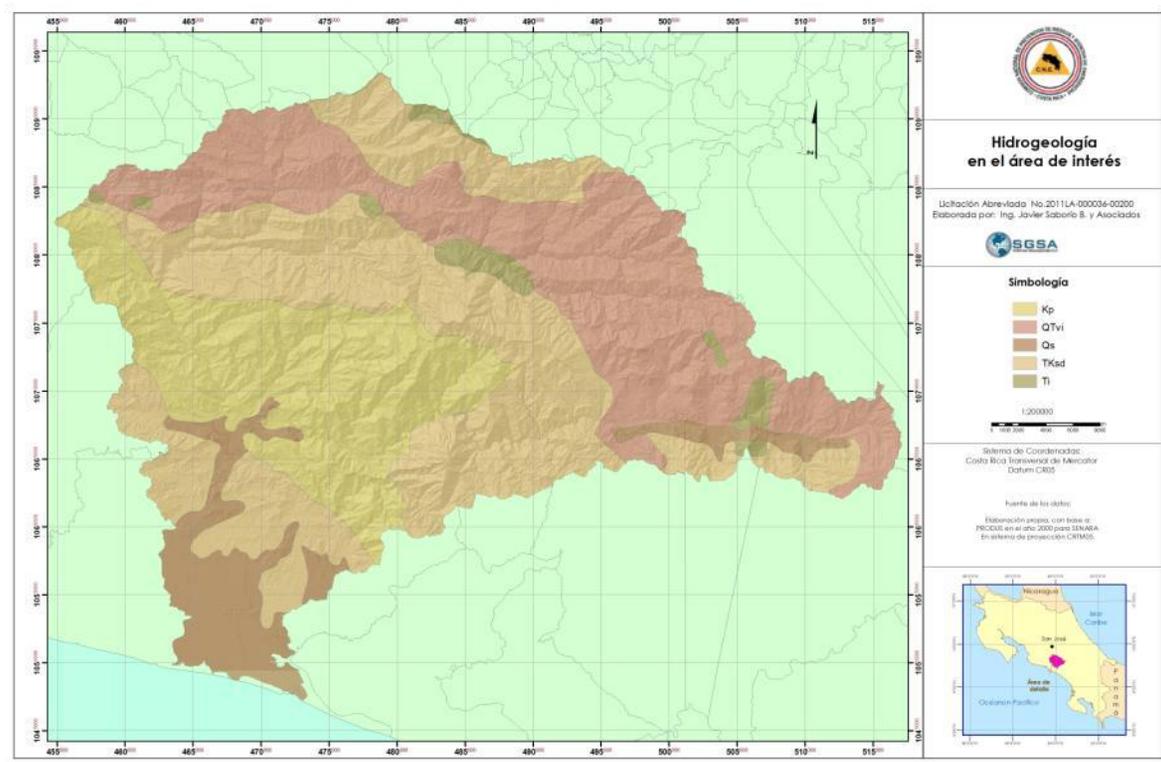
5.12 Hidrogeología

El mapa hidrogeológico fue realizado por PRODUS en el año 2000 para SENARA con fondos de UNESCO, utilizando como base el mapa geológico de 1987 y la información del Departamento de Aguas del SENARA.

Tiene importancia pues entre otras variables muestra los acuíferos presentes en el área.

En la Figura 17 se incluye la hidrogeología desde la perspectiva de los acuíferos presentes en el área de interés.

Figura 17. Hidrogeología en el área de interés

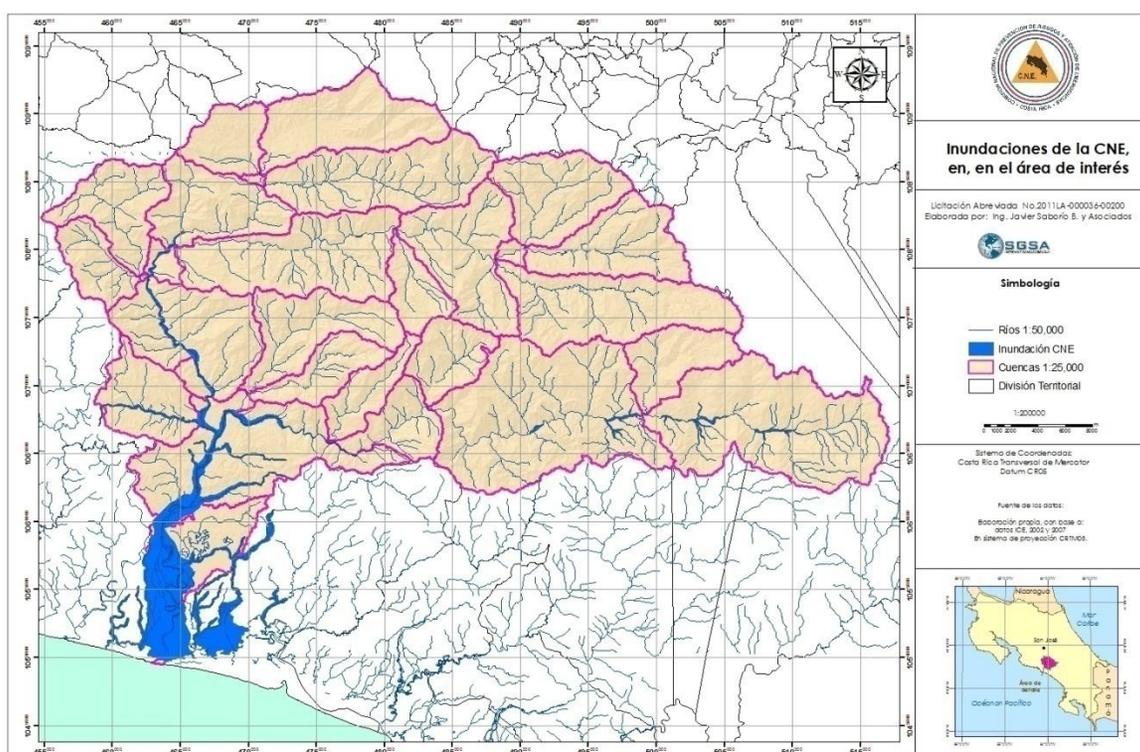


6. Información espacial de amenazas de la CNE

El Sistema de Información para Emergencias (SIE) de la CNE posee información espacial que es útil como referencia dado que es el producto del mapeo de cada amenaza que se ha venido produciendo, esto es cada vez que ocurre una amenaza se ha practicado el ubicarla sobre hojas 1:50,000 del IGN y posteriormente digitalizarlas.

De esta forma y con base en la información suministrada, se produjo el mapa mostrado en la Figura 18, que indica las amenazas que se han cartografiado en el área de interés.

Figura 18. Amenazas ubicadas por el SIE-CNE en el área de interés



La delimitación de inundaciones no es extensiva para la cuenca de interés, aunque se ajusta a los mapas 1:25,000 presenta algunos problemas: a) en la parte de la desembocadura la inundación se extiende más allá del área de la cuenca, esto es en un evento extremo la cantidad de agua produce un desborde que hace que la inundación se extienda más allá del límite de la cuenca, esto es típico en los ríos aledaños y en área plana de inundación de los mismos; b) hay áreas que se salen más allá del límite de la cuenca a elevaciones mayores, esto corresponde a errores en el dibujo de la CNE, c) la mancha de inundación no llega al límite oficial de Costa Rica (IGN, 2009).

El mapa de la CNE al 1:50,000 corresponde a un punto de partida del análisis que se hará para un límite del modelo de elevación digital mayor que el que presenta la cuenca en su desembocadura y se realizará hasta el límite oficial de Costa Rica.

7. Caracterización de la amenaza por inundación

Con base en los objetivos, la atención de las amenazas en el área de interés se debe centrar en los procesos: Hidrometeorológicos, con análisis de efectos de tormentas, efecto de El Niño, análisis de eventos extremos, avenidas e inundaciones.

De acuerdo al análisis anterior la información recopilada de las bases de datos de desastres y de la CNE, conducen a que la amenaza principal en el área de estudio son las inundaciones, por esta razón el estudio se enfoca en la amenaza de inundaciones, dejando un apartado para la erosión pluvial que es importante por las condiciones de fuertes pendientes del área.

Ahora bien para caracterizar la amenaza por inundaciones necesitamos conocer los eventos provenientes de la hidrometeorología, tanto de los fenómenos hidrometeorológicos, sean de tipo huracanados y de tormentas cotidianas.

8. Hidrometeorológicos, con análisis de efectos de tormentas, efecto de El Niño, análisis de eventos extremos y avenidas.

8.1 Precipitación promedio anual

Para las estaciones dadas en el ICE el IMN, se procedió a la obtención de los valores mensuales, en el Cuadro 5, se incluye la precipitación promedio total de las estaciones representativas en el área de estudio. En la Figura 19 se muestra la precipitación promedio anual.

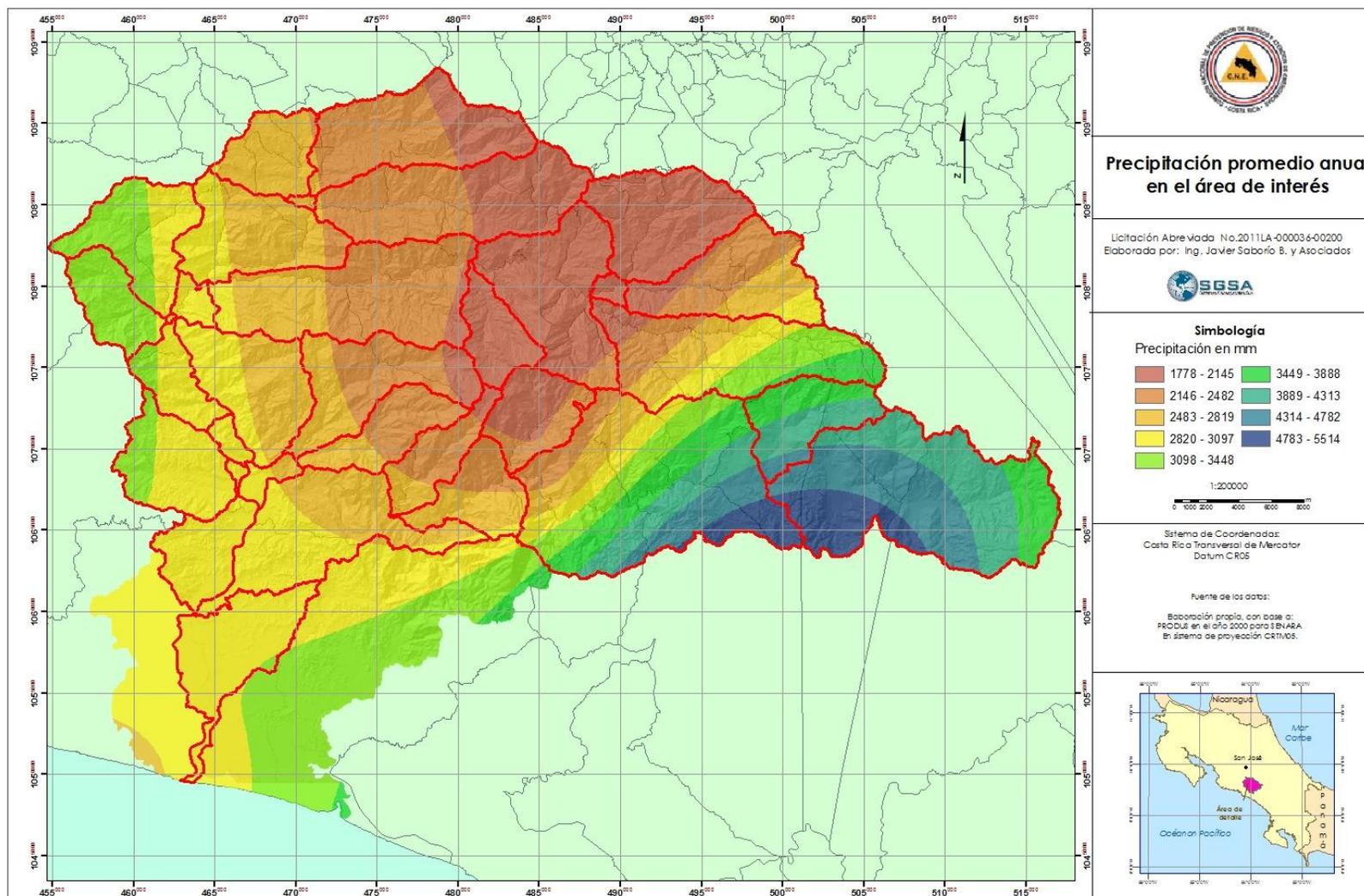
Cuadro 5. Precipitación promedio para estaciones en el área de interés

NUMERO	NOMBRE	FUENTE	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PERIODO	TOTAL
88045	SAN IGNACIO 2	IMN	9.79666700	-84.16305600	1214	1994-2009	2109.3
90003	QUEPOS	IMN	9.42555600	-84.16611100	5	1980-2009	4074.6
90005	FINCA CERRITOS	IMN	9.50000000	-84.14972200	5	1980-2009	3995.4
90008	ANITA	IMN	9.46027800	-84.15805600	15	1980-2009	3691.2
90009	DAMAS	IMN	9.49527800	-84.21444400	6	1984-2009	3692.9
92001	CAPITAL-BARTOLO	IMN	9.41888900	-84.10027800	10	1980-2009	4146.0
92002	LLORONA	IMN	9.40083300	-84.07777800	10	1980-2009	4069.3
92005	CURRES	IMN	9.43138900	-84.12416700	10	2000-2009	4214.2
94002	MARITIMA	IMN	9.39194400	-84.04194400	8	1980-2009	4248.4
96002	HACIENDA BARU	IMN	9.27027800	-84.88166700	5	1981-2209	4313.4
84177	SAN RAFAEL ARRIBA DESAMP	IMN	9.87305600	-84.07472200	1200	2001-2009	1684.3
88039	HACIENDA LA MINITA (BUSTAMANTE)	IMN	9.76666700	-84.09055600	1200	1997-2009	1866.4
102031	GUACHIPELIN, SANTA ANA	IMN	9.94777800	-84.16194400	978	1986-2009	1692.0
86007	PUNTA LEONA	IMN	9.70138900	-84.65861100	20	1990-2009	2159.6
86009	JACO	IMN	9.59666700	-84.61972200	3	1997-2009	3048.0
88037	SAN MARCOS DE TARRAZU	IMN	9.66611100	-84.13166700	1650	1996-2008	2255.6
86004	RANCHO NUEVO	IMN	9.57027800	-84.52277800	20	1991-2006	2581.2
88004	FINCA PALO SECO	IMN	9.53555600	-84.29777800	15	1988-2009	3129.4
88008	FINCA NICOYA	IMN	9.55444400	-84.30055600	30	1981-2009	3082.3
88031	LALIGIA, PARRITA	IMN	9.51305600	-84.33333300	10	1988-2009	2886.4
90001	POCARES	IMN	9.52444400	-84.24500000	6	1980-2009	3319.9
73080	C. La Muerte (Repet)	ICE	9.566667	-83.766667	3130	ND	2562.2
92004	Naranjillo	ICE	9.566667	-84.033333	780	ND	6567.6
94005	Providencia	ICE	9.516667	-83.866667	1490	ND	3135.4
94006	P. H. Savegre	ICE	9.450000	-83.983333	200	ND	5587.9
94008	Los Angeles (P.Z.)	ICE	9.483333	-83.800000	1100	ND	3276.7
94012	Fila Savegre	ICE	9.433333	-83.816667	1280	ND	4170.9
98040	División	ICE	9.516667	-83.716667	2260	ND	3594.7
98061	San Ramón Norte	ICE	9.433333	-83.716667	1160	ND	3778.9

Fuente: datos del IMN, 2011 y datos tomado de informes ICE, 2004 y 2006; ND = no disponible.

En el área de las cuencas de interés la precipitación máxima es 5,215 mm y la mínima 1,753 mm, con una media de 2,839 mm.

Figura 19. Precipitación promedio anual, en el área de interés



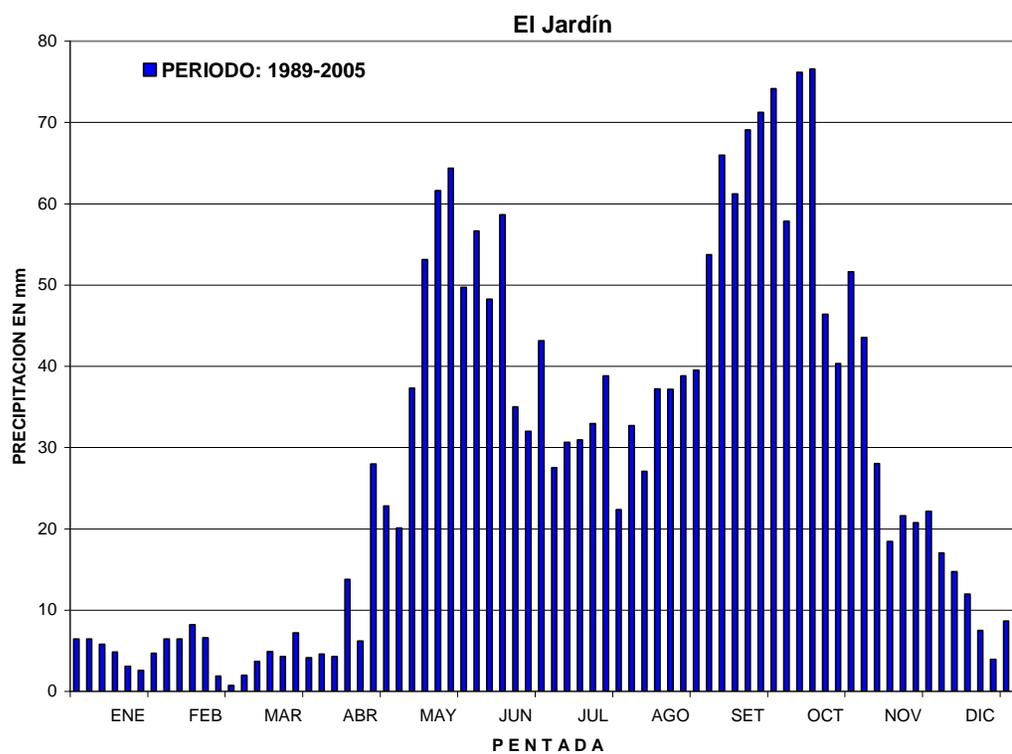
Fuente: Elaboración Propia, con base en datos ICE e IMN

8.2 Distribución temporal de la lluvia

Machado P., ICE, 2007 incluye las Figuras 20 y 21, donde se presenta la distribución promedio de la precipitación para tiempos de muestreo de 5 días (péntadas) en las estaciones 88018 El Jardín y 88024 Tabacales localizadas en la cuenca del río Pirrís-Candelaria. Se puede observar que la época seca se define a partir de la segunda semana de diciembre y hasta la tercera de abril. La época lluviosa se define entre la segunda quincena de abril y la primera quincena de diciembre. Durante este período la mayor parte de las péntadas tienen valores superiores a los 20 mm. y se destacan las péntadas en los meses de mayo, junio, agosto, septiembre y octubre con valores mayores de los 60 mm. En la estación El Jardín y valores superiores a los 90 mm. en la estación Tabacales.

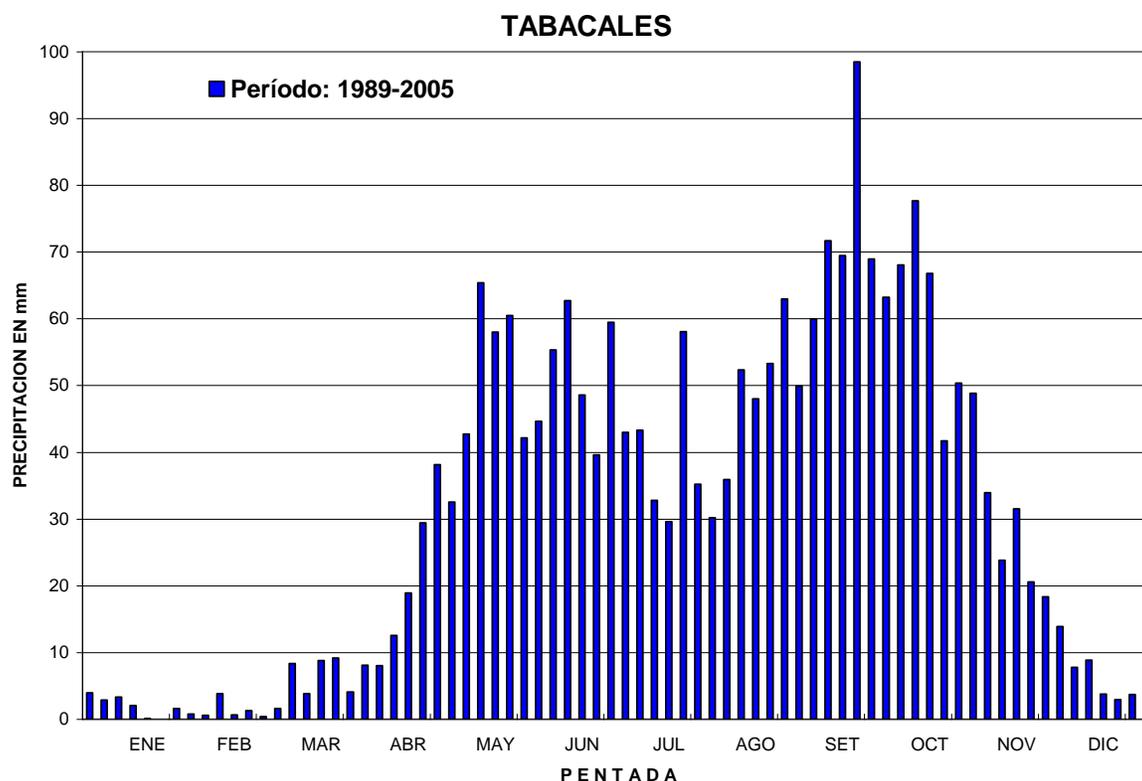
Durante el mes de julio se presenta una disminución relativa de la precipitación conocida como "Veranillo" y que es una característica de la vertiente del Pacífico. En estas estaciones la precipitación de diciembre a abril representa entre el 8 y 10 por ciento del total anual, por tanto, alrededor del 90 por ciento de la lluvia anual se produce de mayo a noviembre.

Figura 20. Distribución pentadal promedio en la estación El Jardín



Fuente: Machado P., ICE, 2007

Figura 21. Distribución pentadal promedio en la estación Tabacales



Fuente: Portirio M., ICE, 2007

Según Chacón, R, ICE, 2002, durante la época lluviosa y principalmente durante los meses de septiembre y octubre la precipitación está muy ligada con los vientos sinópticos y ecuatoriales, que son consecuencia de la presencia de disturbios de origen ciclónico (huracanes y tormentas tropicales) en el mar Caribe. Estos vientos, la presencia de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), asociada con grandes masas nubosas y el efecto de la orografía provocan grandes cantidades de precipitación con duraciones del orden de días.

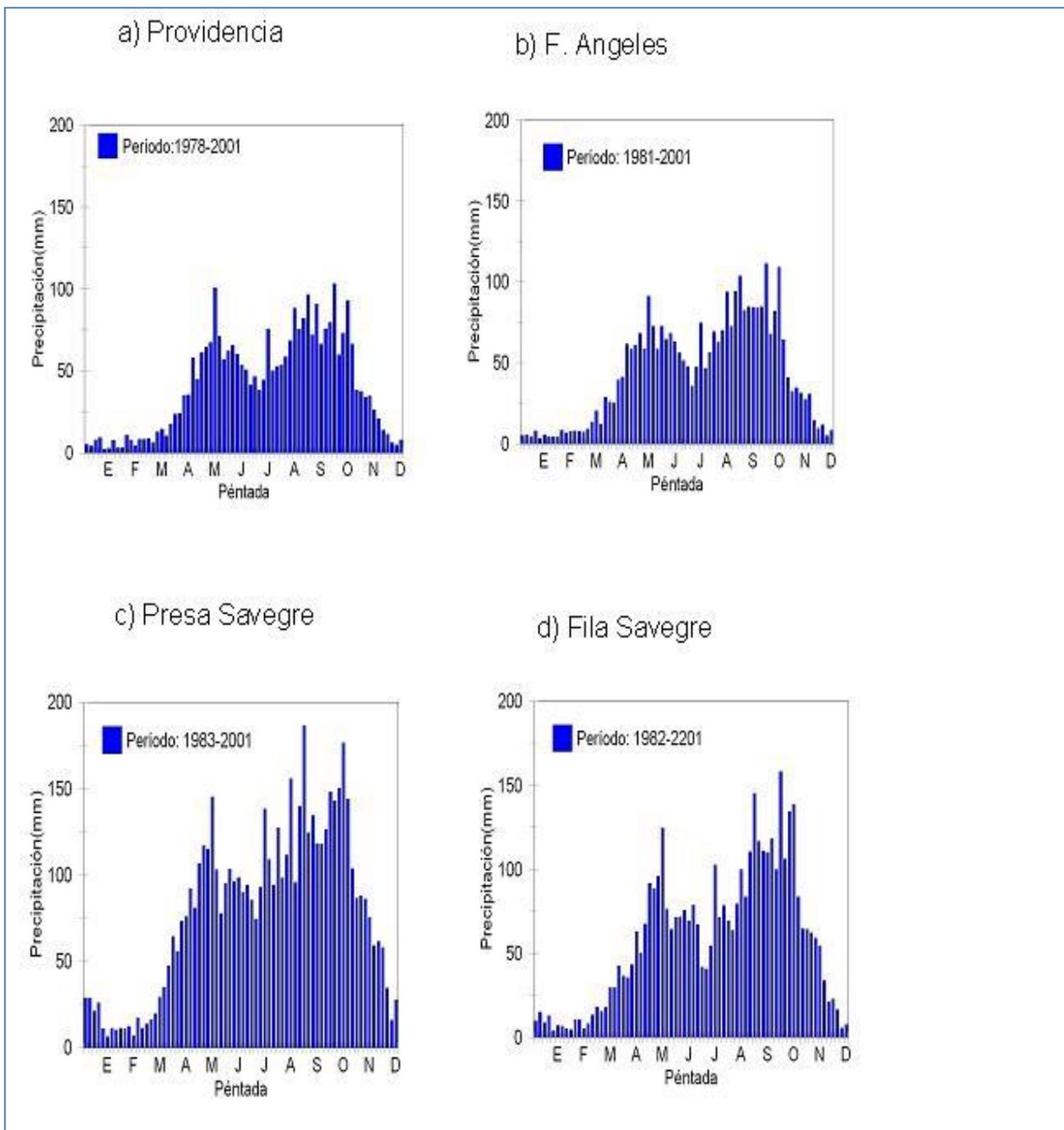
En la Figura 22 se presenta la distribución promedio de la precipitación para tiempos de muestreo de 5 días (péntadas) en las estaciones 94005 Providencia, 94006 Presa Savegre 94008 F. Ángeles y 94012 F. Savegre. Las Figuras 22-A, 22-B y 22-D muestran la distribución promedio pentadal de la precipitación en las estaciones Providencia y Los Ángeles y Fila Savegre localizadas en las regiones noreste y sureste y sur. En las figuras se puede observar que la época seca se define a partir de la primera semana de diciembre y hasta la segunda de abril. La época lluviosa se define entre la segunda quincena de abril y la última de noviembre.

Durante este período la mayor parte de las péntadas tienen valores superiores a los 50 mm. y se destacan las péntadas en los meses de mayo, agosto, septiembre y octubre con valores cercanos a los 100 mm. en las estaciones Providencia y Finca Ángeles y valores superiores a los 125 mm. en la estación Fila Savegre.

Igual que el caso anterior para El Jardín y Tabacales, durante el mes de julio se presenta una disminución relativa de la precipitación conocida como "Veranillo" y que es una característica de la vertiente del Pacífico. En estas estaciones la precipitación de diciembre a abril representa solo el 11 por ciento del total anual, lo que confirma que alrededor del 90 por ciento de la lluvia anual se produce de mayo a noviembre.

En la Figura 22-C se presenta la distribución de la precipitación para la estación Presa Savegre localizada en la región sur del área. El gráfico muestra que en esta estación mantiene una alta pluviosidad durante casi todo el año. La época seca se ve claramente definida entre la segunda quincena de diciembre y la segunda quincena de abril. Durante la época lluviosa definida entre abril y diciembre se destacan las péntadas de mayo, agosto, septiembre y octubre con valores superiores a los 125 mm., siendo los meses de setiembre y octubre los de mayor precipitación. La disminución relativa se presenta en julio pero con valores superiores a los 75 mm. El período de diciembre a abril representa un 16 por ciento del total anual, aunque esta área influencia la región en forma parcial

Figura 22. Distribución pentadal promedio de la precipitación en la región de interés



Fuente: ICE, 2002

8.3 Comportamiento de la precipitación y caudales durante la ocurrencia de eventos ENOS

La ocurrencia de fenómenos de escalas temporales mayores a la escala anual han sido objeto de estudio para identificar el aporte a la variabilidad interanual de la precipitación. Entre estos fenómenos se destaca el ENOS (El Niño-Oscilación del Sur (Amador, Chacón y Laporte, 2000). En el cuadro 6 se muestran los eventos de El Niño y de La Niña ocurridos durante el período de 1982 a 2005, fecha de inicio, fecha de terminación y duración en meses de cada evento, según el Instituto Meteorológico Nacional. Cabe destacar que desde noviembre de 2005 se inició un episodio de leve a moderado de La Niña y según los pronósticos emitidos por centros reconocidos en el ámbito del pronóstico de ENOS este se extenderá hasta mediados del 2006.

En el Cuadro 6 se presentan las duraciones de los eventos “El Niño” y “La Niña” definidos de acuerdo a los resúmenes de los estudios citados.

Cuadro 6. Duraciones de los eventos El Niño y La Niña para el período 1982-2005

El Niño			La Niña		
Inicio	Fin	Duración en meses	Inicio	Fin	Duración en meses
Abril 1982	Mayo 1983	14	Julio 1988	Junio 1989	12
Octubre 1986	Noviembre 1987	14	Marzo 1996	Diciembre 1996	9
Febrero 1991	Junio 1992	17	Junio 1998	Julio 2000	25
Agosto 1992	Noviembre 1993	16	Noviembre 2005	?	?
Marzo 1994	Marzo 1995	13			
Abril 1997	Abril 1998	13			
Mayo 2002	Marzo 2003	11			
Setiembre 2004	Marzo 2005	7			

Fuente: Elaboración propia con base en Mora y Amador, 2000, y Machado P, 2007.

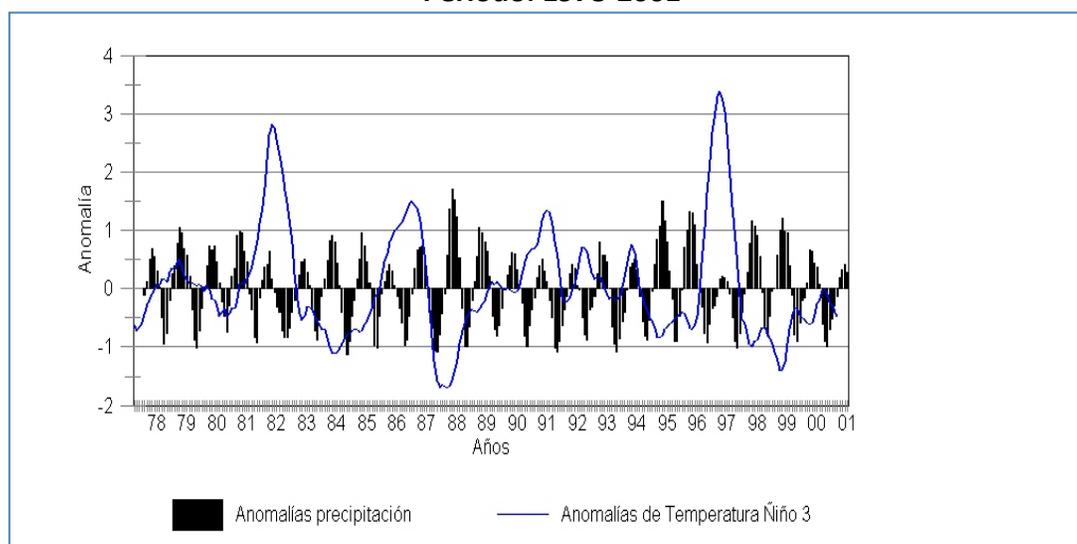
Según el Cuadro 6 la duración promedio de los eventos el Niño es de 13 meses y durante el período de estudio se presentó en 6 ocasiones. En el caso de los eventos La Niña se presentó en 3 ocasiones y la duración promedio fue de 15 meses.

Chacón, R., 2002 hace una comparación de las anomalías estandarizadas de precipitación mensual en la estación Providencia (estación de mayor registro) con las anomalías estandarizadas de temperatura mensual del Niño 3 (zona del Pacífico ecuatorial localizada entre 6° S-6° N, 90°-150° O). El período de comparación comprende del año 1978 al año

2001. Cabe destacar que las relaciones entre anomalías de precipitación y anomalías de temperaturas en la superficie del mar son inversas, ver Figura 23.

Se pueden observar que las anomalías positivas de temperatura más intensas se presentan en los períodos 1982-83, 1986-87, 1991-92 y 1997-98. Durante estos mismos períodos se observa que predominan las anomalías negativas de precipitación asociadas con períodos secos en la cuenca. Desde el punto de vista de las anomalías negativas de precipitación el período más crítico fue 1991-92. En la fase fría las anomalías de temperatura negativa indican que el período más crítico en cuanto a aumento de precipitación fue marzo –diciembre 1996.

Figura 23. Comparación de anomalías de precipitación en la estación Providencia y las anomalías de temperatura superficial “El Niño 3”
Período: 1978-2001



Fuente: Chacón, R., ICE 2002

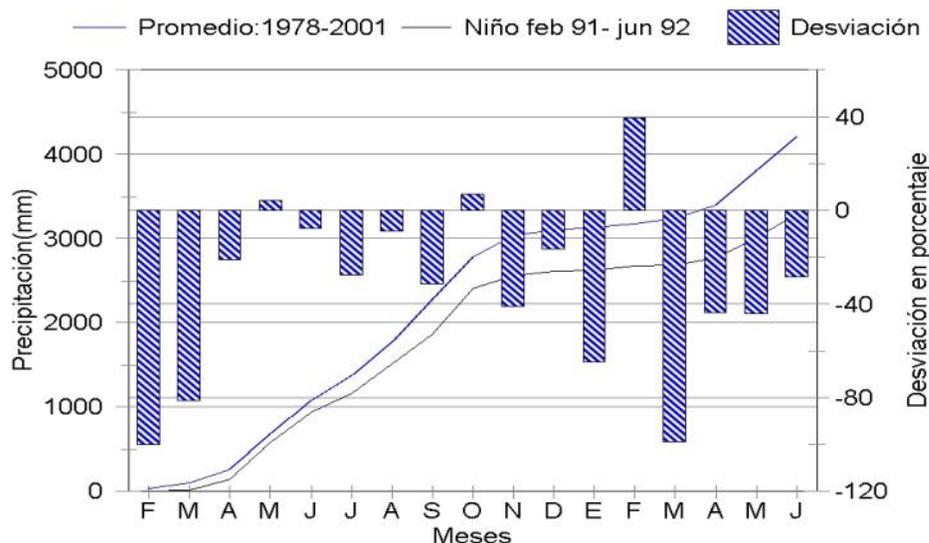
En la Figura 24 se presenta en forma de barras las desviaciones mensuales de la precipitación con respecto al promedio, en forma de líneas se muestran la precipitación mensual acumulada de febrero 1991 a junio 1992 y su comparación con la precipitación promedio en las estaciones Providencia y Presa Savegre.

La comparación de la precipitación mensual acumulada de febrero 1991 a junio 1992 con el promedio acumulado de 1978-2001 en la estación Providencia (Fig. 24a) muestra que desde el inicio la precipitación es deficitaria y se mantiene durante todo el período con excepción del mes de febrero 1992 donde alcanza una desviación de + 40 %. Durante los

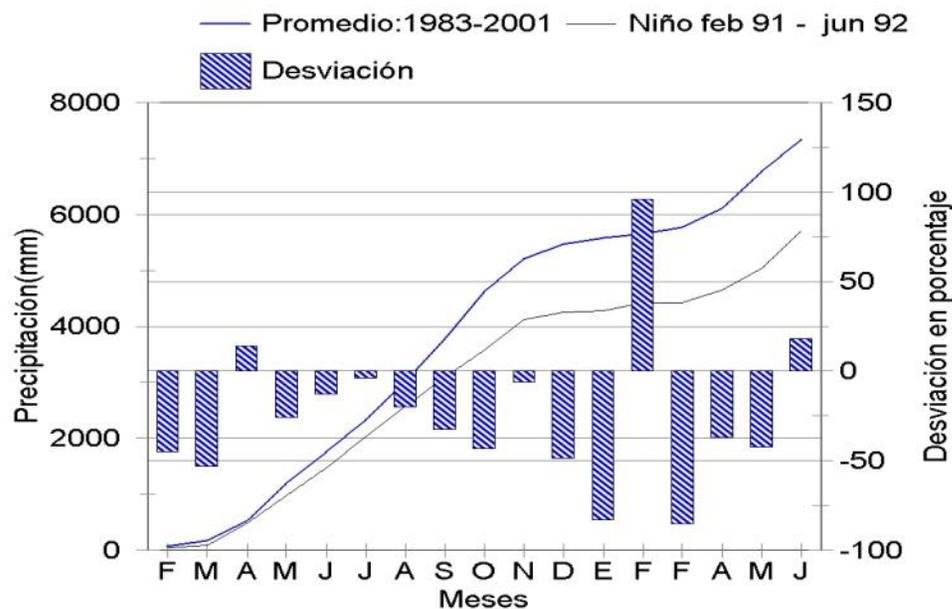
meses de febrero y marzo 1991, enero y marzo 1992, las desviaciones negativas superan el -50 %. La precipitación total del período 1991-92 es un 22 % inferior al promedio.

Figura 24. Desviaciones y comparación de la precipitación acumulada del período de febrero 1991 a junio 1992 con respecto al promedio

a) Providencia



b) Presa Savegre



Para el caso de la estación Presa Savegre (Fig. 24b) el comportamiento es similar al mostrado por la estación Providencia. El mes de febrero 1992, muestra la mayor desviación positiva con un valor cercano a + 100 %, el resto del período es deficitario alcanzando durante los meses de enero y marzo 1992 desviaciones superiores a -75 %. La precipitación total del período 1991-92 fue un 22 % inferior al promedio.

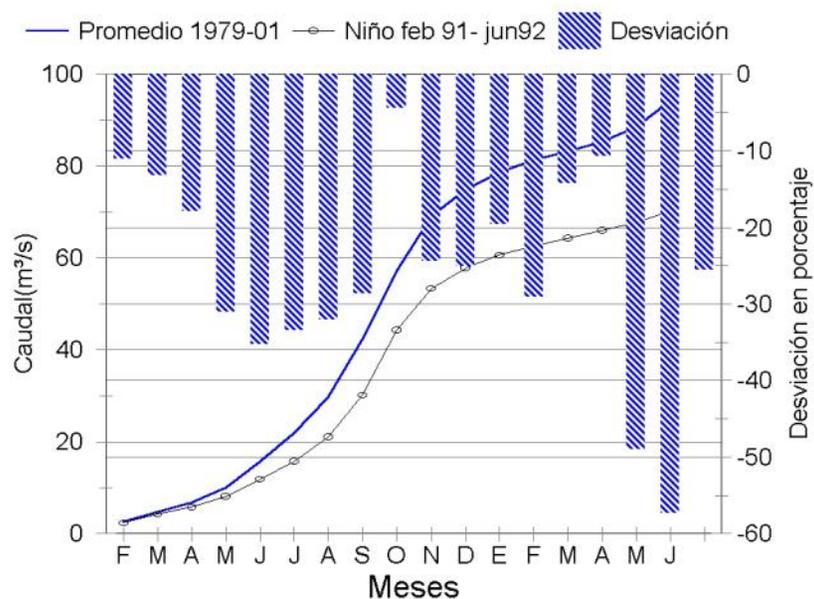
En la Figura 25 se presentan las desviaciones mensuales con respecto al promedio, los caudales mensuales acumulados de febrero 1991 a junio 1992 y su comparación con el caudal promedio en las estaciones 29-02 Providencia y 29-03 Sitio de Presa Savegre.

Al contrario de la precipitación, el dato de caudal no representa la medición puntual si no la medida de las condiciones promedio de una superficie de la cuenca situada aguas arriba del punto de medición. Lo anterior significa que para la estación 29-03 S. P. Savegre que tiene un área de 473 km², representa el comportamiento de los caudales de aproximadamente un 80 % de la cuenca.

La comparación de los caudales mensuales acumulados de febrero 1991 a junio 1992 con el promedio acumulado de 1978-2001 en las estaciones 29-02 Providencia y 29-03 S. P. Savegre (Fig. 25a y 25b) muestra que durante todo el período de duración del Niño 1991-92 los caudales son deficitarios. En la estación 29-03 S. P. Savegre (Fig. 25b) se muestra que las desviaciones con respecto al promedio varían entre un -10 y -60 %. En los meses de septiembre y octubre los caudales registrados presentan porcentajes entre un 25 y 35 % por debajo de la media. La disminución de caudales durante estos meses contribuye a que los meses de estiaje (diciembre a abril) del año 1992 sean extremadamente críticos en cuanto a la disponibilidad de caudales. Esta situación se muestra en los meses de marzo, abril y mayo donde los porcentajes por debajo de la media varían entre un 30 y 60 %. Los caudales totales acumulados del período 1991-92 fueron un 25.6 % por debajo del promedio en la estación 29-02 Providencia y en la estación 29-03 S. P. Savegre fue de un 27 % por debajo del promedio.

Figura 25. Desviaciones y comparación de los caudales mensuales acumulados del periodo de febrero 1991 a junio 1992 con respecto al promedio

a) 29-02 Providencia



b) 29-03 S.P. Savegre

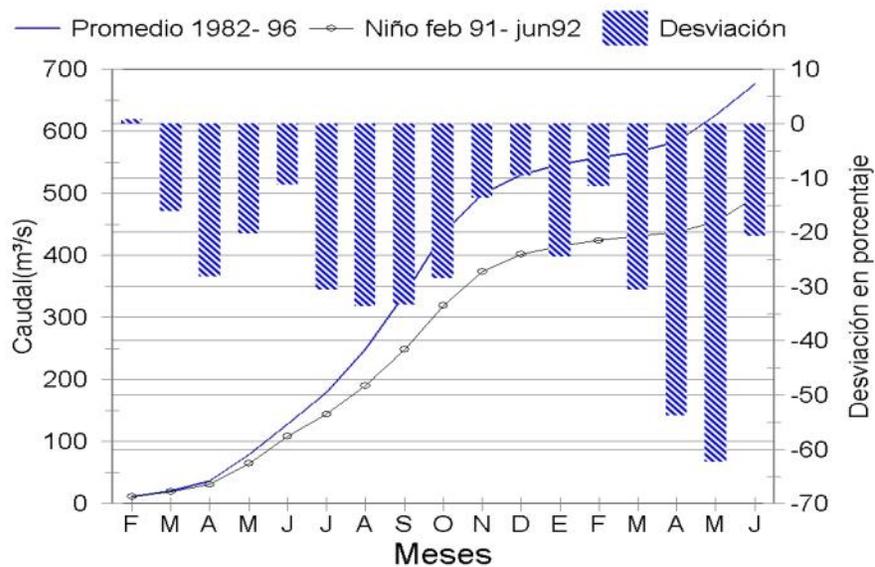
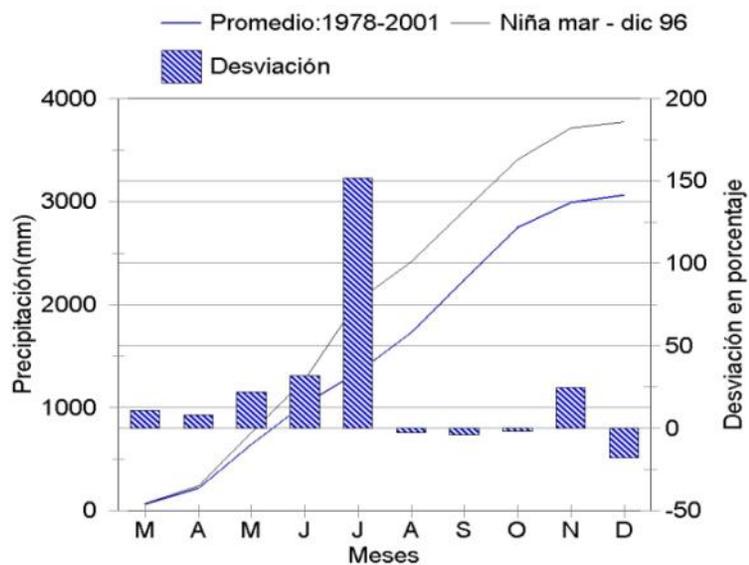
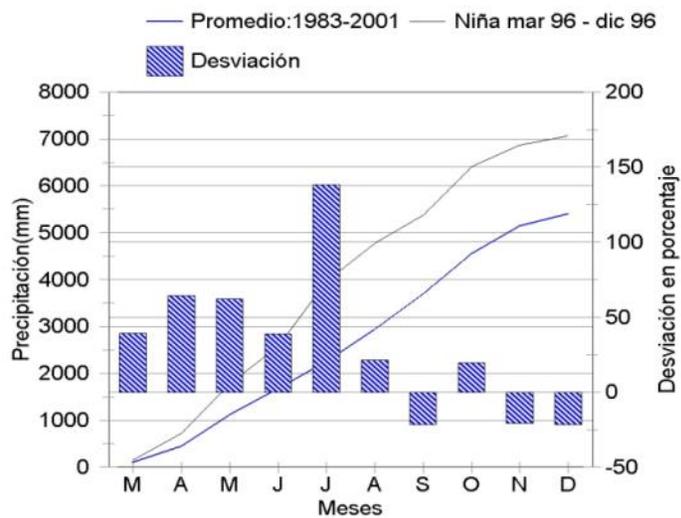


Figura 28. Desviaciones y comparación de la precipitación acumulada del período de marzo a diciembre 1996 con respecto al promedio

a) Providencia



b) Presa Savegre



Para el análisis del evento “La Niña” marzo – diciembre 1996 en el Figura 28 se presentan las desviaciones mensuales de la precipitación con respecto al promedio, la precipitación mensual acumulada de marzo a diciembre 1996 y su comparación con la precipitación promedio en las estaciones Providencia y Presa Savegre.

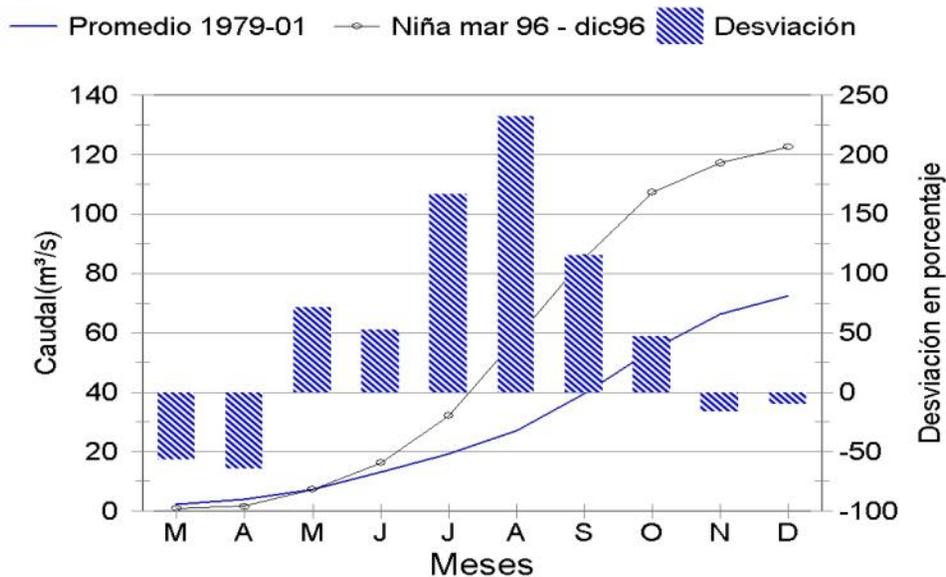
En la estación Providencia (Fig. 28a) se presenta un incremento de la precipitación desde marzo hasta julio, durante este mes la precipitación alcanza un porcentaje de un 150 % por encima del promedio debido al efecto indirecto del huracán César que afectó la Vertiente del Pacífico y en particular la cuenca del río Savegre durante los días 27 y 28 de julio de 1996. La precipitación total del período marzo diciembre 1996 fue un 23.2 % superior al promedio.

La estación Presa Savegre (Fig. 28b) presenta un comportamiento similar a la estación Providencia, se distinguen un mayor incremento en los meses de marzo a mayo donde las desviaciones sobre el promedio varían entre un 25 y un 50 %. El mes de julio supera al promedio en 130 %. Los meses de septiembre, noviembre y diciembre se comportan por debajo del promedio con porcentajes del orden del -20 %. La precipitación total del período marzo-diciembre 1996 supera al promedio en un 31 %.

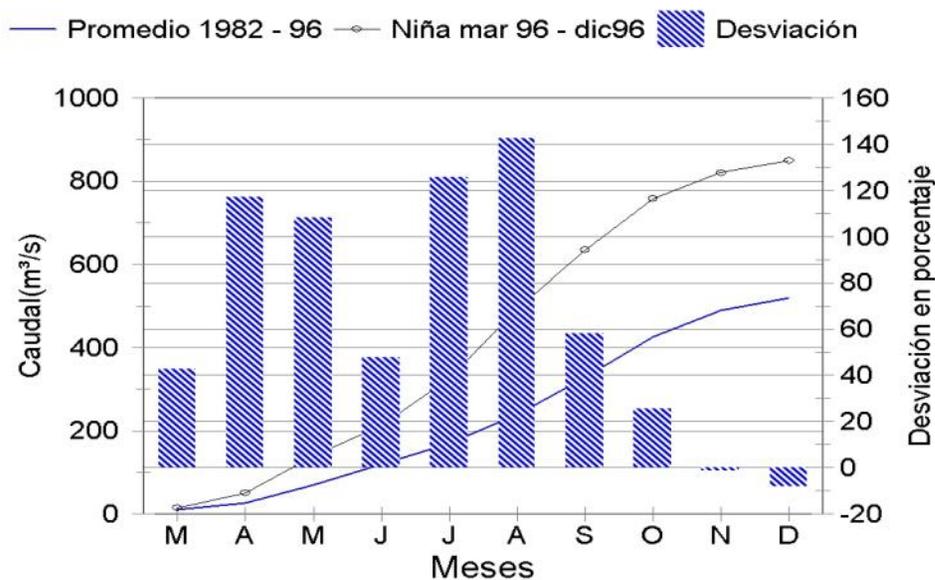
En la Figura 26 se presentan las desviaciones mensuales con respecto al promedio, los caudales mensuales acumulados de marzo a diciembre 1996 y su comparación con el caudal promedio en las estaciones 29-02 Providencia y 29-03 Sitio de Presa Savegre.

Figura 26. Desviaciones y comparación de los caudales mensuales acumulados del período de marzo a diciembre 1996 con respecto al promedio

a) 29-2 Providencia



b) 29-3 S. P. Savegre



La estación 29-2 Providencia (Fig.26a) muestra un incremento en los caudales entre mayo y octubre. Durante los meses de julio y agosto se presentan los mayores incrementos con desviaciones entre un 150 y 225 % sobre el promedio. Los caudales totales acumulados en el período marzo – diciembre 1996 superan al promedio en un 52 %.

En la estación 29-3 S. P. Savegre (Fig.26b) el incremento de los caudales se inicia en el mes de marzo y termina en octubre. Durante los meses de abril y mayo el promedio es superado con desviaciones superiores al 120 %. Durante los meses de julio y agosto se registran los mayores incrementos, superando al promedio en 120 y 140 % respectivamente. Los caudales totales acumulados en el período de marzo a diciembre 1996 supera al promedio en un 63 %.

Como se analizó anteriormente los períodos de influencia de “La Niña” se caracterizan por ser extremadamente lluviosos. La alta pluviosidad se debe principalmente a la presencia de huracanes en el Caribe como Gilbert y Joan en el período 1988-89 y César en el período marzo - diciembre 1996. En la Figura 41 se presenta para las estaciones Providencia y Presa Savegre las lluvias máximas acumuladas en días sucesivos, para los principales eventos que se registraron en los períodos 1988-89 y 1996.

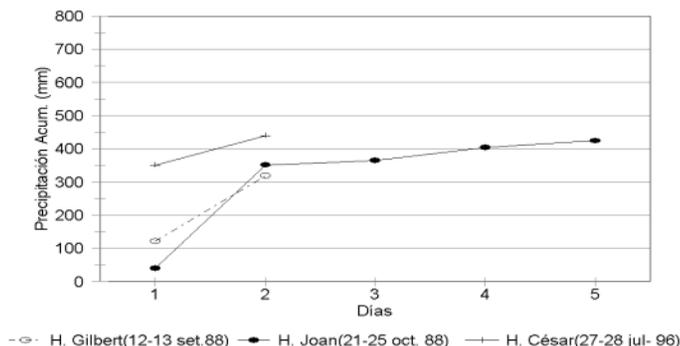
En la Figura 27, se puede observar que el huracán César fue el fenómeno más intenso registrado en el área durante los últimos 20 años.

El huracán César se inició como una onda tropical el día 17 de julio en Dakar, África y se desplazó con dirección oeste durante varios días. El día 25 de julio alcanza la categoría de tormenta tropical con el nombre de César y continuó moviéndose con dirección oeste en la región sur del mar Caribe cerca de la isla Curacao. Ese mismo día se desplazó muy cerca del Golfo de Venezuela con una velocidad de 33 km/h y vientos sostenidos de 75 km. Para el día 27 se convierte en huracán e ingresa en el Mar Caribe después de permanecer estacionario por varias horas a unos 500 km. al este de las costas de Bluefields (Nicaragua). A las 15 horas GMT se desplazó hacia el oeste a 22 km/h y con vientos sostenidos de 130 km/h y se situó a 350 km al noreste de Limón. A las 18:00 GMT la nubosidad asociada con el huracán cubría todo el país afectando la zona norte y el Pacífico sur desde Quepos hasta Punta Burica. La banda nubosa de alimentación del huracán que succionó la humedad desde el Océano Pacífico se localizó sobre las regiones del Pacífico Central y Sur del país, produjo aguaceros continuos que provocaron inundaciones y deslizamientos con interrupciones de tránsito en las rutas costanera e interamericana sur, desbordamientos de los principales ríos, evacuación de poblaciones e interrupciones del fluido eléctrico (IMN, 1996).

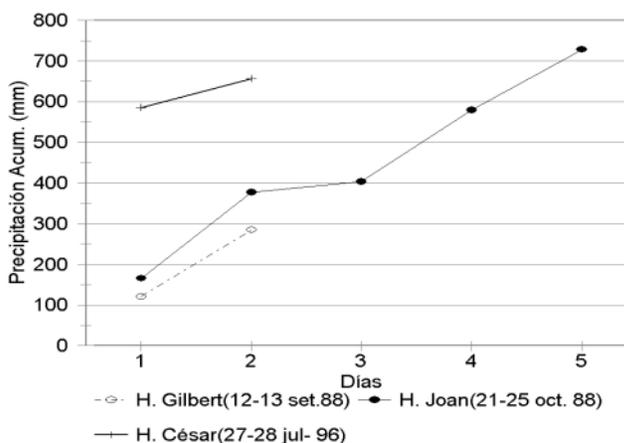
En la Estación Providencia (Fig. 27a) la precipitación registrada durante el evento del 27 y 28 de julio fue de 450 mm. En la estación Presa Savegre (Fig. 27b) la precipitación registrada fue de 656 mm. y en la estación Fila Savegre (Fig. 27c) fue de 737 mm.

Figura 27. Lluvias puntuales acumuladas en días sucesivos para eventos que afectaron la cuenca del Río Savegre en los períodos 1988-89 y 1996

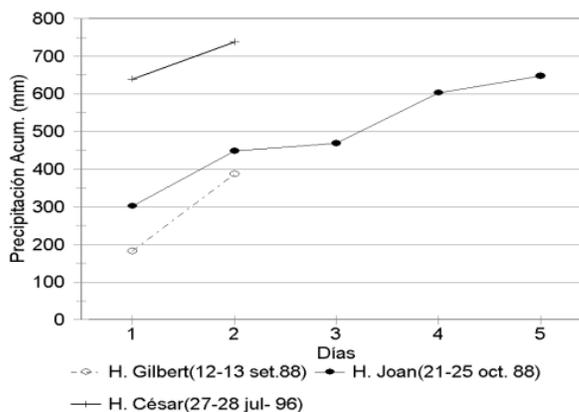
a) Providencia



b) Presa Savegre



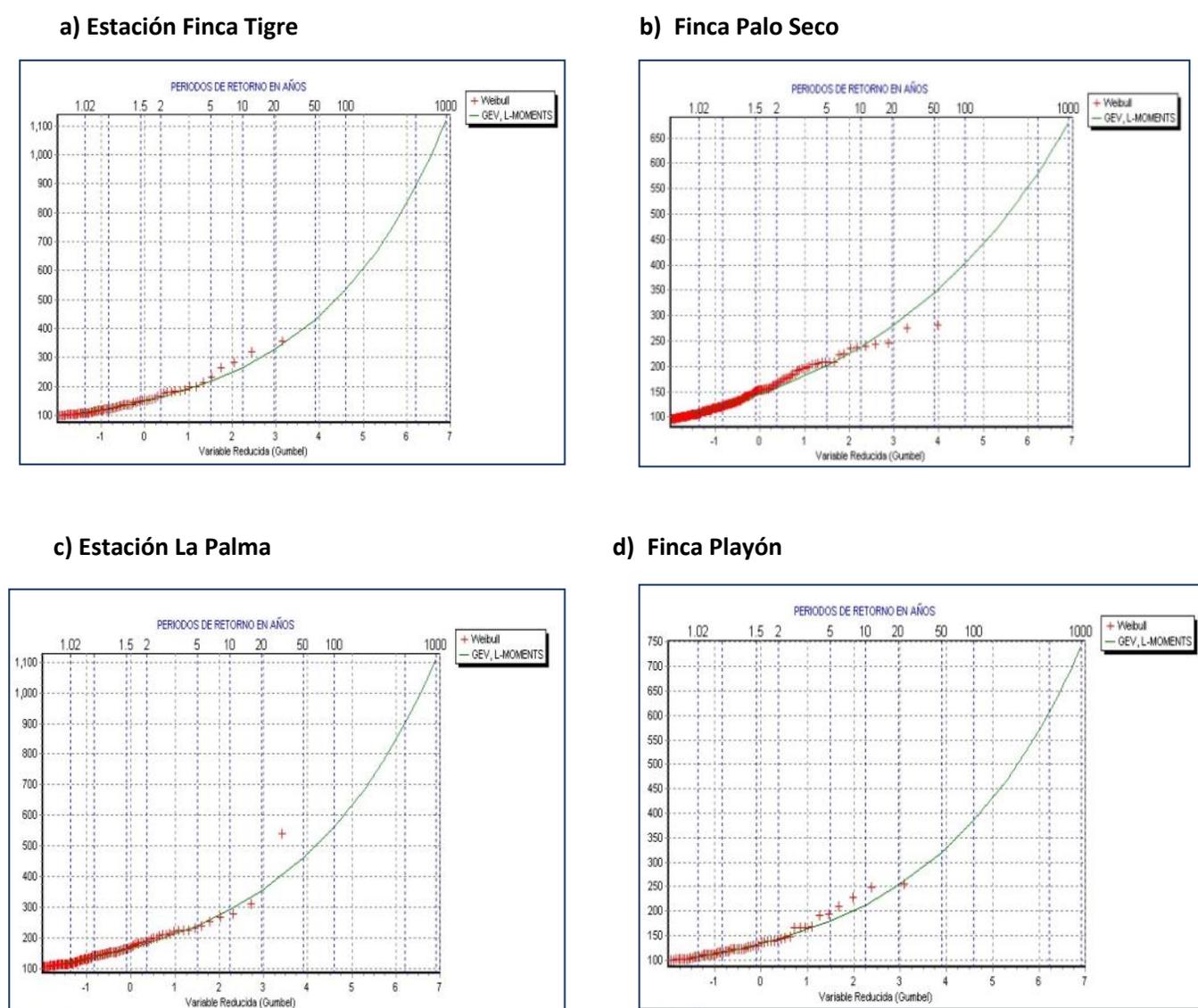
c) Fila Savegre



8.4 Análisis de precipitaciones diarias máximas

A continuación se realiza un análisis de frecuencia para las precipitaciones diarias máximas anuales con el fin de obtener la distribución areal de la precipitación en la región de interés, para una condición extrema asociada con diferentes periodos de retorno. En la Figuras 28 y 29 se incluye los gráficos de las curvas intensidad duración para diferentes periodos de retorno.

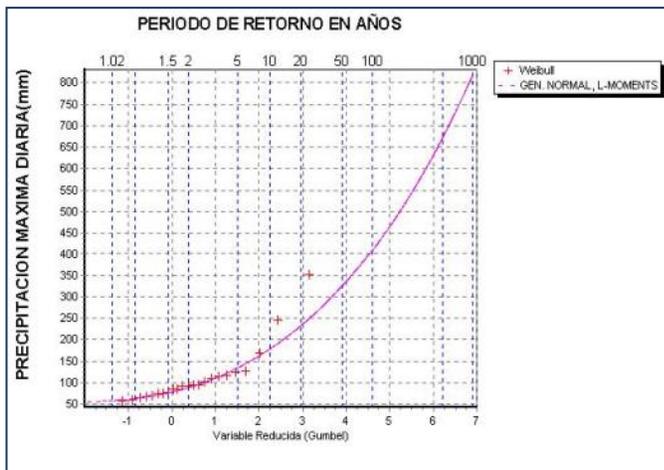
Figura 28. Curva de mejor ajuste para lluvias máximas diarias por estación



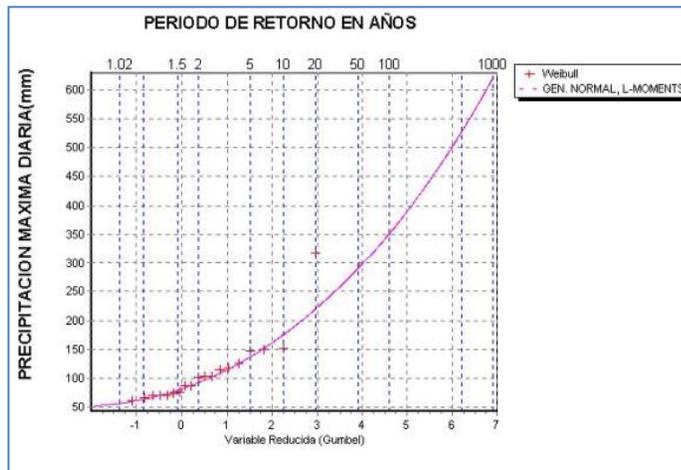
Fuente: P. Machado, en informe Estudios Básicos - ICE, cuenca del río Pirrís, 2007

Figura 29. Curva de mejor ajuste para lluvias máximas diarias por estación

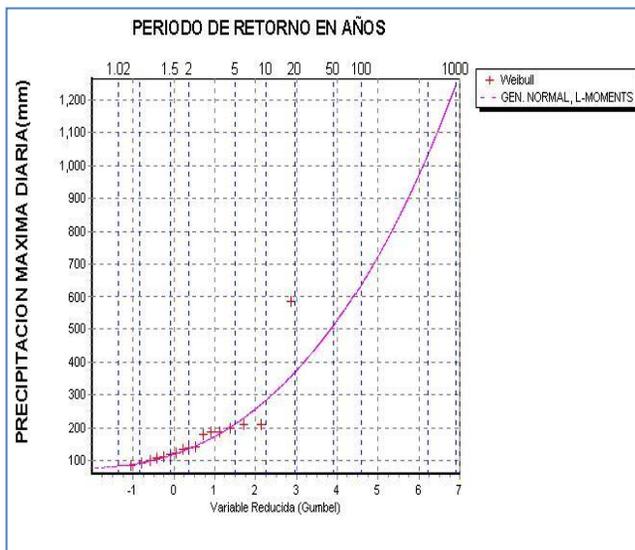
c) Estación Providencia



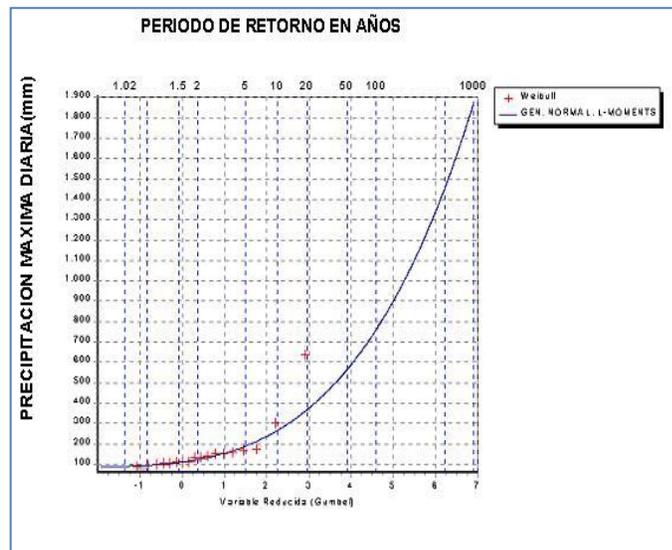
d) Finca F. Los Ángeles



e) Presa Savegre



f) Fila Savegre



Fuente: Chacón, R., en informe Estudios Básicos - ICE, 2002.

En el Cuadro 7 se incluyen los valores de intensidad de lluvia, con diferentes periodos de recurrencia para las estaciones en el área de las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita y alrededores

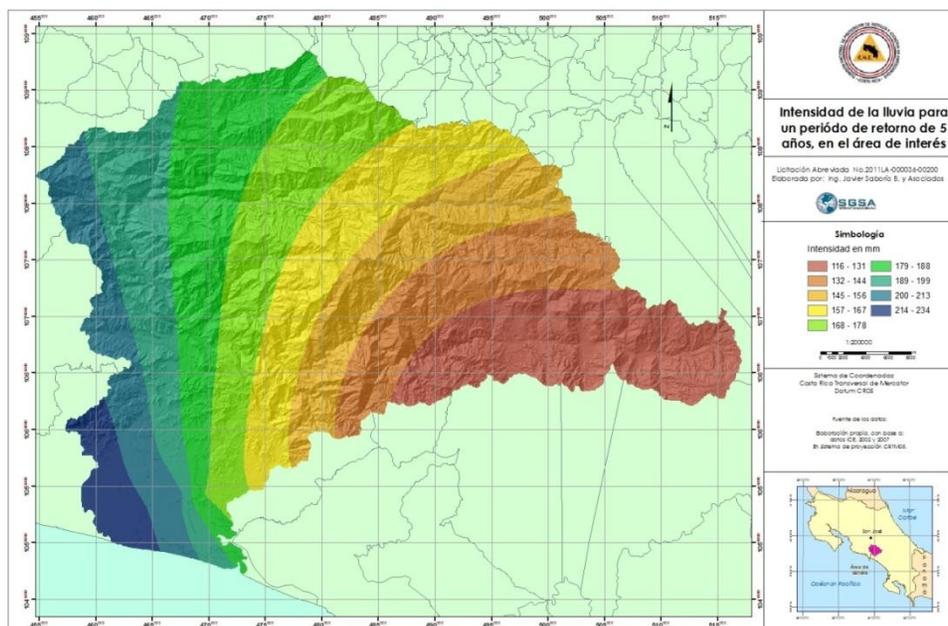
Cuadro 7. Valores de Intensidad de la Lluvia para diferente periodo de recurrencia en años

NUMERO	NOMBRE	PERIODO	ELEV	LAT	LON	PPT5	PPT10	PPT20	PPT25	PPT50	PPT100	
88002	Finca Tigre	1941-2006		12	9.55000000	-84.33333333	210.5	282.5	335.3	380.0	445.4	534.2
88004	Finca Palo Seco	1941-2006		15	9.53333333	-84.30000000	205.1	242.5	275.4	322.0	350.0	402.7
88013	Finca La Palma	1941-1971		12	9.53333333	-84.38333333	235.2	295.2	360.5	420.0	480.5	562.1
88015	Playón	1975-2006		65	9.53333333	-84.28333333	180.5	218.5	255.5	290.0	365.5	385.2
73033	Villa Mills	1942-2002		3000	9.56666667	-83.71666667	97.2	123.5	164.1	123.5	236.0	284.0
94003	Silencio	ND		ND	9.56666667	-84.03333333	114.6	147.0	179.1	147.0	255.8	295.6
94005	Providencia	1978-2002		1490	9.51666667	-83.86666667	140.2	178.2	236.8	275.0	340.5	409.8
94006	P. H. Savegre	1982-2002		200	9.45000000	-83.98333333	210.4	285.6	380.5	450.0	520.1	640.1
94008	Los Angeles (P.Z.)	1981-2002		1100	9.48333333	-83.80000000	140.3	175.5	235.6	260.0	290.5	351.3
94012	Fila Savegre	1980/2002		1280	9.43333333	-83.81666667	195.0	270.0	380.0	480.0	575.6	763.1
98061	San Ramón Norte	1975-2002		1160	9.43333333	-83.71666667	84.2	116.5	164.0	116.5	248.5	329.4

Fuente: Datos ICE, 2002 y 2007, para Villa Mills, se uso Gev= Distribución General de valores extremos, para el resto LM= Método de momentos lineales. Los valores en rojo estimados por aproximación a la estación más próxima

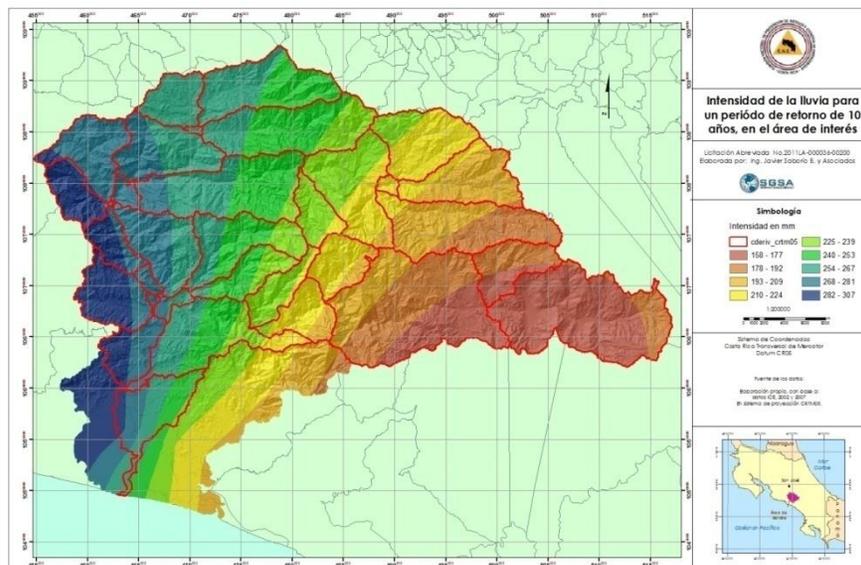
En la Figura 30 se incluye el mapa de la precipitación diaria para un periodo de 5 años, que se utilizará en el análisis de inundaciones.

Figura 30. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 5 años para la región de interés



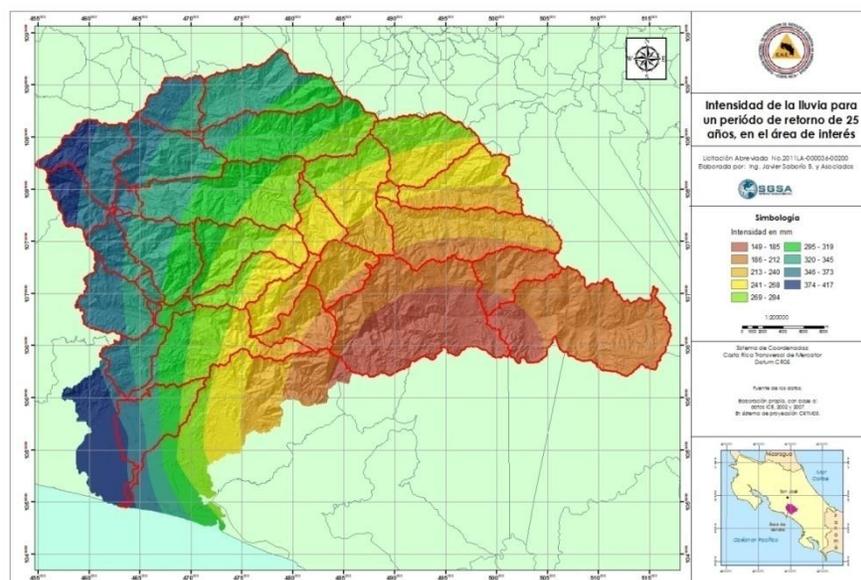
En la Figura 31 se incluye el mapa de la precipitación diaria para un periodo de 10 años, que se utilizará en el análisis de inundaciones.

Figura 31. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 10 años para la región de interés



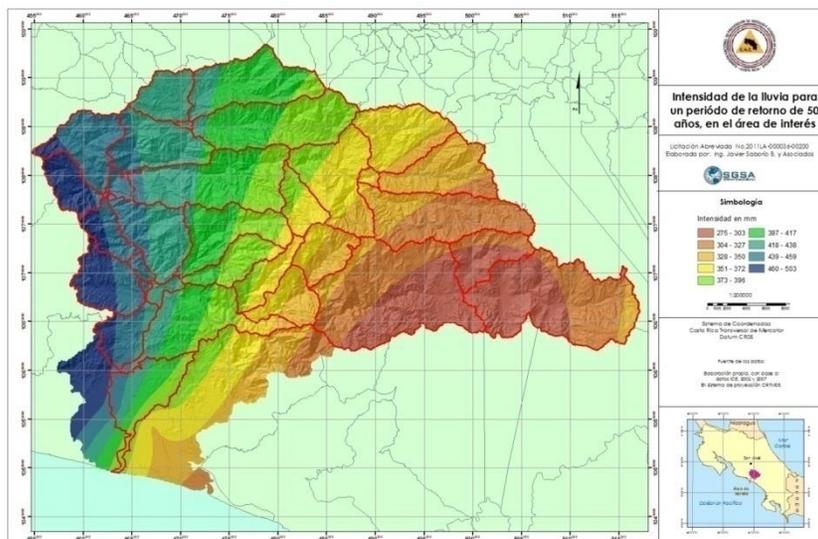
En la Figura 32 se incluye el mapa de la precipitación diaria para un periodo de 25 años, que se utilizará en el análisis de inundaciones.

Figura 32. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 25 años para la región de interés



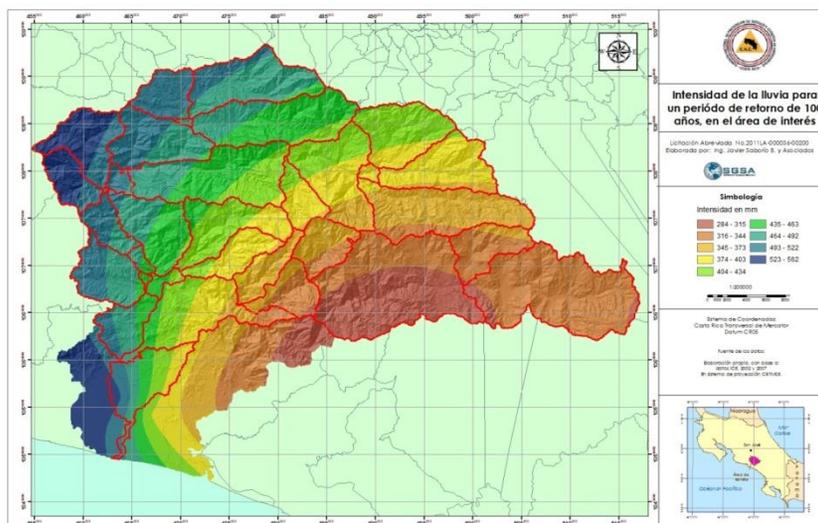
En la Figura 33 se incluye el mapa de la precipitación diaria para un periodo de 50 años, que se utilizará en el análisis de inundaciones.

Figura 33. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 50 años para la región de interés



En la Figura 34 se incluye el mapa de la precipitación diaria para un periodo de 100 años, que se utilizará en el análisis de inundaciones.

Figura 34. Intensidad de lluvia para un periodo de retorno de 100 años para la región de interés



8.5 Conclusiones del análisis hidrometeorológico

- La distribución areal de la precipitación en la región varía entre los 1808 mm en la parte alta de la región noreste y noroeste, hasta alcanzar valores de 6586 mm en la región central hacia el suroeste. La precipitación media areal de la cuenca es 4393 mm. para el período 1980-2009.
- La región de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís, se localiza en la vertiente del Pacífico (región central) y su régimen de precipitación se caracteriza por presentar una época seca que comprende los meses de diciembre a la primera quincena de abril y una época lluviosa del mes de mayo a noviembre. Durante la época lluviosa entre los meses de julio y agosto se presenta una disminución relativa de la precipitación conocida como "Veranillo". La máxima precipitación se registra en los meses de setiembre y octubre. En las regiones noreste, sureste y sur de la cuenca la época seca es más prolongada y la lluvia registrada representa un 10 a 11 % del total anual. La región suroeste es donde se registra la mayor pluviosidad del y presenta una época seca más corta, la lluvia registrada durante esta época representa un 16 % del total anual.
- Durante la presencia del evento "El Niño" la precipitación en toda el área es deficitaria. Durante el evento de febrero 1991 a junio 1992 la precipitación mensual estuvo por debajo del promedio con porcentajes que variaron entre un 10 y 100 %. A nivel anual la precipitación registrada fue un 22 % inferior al promedio. El comportamiento de los caudales mensuales es deficitario durante todo el período de febrero 1991 a junio 1992. A nivel mensual los porcentajes varían entre un 10 y un 60 % por debajo del promedio. Los meses más críticos fueron mayo y junio 1992 con porcentajes de un 50% por debajo del promedio. A nivel anual los caudales estuvieron un 25 % por debajo del promedio.
- Durante la presencia del evento "La Niña" la precipitación registrada en la cuenca tiene una tendencia a incrementarse, principalmente por la presencia de fenómenos meteorológicos como los huracanes y depresiones tropicales. Durante el período de marzo a diciembre 1996 la precipitación mensual alcanzó porcentajes hasta de un 150 % sobre el promedio en el caso del mes de julio donde se dio la presencia del huracán César que provocó lluvias los días 27 y 28 de julio con valores que variaron entre 450 y 737 mm. A nivel anual la precipitación del período marzo – diciembre 1996 superó al promedio entre un 23 y 31 %. Los caudales mensuales del período marzo – diciembre 1996 superaron al promedio con porcentajes que variaron entre un 25 y un 225%.

A nivel anual el período marzo – diciembre 1996 superó al promedio con porcentajes que variaron entre un 52 y un 63 %.

- La distribución areal de la precipitación máxima diaria para un período de retorno de 100 años muestra una máxima precipitación de 590 mm. al este del área. El valor mínimo entre 273 a 308 mm. se concentra en las parte este del área, hacia el este se tiene el máximo con 400 mm.

8.6 Curvas PADF

Las curvas PADF son la representación de las características de las tormentas que se han producido históricamente en una cuenca o subcuenca. Las curvas refieren a la precipitación media en un área especificada con la duración y frecuencia de ocurrencia del evento tipo tormenta, de tal manera que permitan determinar la ocurrencia de los valores determinados de la profundidad o nivel de la precipitación.

La **profundidad** de la precipitación de una tormenta está relacionada con el **Área** donde cae y la **Duración** de la tormenta (análisis de DAD, "Depth Area Duration"). Este análisis se lleva a cabo para obtener una curva que muestra la relación entre la profundidad de las precipitaciones, el área de cobertura y la duración del evento. Básicamente es una representación gráfica que muestra la disminución gradual de la profundidad de precipitación con el aumento de la zona donde se produce la tormenta y como se mueve al alejarse del centro de la tormenta. La duración se tomará como un tercer parámetro, dando una relación directa entre la profundidad, el área y la duración de la precipitación sobre una región de interés. El principal objetivo de dicho análisis es definir las cantidades de precipitación máxima que se producen en distintos tamaños de área de drenaje durante el paso de los períodos de tormenta de decir 24 horas u otras duraciones. En la literatura hay dos métodos propuestos para la realización de este tipo de análisis: el método de la curva de masas y el método incremental de las isoyetas (Shaw, 1994). Este último es el que se utilizará acá.

Los pasos principales del método incremental de isoyetas son:

- La identificación de las grandes tormentas en la región de interés (en nuestro caso, sobre las cuencas de estudio.
- La duración de todas las tormentas. Para esta aplicación se elegirán las duraciones de un día. Así se seleccionan todas las tormentas que ocurren durante un día. Si se

ha producido una tormenta durante más de un día, luego la precipitación máxima de un día de tres días se observará y anotará).

- El trazado de los datos de las precipitaciones sobre el mapa de la cuenca y creación y asignación de patrones de isoyetas para todas las tormentas de un día.
- Una de las tormentas de un día es seleccionada y se mide el perímetro de la zona delimitada en la isoyeta más alta. La profundidad de la cobertura de precipitación hasta la segunda isoyeta se obtiene mediante el uso de: $d_2 = (P_{m1}A_1 + P_{m2}A_2) / (A_1 + A_2)$, donde P_{m1} es la precipitación media dentro de la zona más alta de la isoyeta A_1 y P_{m2} es la precipitación promedio entre la primera y la segunda más altas isoyetas cubriendo A_2 . La profundidad progresiva para la cobertura de la zona hasta la tercera isoyeta puede obtenerse de la misma manera: $d_3 = (P_{m1}A_1 + P_{m2}A_2 + P_{m3}A_3) / (A_1 + A_2 + A_3)$. El procedimiento se repite para cubrir las isoyetas restantes.
- Todas las áreas - profundidades de precipitación de la zona se registran en una tabla.
- Los cuatro primeros pasos se repiten para todos los eventos de tormenta de un día de la zona.
- Se crea un gráfico para representar el área en las abscisas y el máximo de las profundidades promedio de precipitación como ordinales cubriendo los datos de profundidad-área de todas las tormentas de un día.

El trazado resultante será la curva DAD para la región. Este tipo de análisis requiere que toda la información anterior de tormentas sea procesada y generalmente requiere una gran esfuerzo computacional. Por este motivo el procedimiento se ha programado utilizando un generador de curvas PADF en lenguaje de programación Python.

Adquisición de datos

El satélite TRMM proporciona datos de lluvia en longitudes de onda entre radar y microondas radiométricas que miden la distribución vertical de la precipitación en los trópicos, donde se produce la mayor parte de las precipitaciones de la tierra. En esta aplicación se va a utilizar el algoritmo TRMM 3B42 (ajustado de TRMM 3B42 combinación - precipitación infrarroja). El propósito de este algoritmo es producir precipitaciones de infrarrojos (IR), que se fusionaron con TRMM ajustado y estimaciones de error de la precipitación media cuadrática (RMS).

La grilla final, ajustada IR fusiona la precipitación (mm/hr) y las estimaciones del error RMS de precipitación con una resolución temporal de 3 horas y una resolución espacial de 0,25 grados por 0,25 grados. La cobertura espacial se extiende desde 50 grados sur hasta 50 grados de latitud norte (Huffman, 1995; 1997; 1997).

El conjunto de datos contiene actualmente dos productos, microondas combinadas de estimaciones IR de tres horas (con ajuste de ancho), y microondas mensuales combinadas de IR de precipitación calculada sobre una rejilla quasi-global unas dos semanas después del final de cada mes a partir de enero de 1998. El conjunto de datos 3B42 utiliza las estimaciones de lluvia TMI 2A12 para ajustar las tasas de lluvia de IR de alta resolución temporal (3 horas o superior) sobre una grilla diaria de cuadros de 0,25 x 0,25 grados lat/lon. El algoritmo de recuperación de 3B42 utilizado para este producto se basa en la técnica por Huffman et 1995; 1997 y Huffman de 1997. El Cuadro 8 resume las principales características de 3B42 TRMM.

Cuadro 8. Características de TRMM 3B42

Cobertura Temporal	Fecha de inicio: 1998-01-01; Fecha final: -
Cobertura Geográfica	Latitud: 50°S - 50°N; Longitud: 180°W - 180°E
Resolución Temporal	3-Horas
Resolución Horizontal	0.25° x 0.25°; nlat = 400, nlon = 1440
Promedio del tamaño del archivo	Compresión: ~285 KB; Original: ~4.5 MB
Tipo de archivo	HDF

Nota: nlat = 400: número de cuadrículas de 0,25° de latitud de 50° S - 50° N; nlon = 1440: número de cuadrículas de longitud 0.25° de 180° W - 180° E; Los datos faltante reciben el valor de -9999.

Los datos utilizados para el trabajo son datos diarios que son apropiados para la escala temporal en que se observaron los eventos de lluvias. Es mucho más fácil observar eventos de alta pluviosidad durante un período de 24 horas, que identificarlos durante períodos de 3 horas por ejemplo, que es una resolución temporal demasiado alta.

En la Figura 35 se incluye el mapa de estaciones virtuales provenientes del sensor, así como los datos de las estaciones del IMN.

Figura 35. Estaciones virtuales provenientes del sensor TRMM y estaciones del IMN para la región de interés

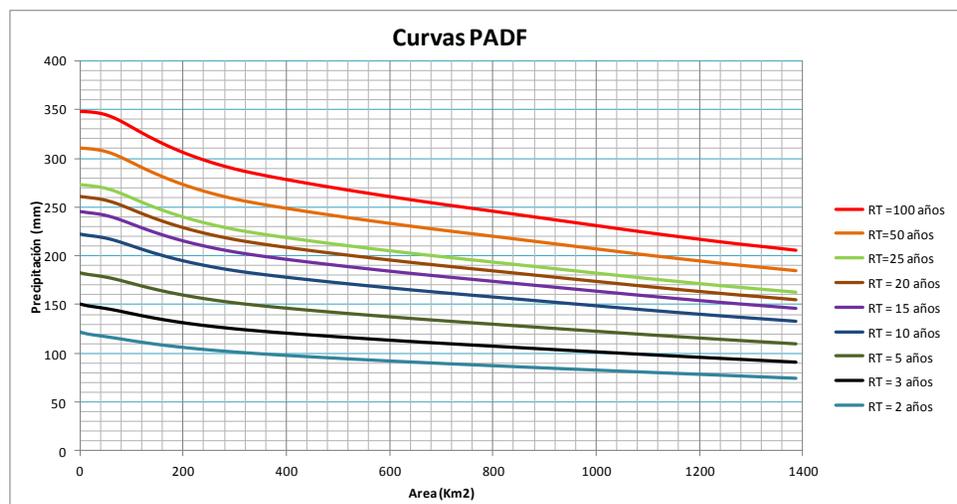


Curvas PADF. La modelación de las precipitaciones convectivas y en general no asociadas al paso de huracanes por una región, puede efectuarse empleando el programa **ERN-LluviaNH**, desarrollado por ERN, de la plataforma CAPRA.

Este programa permite generar tormentas estocásticas que son compatibles con las condiciones hidrológicas de una determinada cuenca, reflejadas en un juego de curvas PADF particular.

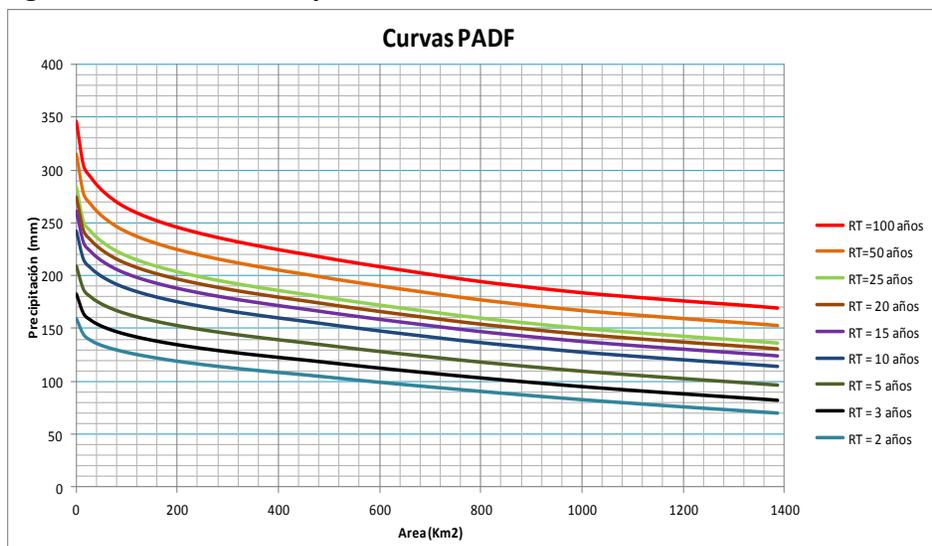
En el Anexo Digital, se incluye la base de datos horaria de las estaciones, con esto y aplicando el programa ERN-AL.CurvasPADF, se obtienen las curvas Precipitación Área Duración Frecuencia, mostradas en la Figura 36.

Figura 36. Curvas PADF para las estaciones virtuales en el área de interés



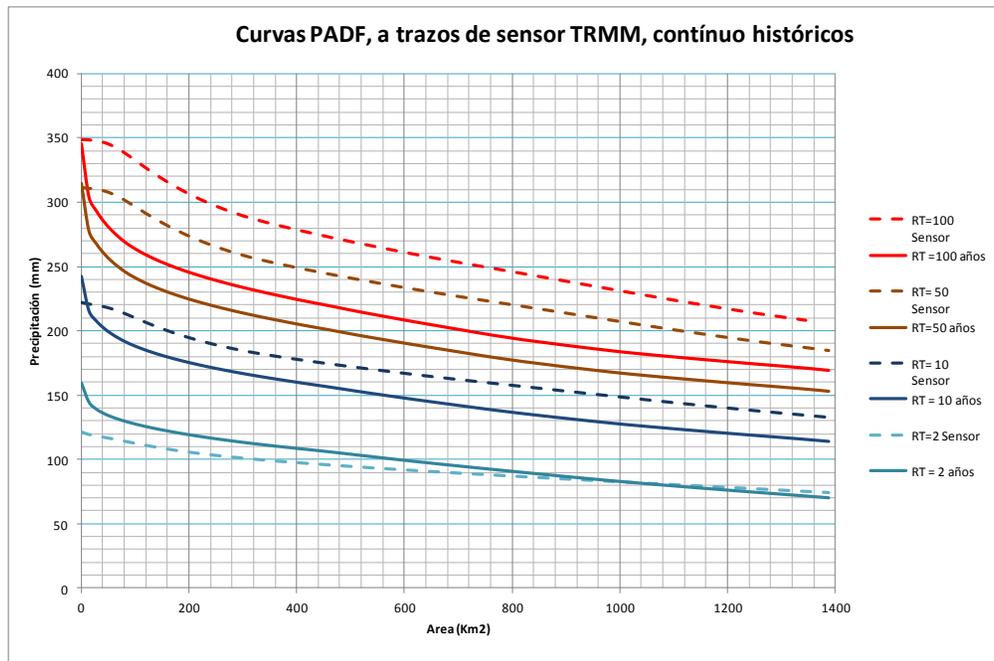
Utilizando los datos diarios de las 5 estaciones más próximas al área de análisis, esto es las estaciones: Finca Palo Seco, La Ligua-Parrita, Hacienda La Minita (Bustamante), Damas y Guachiplín (Santa Ana), se obtienen las curvas PADF mostradas en la Figura 37.

Figura 37. Curvas PADF para las estaciones del IMN en el área de interés



A pesar de que los datos históricos para el mismo periodo de análisis de 1989 a 2010, no están distribuidos uniformemente, se tiene una tendencia y valores similares, con curvas un poco mayores de parte de los generados por el TRMM, pero que se pueden deber a la poca presencia de estaciones históricas en las partes media y alta del área de análisis. En la Figura 38 se incluyen la comparación de las curvas.

Figura 38. Comparación de curvas PADF para las estaciones virtuales e históricas, en el área de interés



9. Amenaza por inundaciones (modelo hidrodinámico)

Las inundaciones son fenómenos naturales que se producen por la acumulación de agua en una zona determinada. Se han presentado durante toda la historia geológica del planeta, y aún son frecuentes en muchas regiones del mundo, especialmente en épocas de gran pluviosidad (generalmente se asocian con fenómenos hidro-climáticos).

Debido a que el ser humano ha insistido en utilizar las planicies de inundación como escenarios de diferentes actividades, las consecuencias de estos procesos naturales de avenida-desbordamiento-acumulación de agua, han sido desastrosas, en muchos de los casos.

Según Mays (2001), las inundaciones suceden: a) a lo largo de ríos, arroyos y lagos, b) en áreas costeras, c) en abanicos aluviales, d) en áreas de falla del terreno, e) en áreas afectadas por estructuras civiles, f) en áreas en que la inundación se debe al escurrimiento superficial y a drenajes localizados de manera inadecuada.

En la región, aunque se presentan altos niveles de precipitación anual, las estadísticas revelan que se han dado repetidas inundaciones y las mismas obedecen a la invasión del cauce debido procesos urbanistas poco planificados, así como a la deforestación de las partes altas y medias de las cuencas, más aún en las partes bajas y zonas costeras de las cuencas, o en áreas amplias a lo largo de ríos en valles anchos y planos, se han presentado inundaciones, que minan periódicamente el desarrollo socio-económico de la zona.

En el presente estudio se quiere definir las áreas de inundación en la región de interés, a partir de eventos de lluvia particulares, que a la vez se puede asociar con una probabilidad de ocurrencia. Lo anterior puede ser una valiosa herramienta para la planificación del uso de la tierra, así como para la prevención de desastres debido a inundaciones.

El modelo utilizado, FloodArea (Geomer, 2002), calcula las áreas de inundación según un enfoque hidrodinámico, el cual toma como base la tradicional fórmula de Manning para calcular los volúmenes de descarga en el cauce y las planicies y para diferentes periodos de recurrencia de 5, 10, 25, 50 y 100 años. Lo anterior se puede ejecutar también en concordancia con hidrogramas asociados con puntos de control sobre el río. En el Anexo A, se incluye la metodología aplicada para la Región de Candelaria, Pirrís y Parrita.

Los resultados de este trabajo consisten en un mapa con la delimitación del área de inundación, además se podrían obtener secciones transversales que pueden ser de interés. Con estos datos se pueden implementar medidas integrales de corrección y

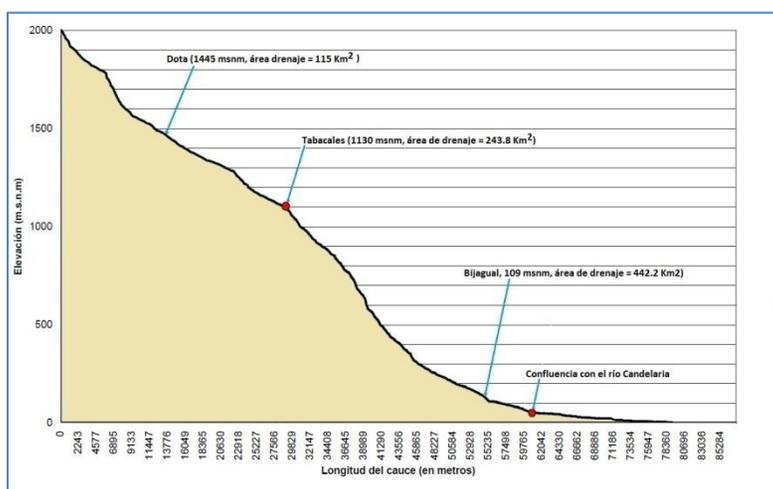
prevención de daños por inundaciones en el área, pero no se limitan a la preparación de planes de emergencia, obras de control de inundaciones, y regulaciones en el manejo de la planicie de inundación. En el caso específico las áreas delimitadas concuerdan parcialmente con las áreas de inundación delimitadas por la Comisión Nacional de Emergencias.

9.1 Uso del hidrograma

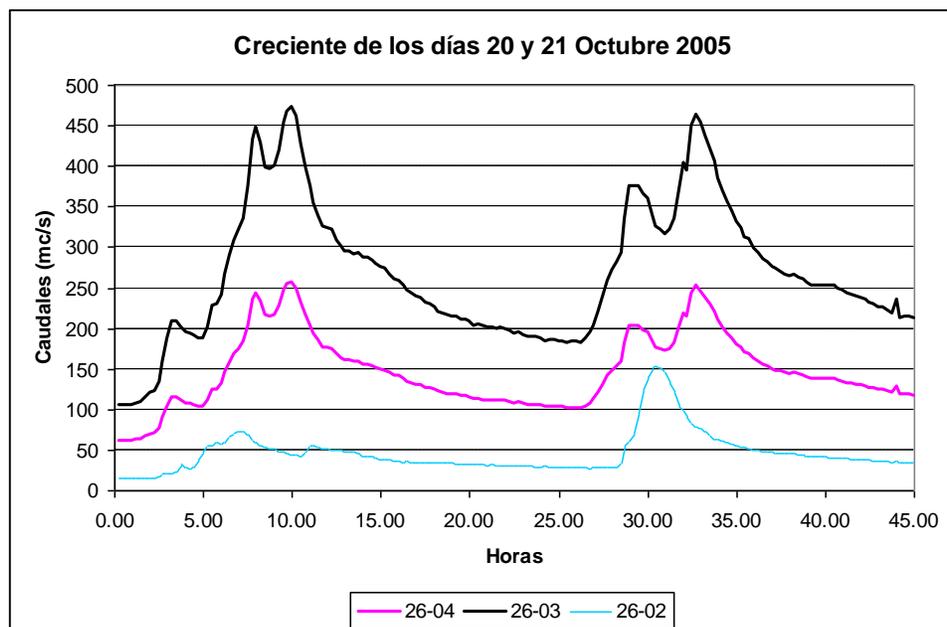
Un primer problema con que se cuenta es que los ríos Parrita y Pirrís cuentan con estaciones hidrográficas, sin embargo, el río Candelaria no. Por eso se ensayará primeramente la modelación sin considerar el aporte de este río.

En la Figura 39 se muestran las elevaciones a las que se ubican las estaciones fluviográficas, en particular la estación Tabacales es de tipo telemétrica, por lo que sería de enorme utilidad para el Sistema de Alerta.

Figura 39. Perfil de las estaciones ubicadas en la cuenca de los ríos Parrita y Pirrís



Luego de revisar las mayores crecientes registradas en las estaciones 26-03 Bijagual, 26-04 Tabacales y 26-02 Dota se seleccionó la que ocurrió los días 20 y 21 de octubre del 2005, donde los caudales máximos registrados fueron: 156 m³/s en Dota, 257 m³/s en Tabacales y 473 m³/s en Bijagual, en a Figura 40 se incluyen las crecientes seleccionadas.

Figura 40. Creciente seleccionada para simular la inundación.

Posteriormente se procedió a efectuar un análisis de frecuencia para los caudales máximos registrados en las estaciones en mención. De acuerdo al ajuste con la distribución GEV, se obtuvo que para el caudal de 473 m³/s en Bijagual corresponde un período de retorno (T) de 3.5 años; mientras que para el caudal de 257 m³/s en Tabacales el período de retorno (T) corresponde a 5 años. Como lo que se pretende es conocer la posible zona inundada para varias condiciones extremas, se procedió a “maximizar” la creciete del 20 y 21 de octubre del 2005 para los valores de 5, 10, 25, 50 y 100 años de período de retorno en cada estación fluviográfica. En el Cuadro 9 se incluyen los caudales para los periodo de retorno de las estaciones estudiadas.

Cuadro 9. Caudales estimados para cinco períodos de retorno en las estaciones estudiadas.

	T = 5 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 50 años	T = 100 años
Estación	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
26-03 Bijagual	723	809	1069	1421	2397
26-04 Tabacales	257	308	398	541	854

Para cada una de estas crecientes se realiza la corrida respectiva del modelo, utilizando los hidrogramas definidos para cada uno de los períodos de retorno, de manera que se puede decir que de esta forma se obtienen las inundaciones para dichos períodos. En las figuras 41 a 45 se incluyen las modelaciones de las inundaciones para el área de interés.

Dado que los mapas de intensidades se expresan en mm/día se debe hacer la conversión a la hora de utilizar FLOODAREA, pues el mapa de intensidades debe expresarse en mm/hr, de esta forma hay que dividir los mapas de intensidades por el factor (24). Además, el tamaño del pixel cuenta y el equivalente para $1\text{m}^3/\text{seg}$ se logra mediante la transformación dada en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Transformación de lluvia para equivalente a $1\text{m}^3/\text{seg}$, acorde al tamaño de pixel

Pixel [m]	Área [m ²]	Factor
5	25	144000
10	100	36000
20	400	9000
30	900	4000
50	2500	1440
100	10000	360

Figura 41. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $T_r = 5$ años

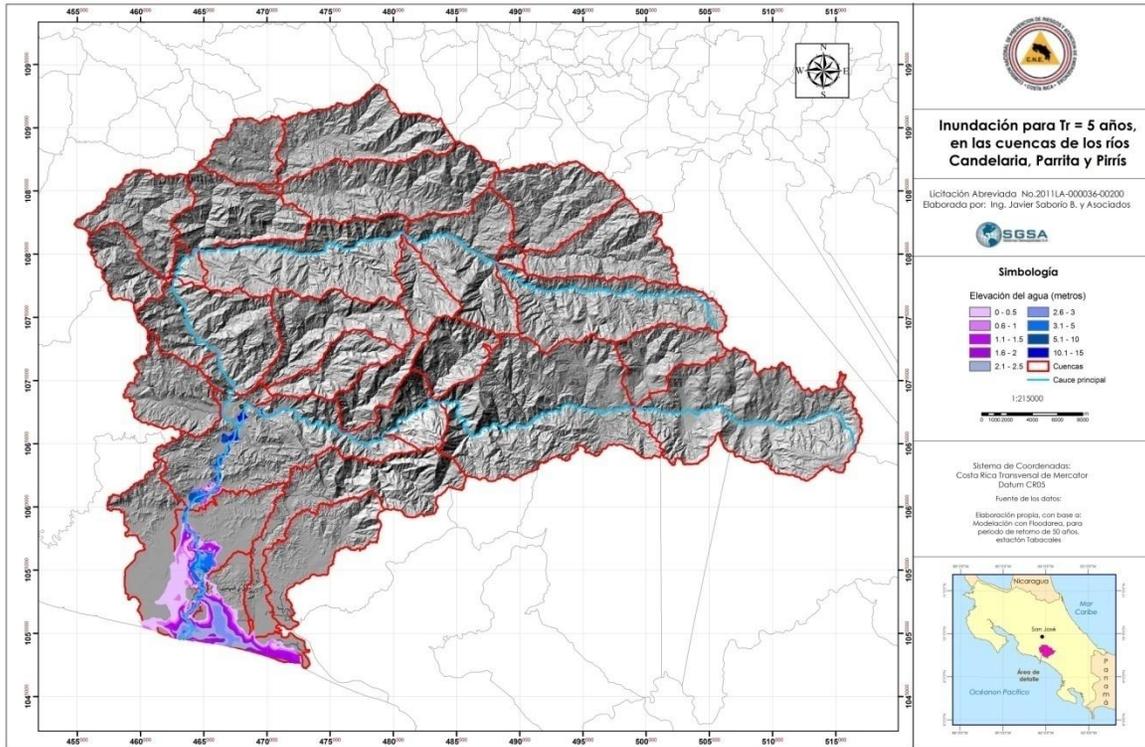


Figura 42. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $T_r = 10$ años

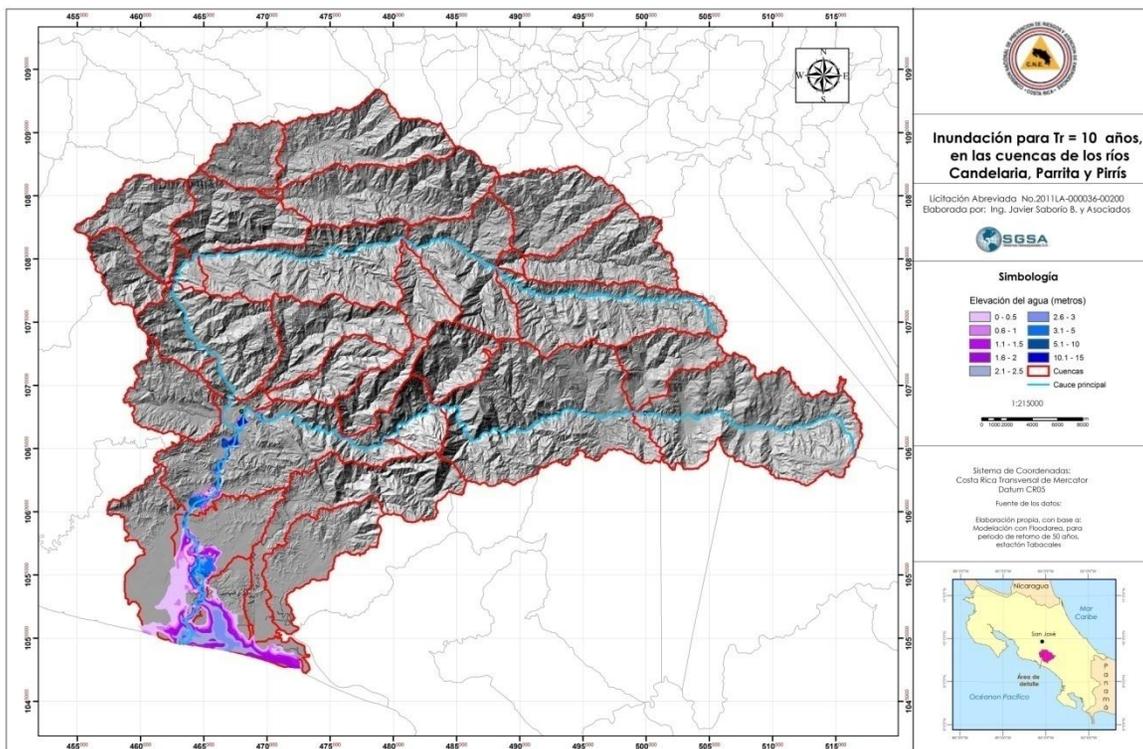


Figura 43. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $T_r = 25$ años

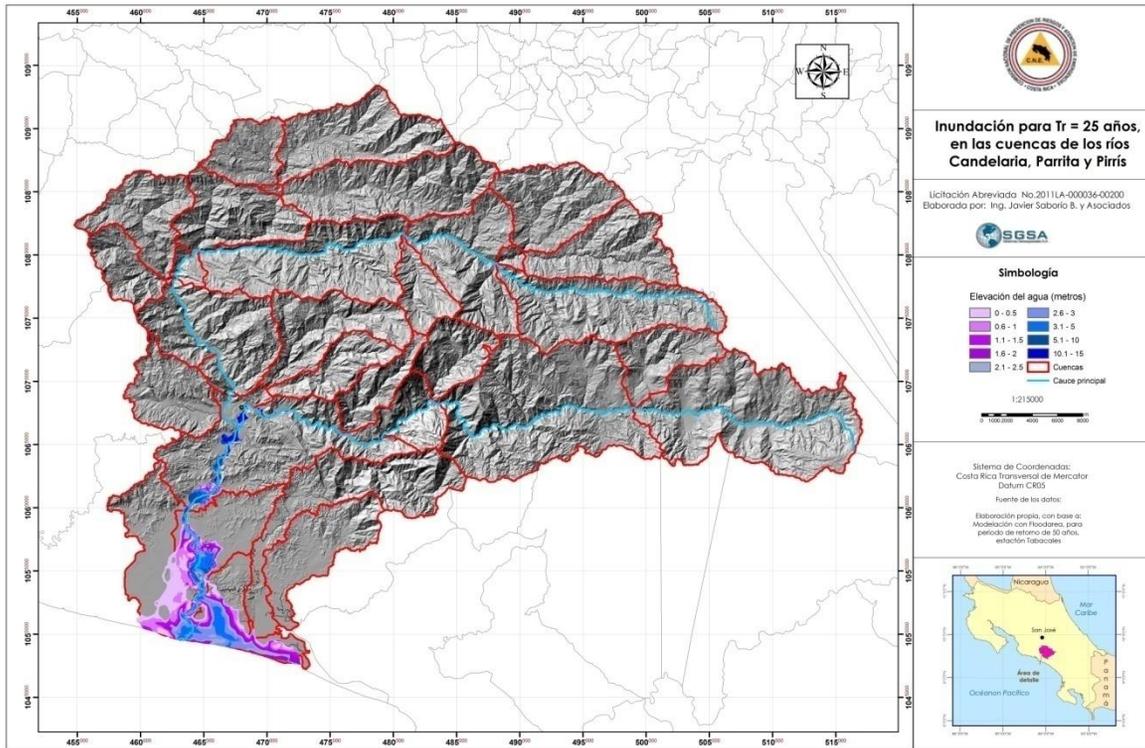


Figura 44. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $T_r = 50$ años

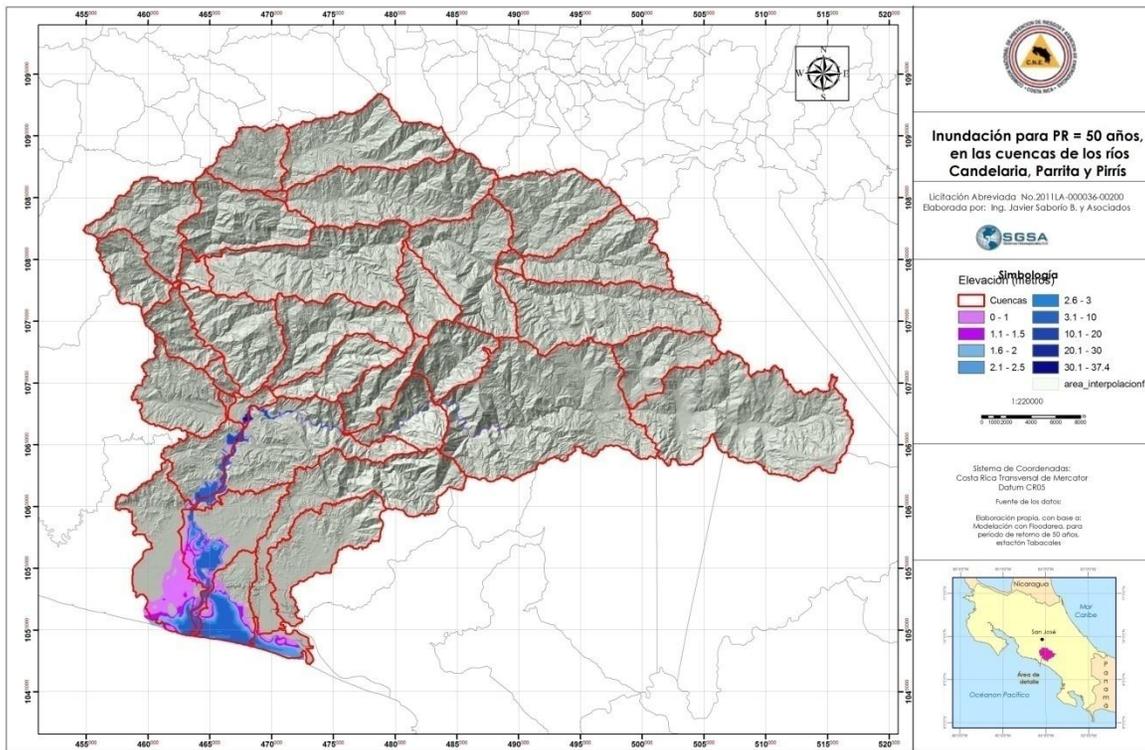
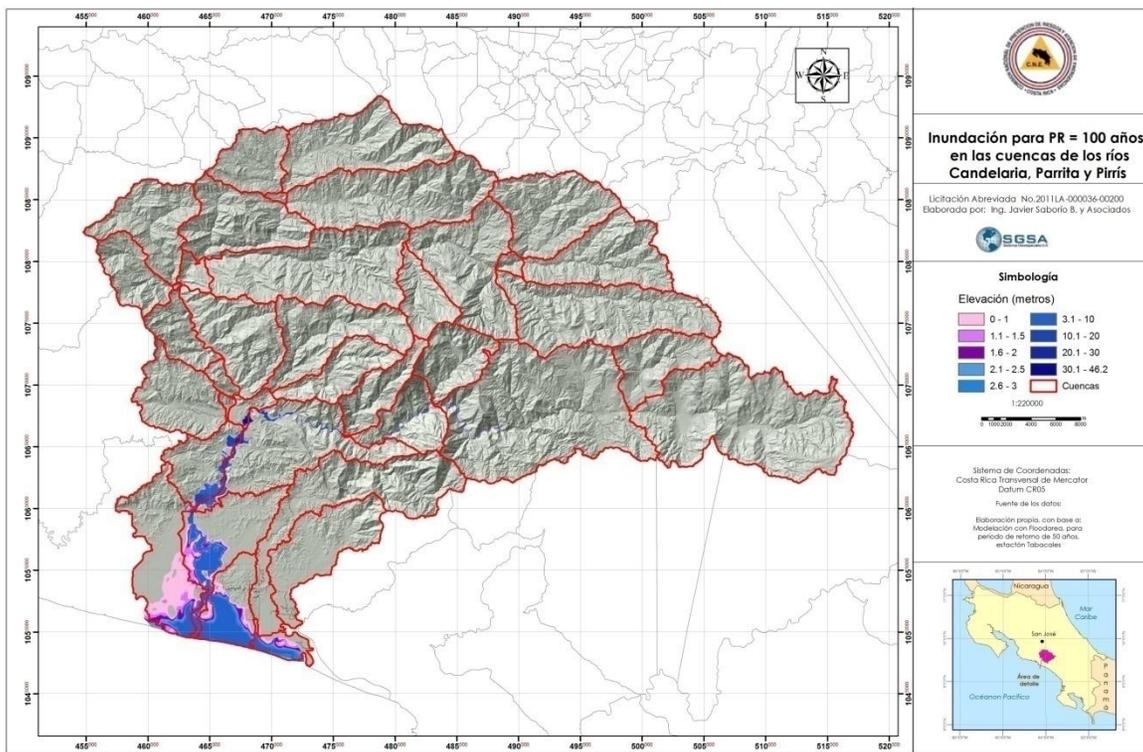


Figura 45. Amenaza de inundaciones y delimitación CNE, para la región Candelaria, Parrita y Pirrís, periodo de retorno $T_r = 100$ años



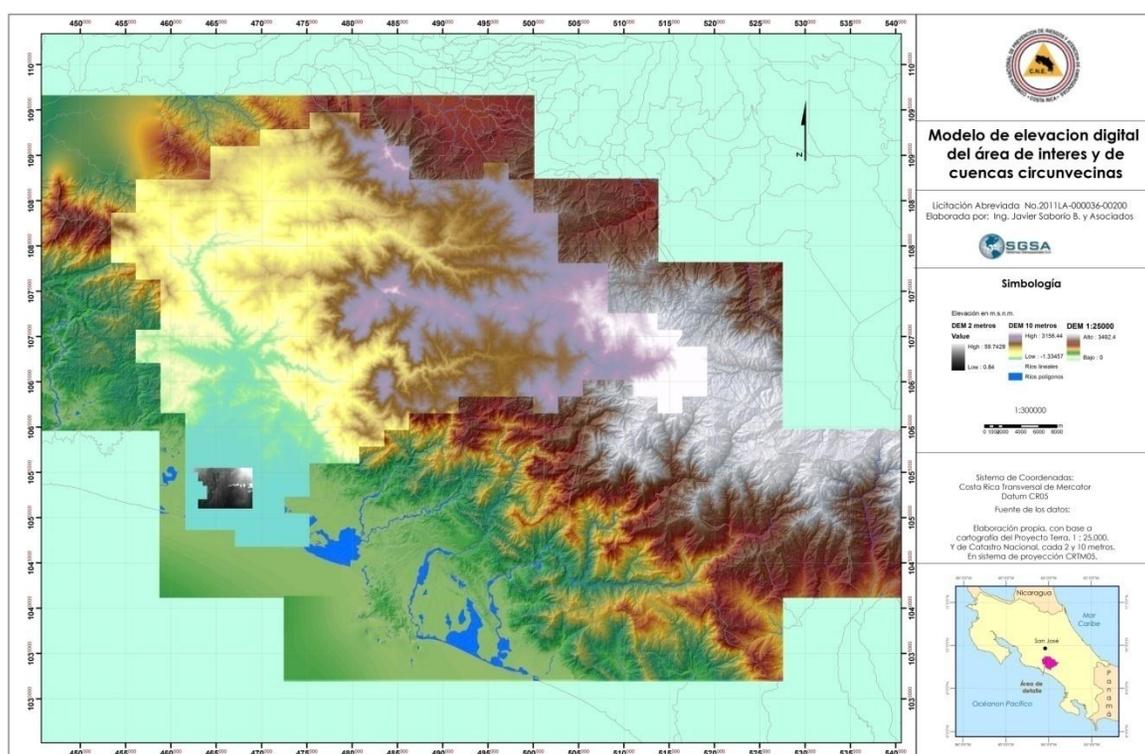
Fuente: Elaboración propia, con base en datos ICE de caudales.

9.2 Refinamiento de modelo de elevación digital

La Unidad ejecutora de Catastro Nacional proveyó con datos de puntos de elevación cada 2 metros y cada 10 metros del área, provenientes de datos de fotos aéreas 2005 y procesadas en 2008-2010.

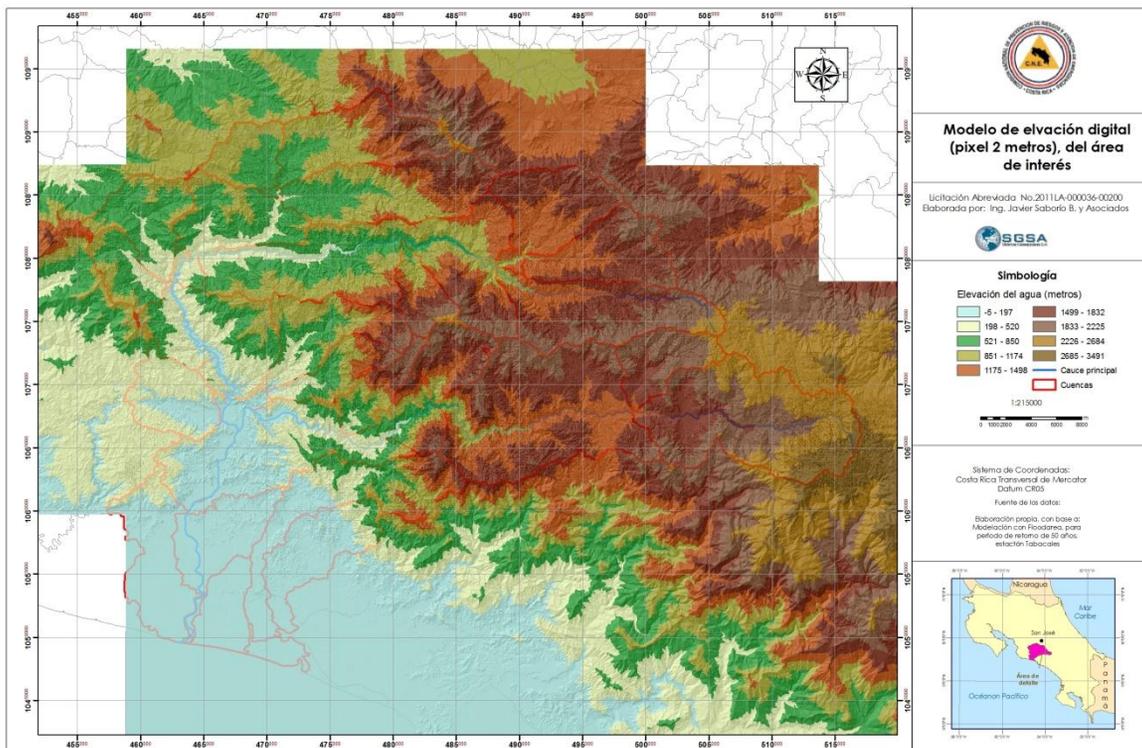
En la Figura 46 se muestra la sobreposición de los modelos de elevación digital: escala 1:25,000 y los datos de Catastro Nacional.

Figura 46. Áreas mostrando los datos de elevaciones a diferentes escalas



Con lo anterior se logra una mejora del modelo de elevación digital que se utilizará en la modelación. Se ha procedido a la creación de un modelo de 2 metros de pixel, dado que el área a interpolar es grande. Para la construcción del mismo se ha dividido el área en una cuadrícula y luego unido para crear un modelo continuo. En la figura 47 se incluye el modelo de elevación digital del área de interés.

Figura 47. Modelo de elevación digital del terreno cada 2 metros



10. Amenaza por inundaciones (modelo bidimensional)

En el caso particular del riesgo hídrico, el conocer la hidrología y la hidráulica de la cuenca resulta de vital importancia para la comprensión y dimensionamiento de los efectos de los eventos hidrológicos. Dichos estudios permiten no sólo estimar la magnitud de un evento, sino que constituyen la información de base para los diseños de obras para el transporte y manejo del agua.

Los modelos de simulación hidrológica e hidráulica constituyen una herramienta valiosa dentro de este contexto porque permiten la posibilidad de estudiar el comportamiento hidrológico de una determinada corriente de agua, dan una idea bastante aproximada del comportamiento hidrológico en varios escenarios posibles, permiten calcular con un buen grado de aproximación la cantidad de agua en una determinada zona al mismo tiempo que permiten simular la ocurrencia de eventos de diferentes proporciones.

En el marco de la implementación de un programa de alerta temprana para la cuenca del Río Parrita (Pirrís) se hace necesario simular hidrológica e hidráulicamente los canales con el objetivo de establecer los caudales y las planicies de inundación para diferentes eventos extremos y así poder determinar el alcance e impacto que tienen estos eventos en la parte baja de la cuenca.

Para la modelación hidrológica se utilizó el modelo HEC-HMS el cual permite simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de una precipitación, mediante la representación de la microcuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente modela un aspecto del proceso de escurrimiento por precipitaciones dentro de una parte de la cuenca. La representación de un componente requiere un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico. El resultado del proceso de modelaje es el cálculo de los hidrogramas de flujo en sitios elegidos de la cuenca del río. Para la modelación hidráulica se utilizó el modelo HEC-RAS que permite, a través de la geometría de los canales y el hidrograma de flujo a la entrada, estimar los tirantes de agua en el canal y subsecuentemente la estimación del área correspondiente a la planicie de inundación para los diferentes eventos escogidos.

10.1 Objetivos

- Delimitar las subcuencas del río Parrita que serán incluidas como elementos de la modelación hidrológica.
- A partir de un evento histórico extremo de precipitación, calibrar el modelo hidrológico en la cuenca del río Parrita.
- Simular hidrológicamente eventos de precipitación con diferentes períodos de retorno.

- A partir de los resultados de la simulación hidrológica, implementar la simulación hidráulica de un tramo seleccionado del río para los diferentes períodos de retorno.

10.2 Características del área de estudio

La cuenca del Río Parrita está conformada por dos ríos principales que nacen en las partes altas de la cuenca: el Río Grande de Candelaria y el Río Pirrís.

Estos dos ríos se unen aproximadamente en las coordenadas $9^{\circ} 38' 46''$ N y $84^{\circ} 17' 34''$ para formar el Río Parrita que desemboca en el Océano Pacífico. La mayor elevación de la cuenca es de 3,140 msnm (Cerro Vueltas) y la menor elevación de 0 msnm (desembocadura).

10.3 Modelación Hidrológica

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, el HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelo de la cuenca, número de curva, modelo meteorológico, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el período de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas, son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico. Para definir la estructura de una cuenca, el programa considera los siguientes elementos hidrológicos: subcuenca (subbasin), sección de tránsito (routing reach), unión o confluencia (junction), embalse (reservoir), fuente (source), sumidero (sink) y derivación (diversion).

10.3.1 Resultados de la modelación hidrológica de la Cuenca del Río Parrita

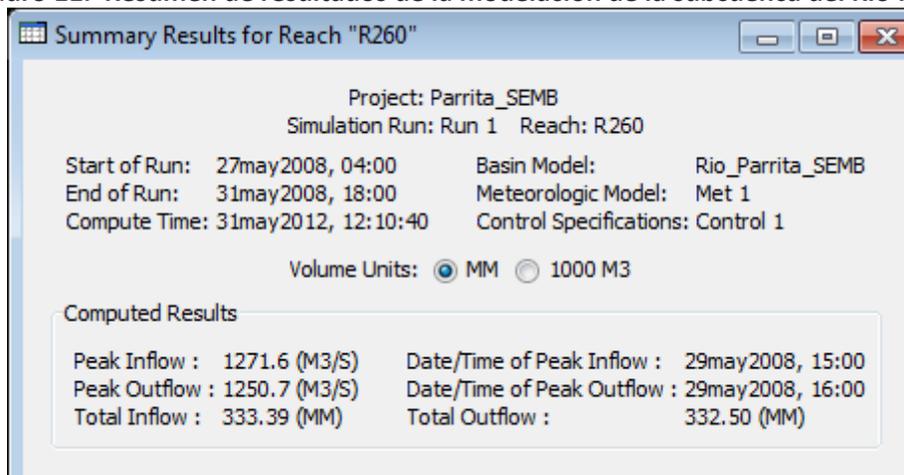
En este acápite se presentan los resultados de la modelación hidrológica de la cuenca del Río Parrita. Estos resultados se presentarán para las tres subcuencas:

- Subcuenca del Río Pirrís
- Subcuenca del Río Grande de Candelaria
- Subcuenca del Río Parrita Bajo

10.3.2 Resultados de la modelación hidrológica de la Subcuenca del Río Pirrís

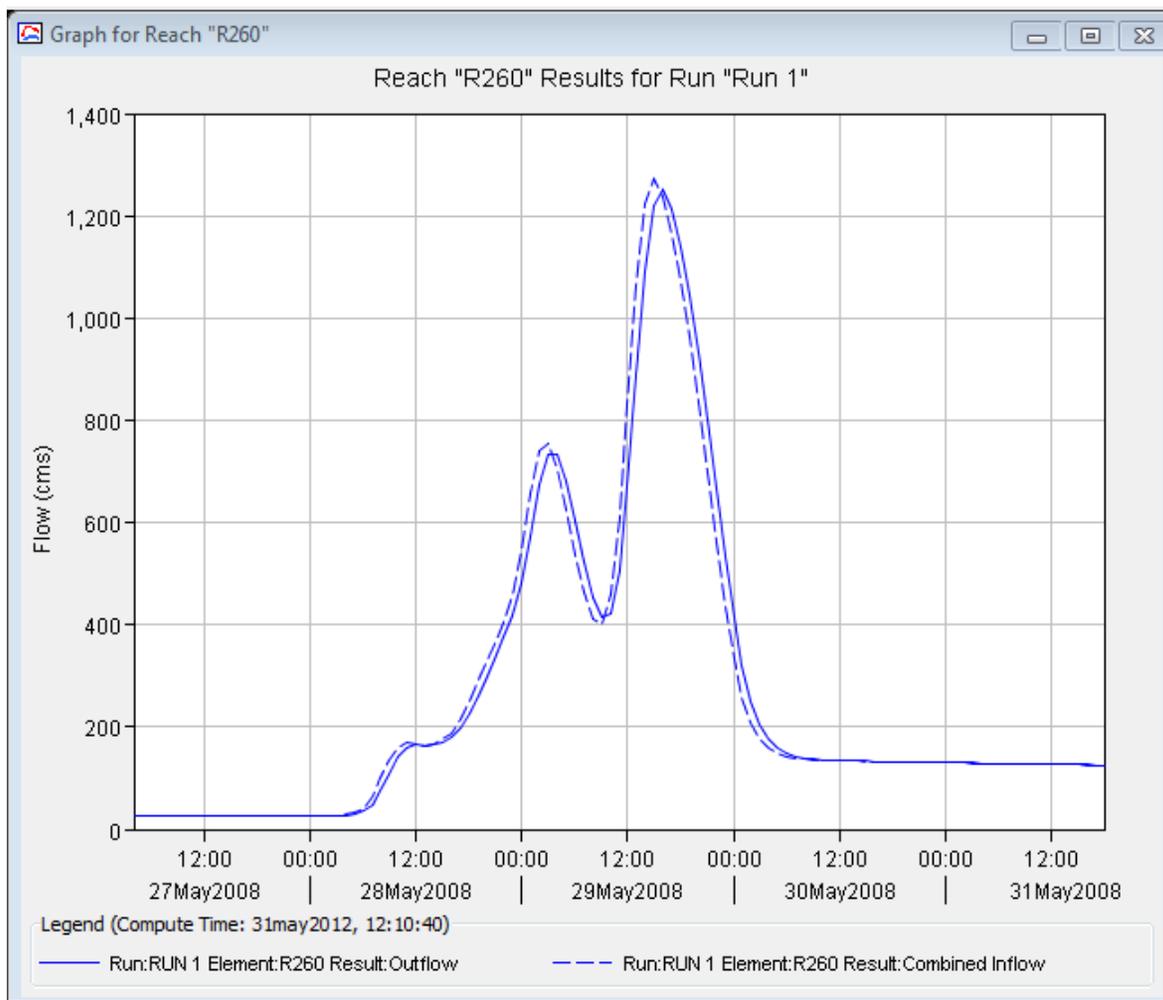
El cuadro 11 muestra los resultados de la simulación en la confluencia de salida del río Pirrís (tomando en cuenta lo aportado por la parte media y alta). Se puede observar que la descarga “pico” de entrada es de 1271.6 m³/s, y la descarga pico de salida es de 1250.7 m³/s debido a pérdidas en el cauce. El pico en esta tormenta ocurrió entre las 3 y 4 pm del 29 de mayo de 2008.

Cuadro 11. Resumen de resultados de la modelación de la subcuenca del Río Pirrís.



En la Figura 48 se muestra el hidrograma de salida en la cuenca, en el cual claramente se ve que debido a que la tormenta tuvo dos picos de intensidad, los mismos también se reflejan en el hidrograma de salida.

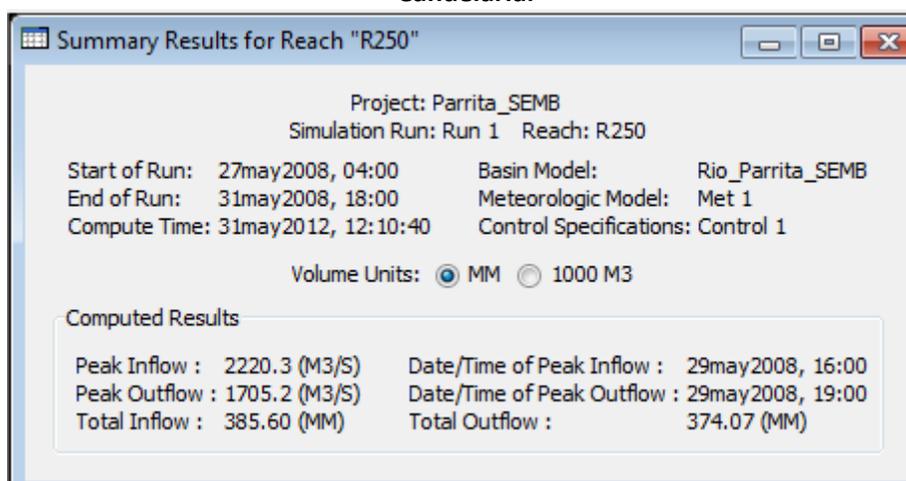
Figura 48. Hidrograma de crecida para la subcuenca del Río Pirrís.



10.3.3 Resultados de la modelación hidrológica de la Subcuenca del Río Grande de Candelaria

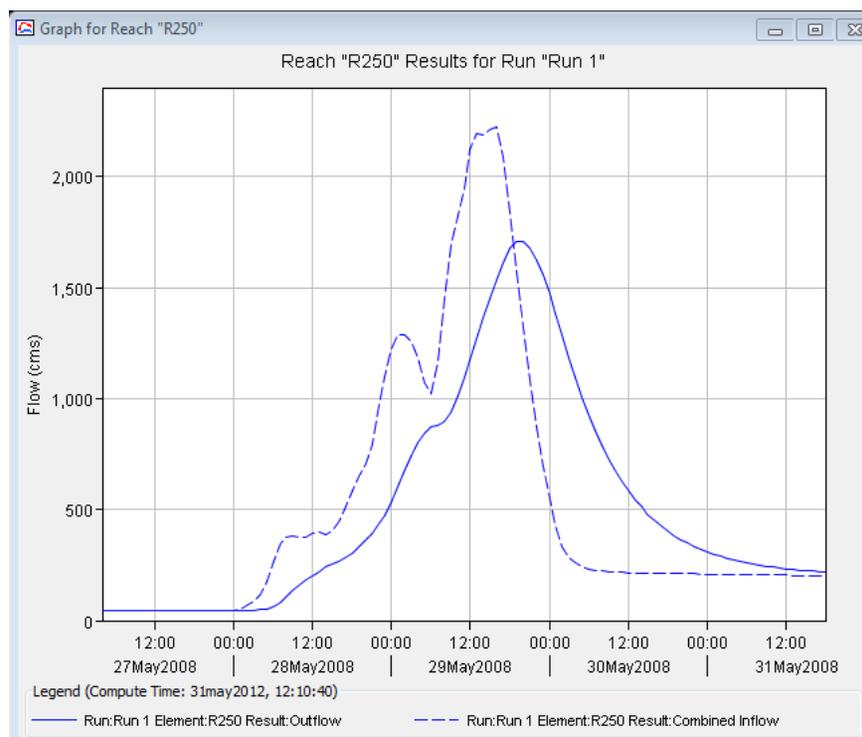
El cuadro 12 muestra los resultados de la simulación en la confluencia de salida del río Grande de Candelaria. Se observa que la descarga “pico” mucho mayor que la descarga pico en la subcuenca del río Pirrís. Aunque la descarga pico de entrada al último tramo modelado en esta subcuenca es del orden de los 2220.3 m³/s, el pico entregado es de 1705 m³/s, lo que indica una alta pérdida de agua por efecto de pérdidas en el cauce. El pico de entrada se da aproximadamente a las 4 pm y el de salida alrededor de las 7 pm.

Cuadro 12. Resumen de resultados de la modelación de la subcuenca del Río Grande de Candelaria.



Por otro lado, en la figura 49 se puede observar que la forma del hidrograma de entrada al tramo, el cual tiene la forma con dos picos, pero el hidrograma de salida es mucho más suavizado debido a efectos del cauce del tramo que es bastante largo.

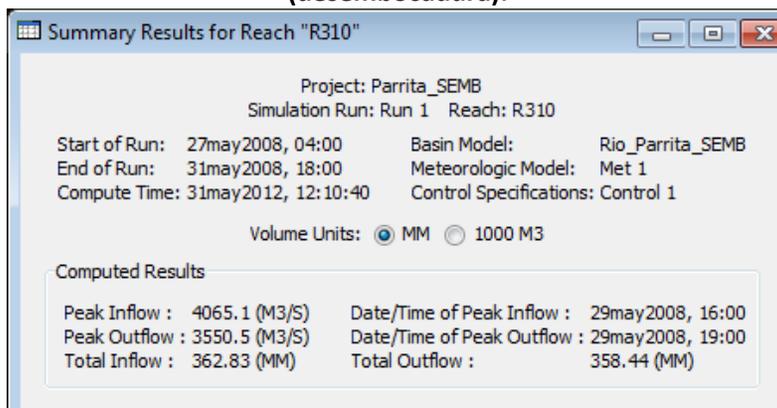
Figura 49. Hidrograma de crecida en la desembocadura del Río Grande de Candelaria



10.3.4 Resultados de la modelación hidrológica de la Subcuenca del Río Parrita (desembocadura)

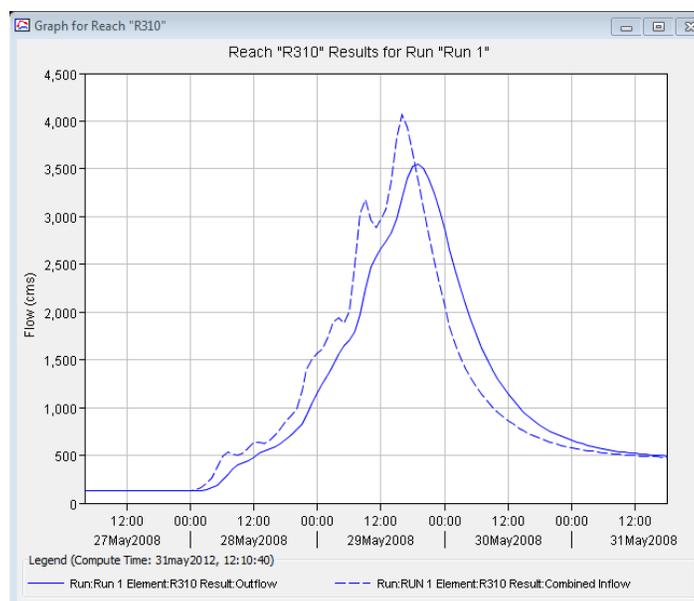
El cuadro 13 muestra los resultados de la simulación en la desembocadura del río Parrita. Se observa que la descarga “pico” de entrada se da alrededor de las 4 de la tarde del 29 de mayo con un pico de 4,065.1 m³/s y un pico de salida de 3,550.5 m³/s alrededor también de las 7 de la noche.

Cuadro 13. Resumen de resultados de la modelación de la subcuenca del Río Parrita (desembocadura).



La Figura 50 se puede observar que la forma del hidrograma de entrada al tramo tiene la forma con dos picos, pero el hidrograma de salida es mucho más suavizado debido también a efectos del cauce del tramo que es bastante largo y posiblemente a las pérdidas que ocasionan las “llenas” en la parte baja de la cuenca.

Figura 50. Hidrograma de salida en la desembocadura del río Parrita.



10.4 Conclusiones y recomendaciones acerca de la modelación hidrológica

La modelación hidrológica con los datos de la tormenta del 27 al 29 de Mayo de 2008 arrojó datos que parecen ser congruentes con los observados en la realidad. Sin embargo, no se tiene un análisis de intensidad-duración-frecuencia de las estaciones pluviométricas utilizadas, que permitan inferir a que tiempo de retorno pertenece esa tormenta.

Es común que las instituciones de gobierno (ICE, IMN) no proporcionen esos datos o no den acceso a personas particulares para que hagan este tipo de análisis, lo que dificulta poder tener este análisis para completar la modelación para tormentas con diferentes tiempos de retorno. por lo general ésta información no está procesada y las instituciones demoran en su procesamiento, dado que no forma parte de su quehacer cotidiano.

Sería útil que a través de la CNE se requiera que estas instituciones proporcionen los datos completos para toda la longitud del registro y que pueda de esta manera generarse tormentas sintéticas que puedan evaluar diferentes hidrogramas y caudales para esos tiempos de retorno (2, 5, 10, 50 o 100 años), y poder determinar en forma real a que periodo de retorno corresponde cada tormenta.

Otra limitación importante es que las estaciones pluviométricas se encuentran en su totalidad en la subcuenca del Río Pirrís, lo que dificulta poder tener una idea de la distribución espacial de las tormentas en las subcuencas de los ríos Grande de Candelaria y la parte que corresponde al Río Parrita a partir de la confluencia del Río Pirrís y el Grande de Candelaria.

La ausencia de estaciones linnimétricas y linmingráficas a la salida de la Cuenca del Río Grande de Candelaria y en o cerca de la desembocadura del Río Parrita también hace prácticamente imposible poder calibrar el modelo con datos reales de la crecida correspondiente a una tormenta dada. Por ejemplo, para la tormenta escogida (y para otras proporcionadas por el ICE), los hidrogramas están ubicados todos en la cuenca del Río Pirrís (se entiende esto por la importancia que tuvo esa cuenca en el desarrollo del PHP). Sería entonces necesario para poder montar un sistema de alerta temprana basado en modelos hidrológicos que se piense en una mejor instrumentación de la cuenca para poder ir validando los resultados del modelo.

Sería importante contar con estaciones de tipo telemétricas tanto en la cuenca del río Candelaria como en el río Parrita a partir de la confluencia de los ríos Candelaria y Pirrís, sin esto, no se puede contar con un sistema de alerta temprana que sea efectivo. Claro está, la estación Tabacales, que estaba en el sitio de Presa del Proyecto Hidroeléctrica Pirrís (PHP), que sirvió para fines de contar con datos para el diseño del PHP se debiera reubicar para tener la respuesta de esta cuenca. En el anexo C se incluyen las características de las estaciones.

11. Modelación hidráulica

En el Anexo C, se incluye la metodología y la forma en que se aplicó la modelación hidráulica con HEC-RAS. En esta parte se incluyen los resultados de esta modelación para la tormenta del 27 al 29 de Mayo del 2008.

Una vez lograda la modelación hidráulica los resultados de la crecida fueron re-exportados a HEC-GeoRAS para poder ser editados y presentados en ArcGIS. A continuación se presentan los mapas de la crecida en el área de estudio.

Únicamente se presentan tres momentos: al inicio del evento, al momento del pico y al momento en que finaliza la simulación. Los mapas están capturados directamente de la pantalla de ArcGIS ya que es la mejor forma de aprovechar al máximo el espacio disponible en el formato Word del informe.

La Figura 51 muestra la profundidad máxima al inicio del evento (4 am del 27 de mayo de 2008). La figura 52 muestra la profundidad máxima de la inundación al pico del evento (alrededor de las 8 pm del 29 de mayo de 2008). La figura 53 muestra la profundidad máxima de la inundación al final del evento (7 am del 31 de Mayo de 2008).

La Figura 54 muestra el riesgo de inundación del área de estudio basado en la profundidad máxima alcanzada por la inundación al momento del pico.

Figura 51. Profundidad de la inundación a las 4 am del 27 de mayo de 2008

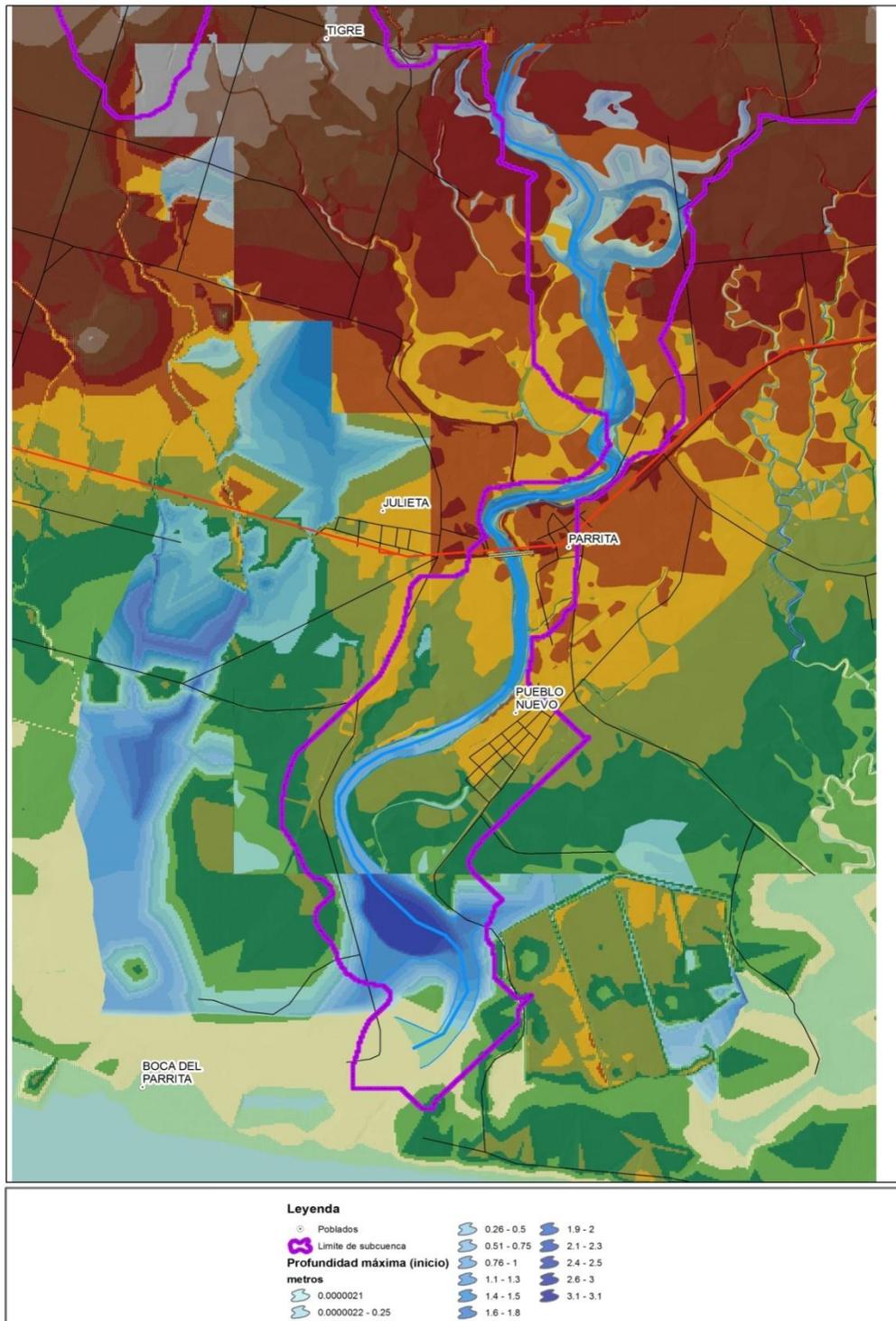


Figura 52. Profundidad máxima de la inundación a las 8 pm del 29 de mayo de 2008

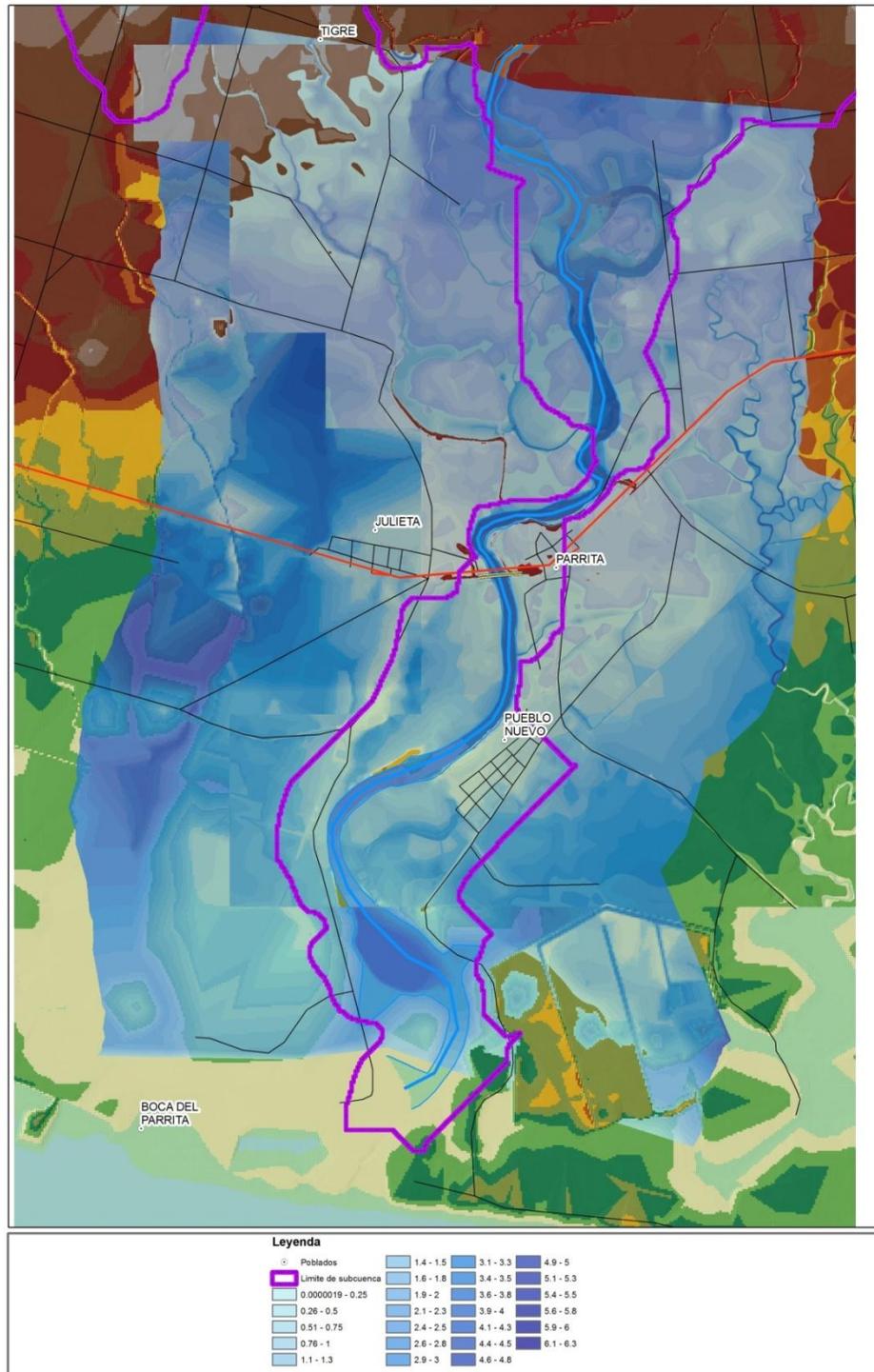


Figura 53. Profundidad máxima de la inundación a las 7 am del 31 de mayo de 2008

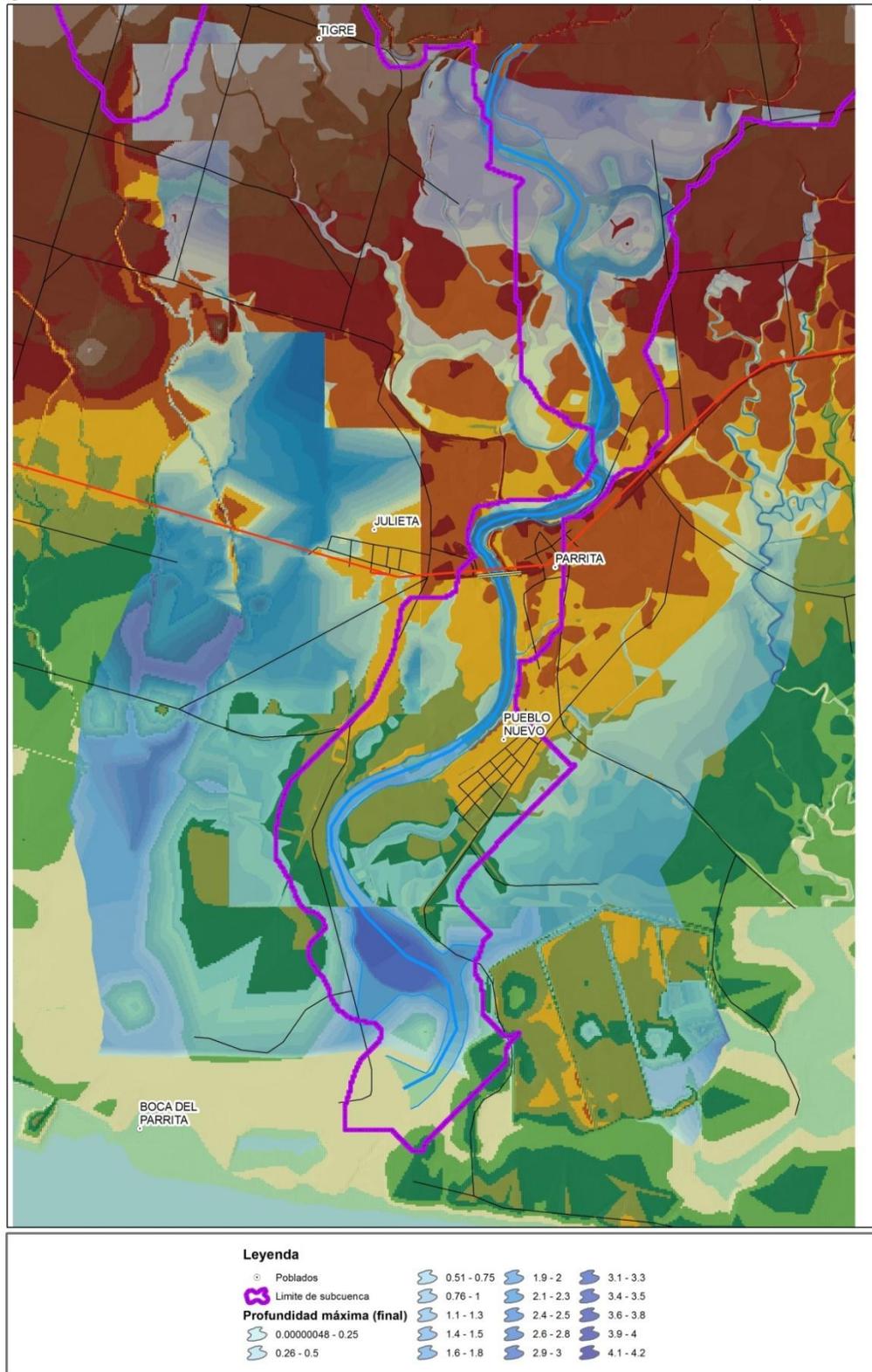
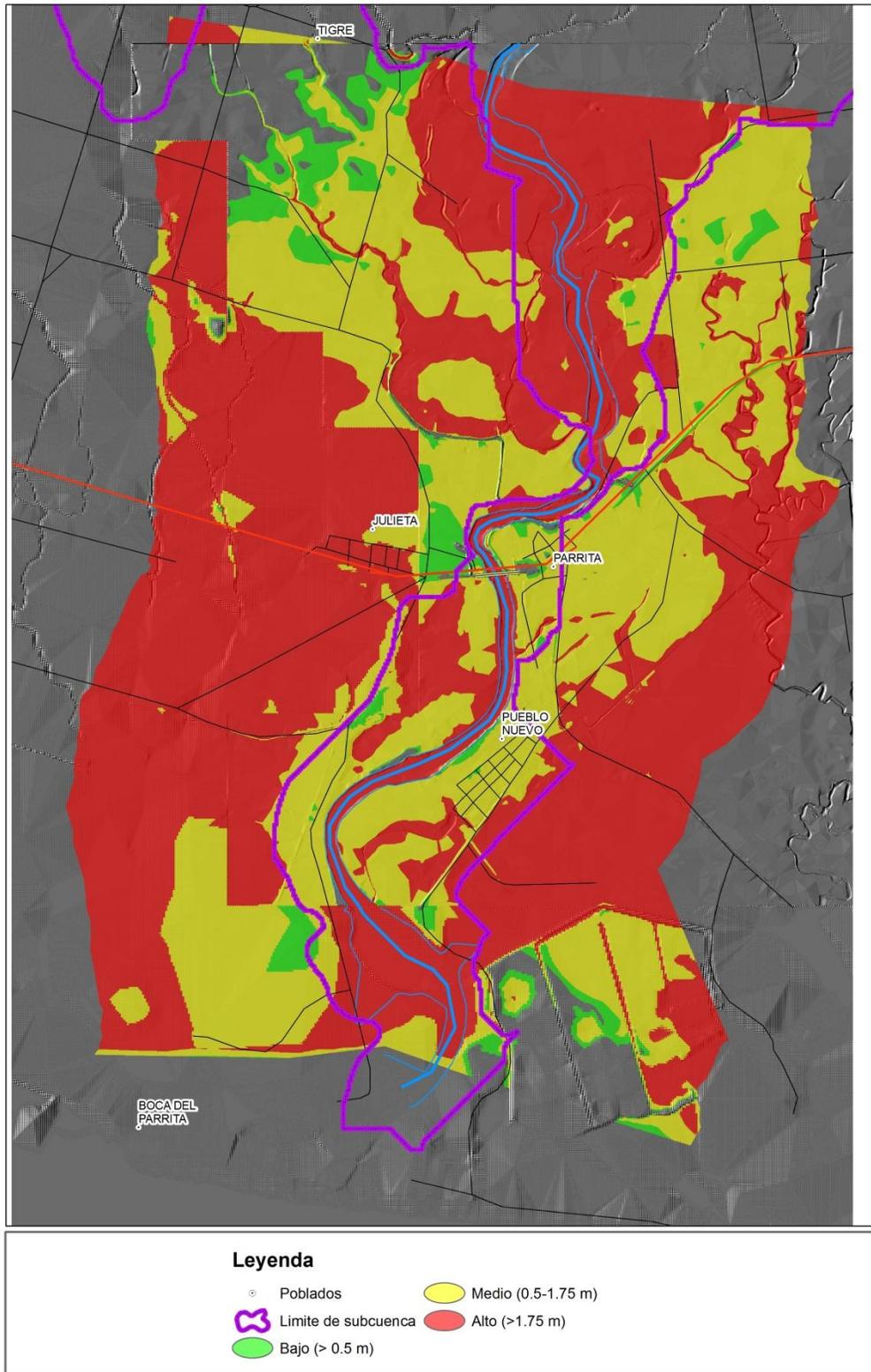


Figura 54. Riesgo de inundación basado en la profundidad y área cubierta por la inundación al momento del pico.



11.1 Análisis final de la modelación hidráulica

Esta modelación se considera más precisa que las logradas por FLOODAREA y los modelos de CAPRA, sin embargo, igualmente se basa en supuestos y simplificaciones, dado que no se cuenta con información precisa ni mediciones en la cuenca del río Candelaria y las del Pirrís son de difícil acceso.

El área siempre se va a inundar cuando ocurran eventos importantes, sea con periodos de recurrencia de 20, 50 y 100 años, ante eso solo se tienen dos caminos:

- a. Evitar que el área se siga poblando y tratar de incentivar el traslado de la población a zonas más seguras.
- b. Convivir con la inundación, para lo cual se requiere de un sistema de alerta temprana efectivo y que requiere de mediciones en tiempo real. En el anexo D se ha incluido una propuesta que implica la colocación de estaciones telemétricas en las cuencas, y que deben funcionar en tiempo real.

En la Figura 55 se muestra el mapa con la inundación máxima y en la Figura 56 el mapa con las áreas de inundación por niveles.

Figura 55. Profundidades máximas alcanzadas para el evento del 30 mayo 2008

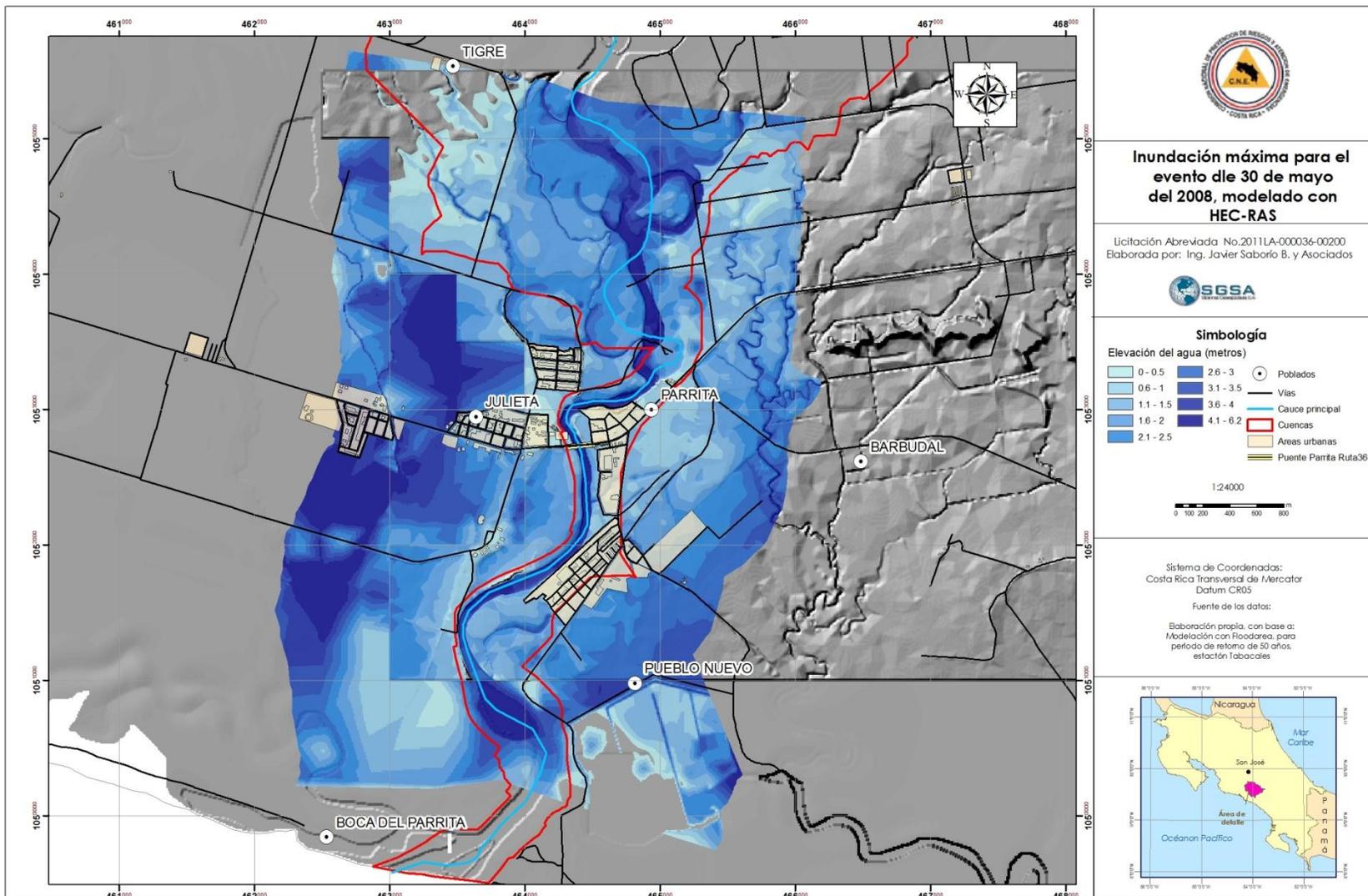


Figura 56. Niveles de inundación alcanzados para el evento del 31 mayo 2008

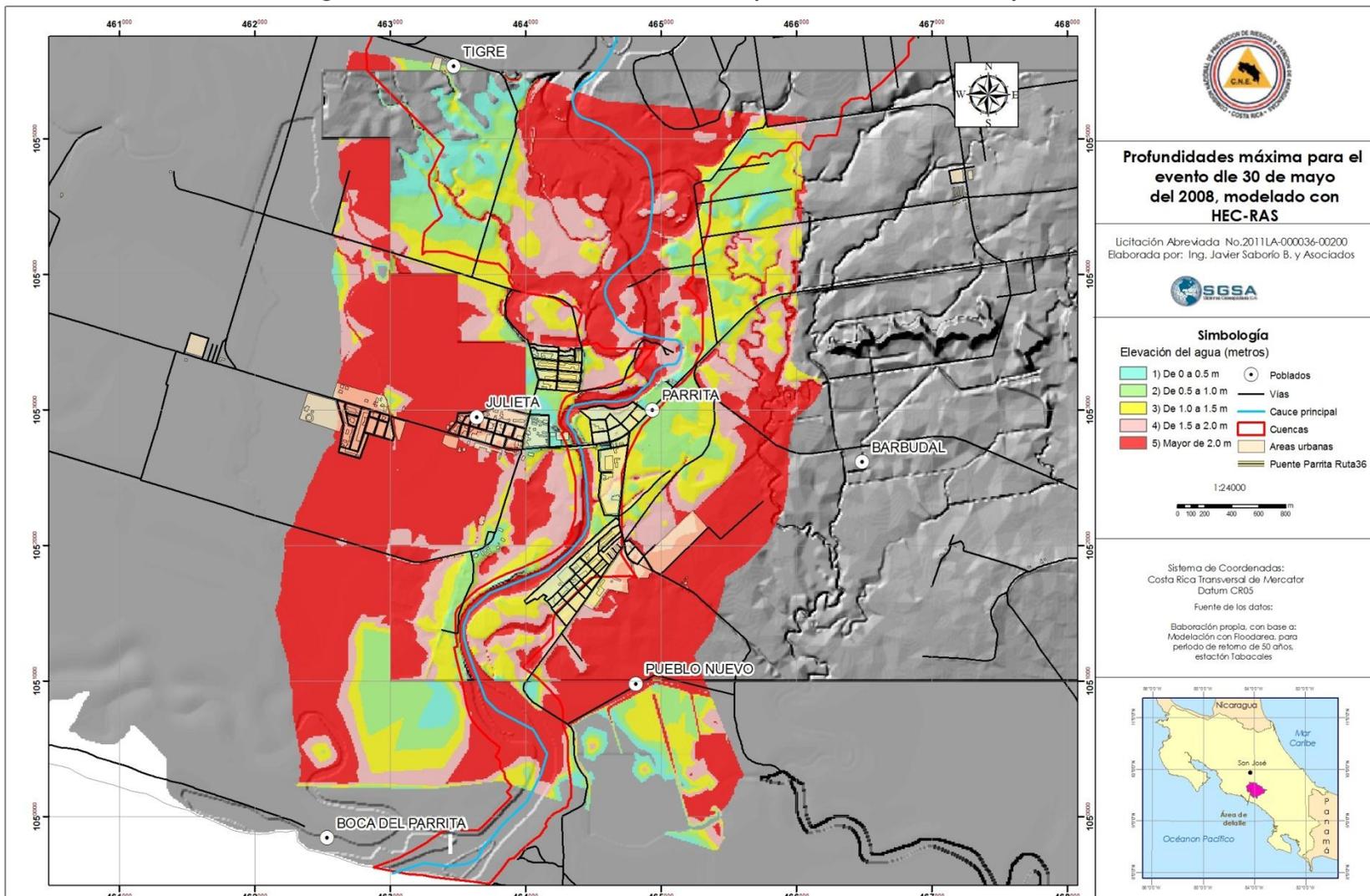


Figura 57. Inundaciones máximas alcanzadas para un periodo de retorno de 100 años - tomando en cuenta influencia de ambos ríos

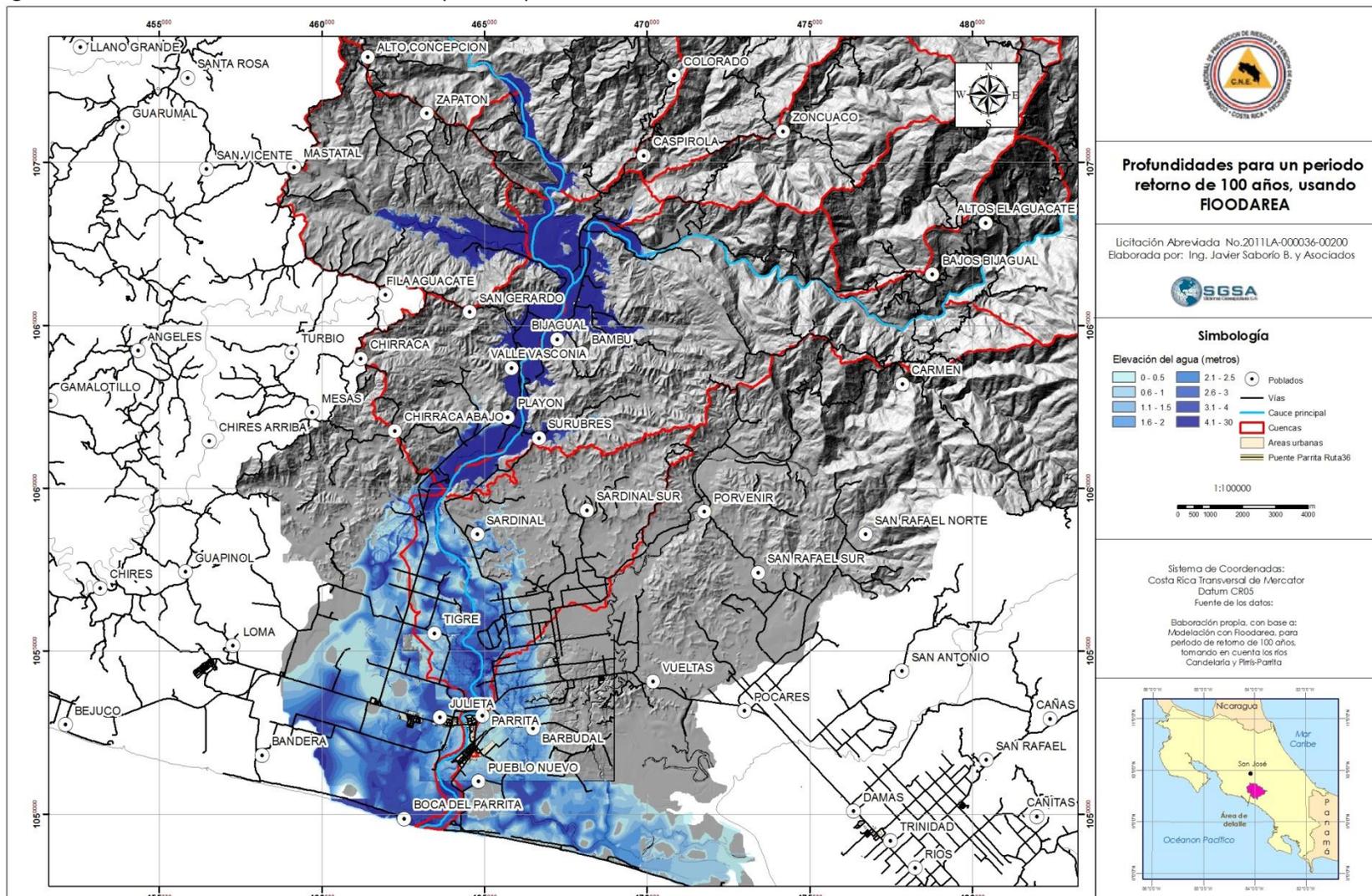
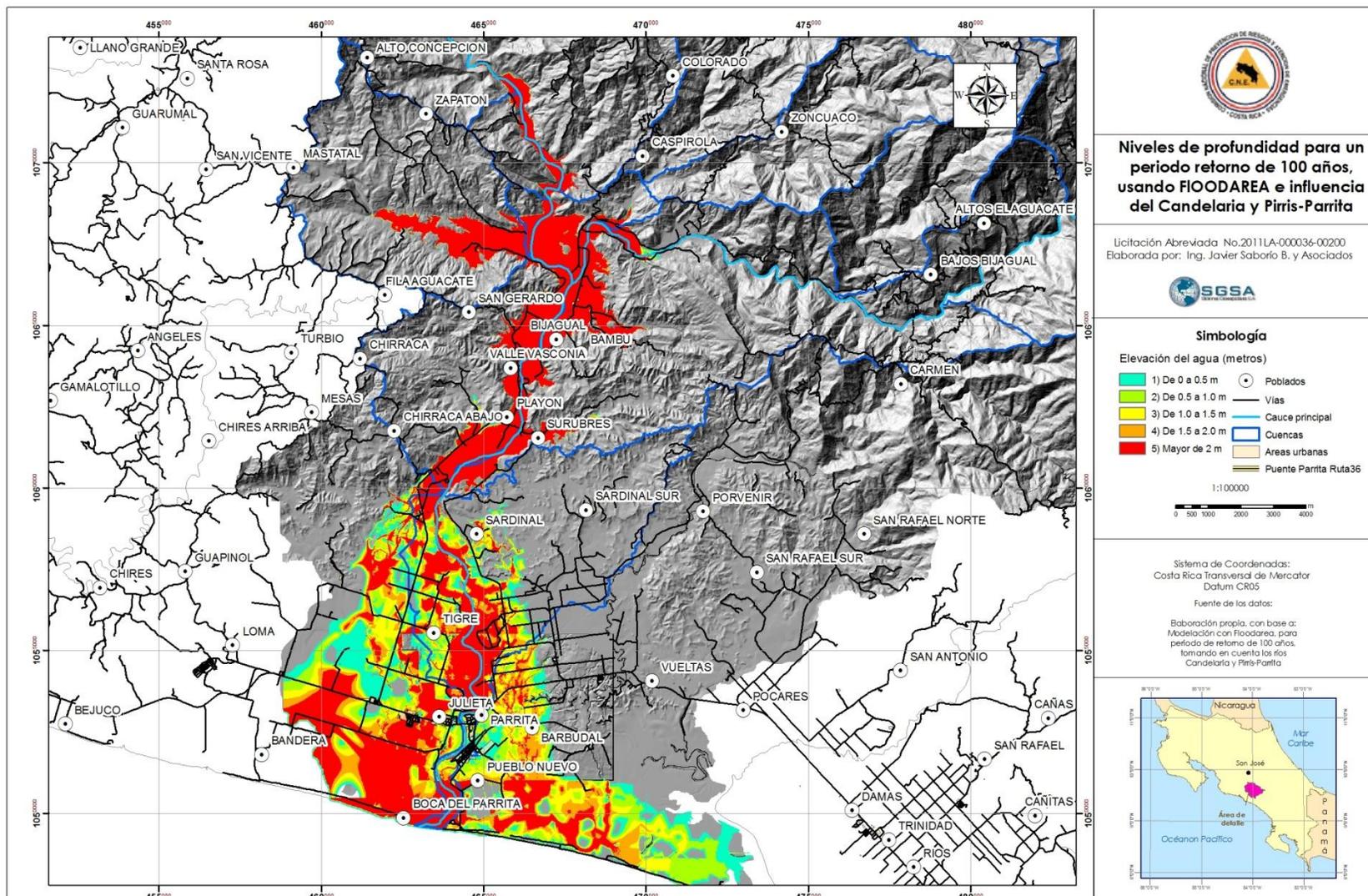


Figura 58. Niveles de inundación alcanzados para un periodo de retorno de 100 años - tomando en cuenta influencia de ambos ríos



11.2 Conclusiones de la modelación hidráulica

- El modelo de elevación digital de 2 m es lo suficientemente fino para poder trazar el cauce del río y sus taludes. No así el de 10 metros que ya obvia algunas estructuras construidas en la zona y que muestran cambios relativamente abruptos en las profundidades de inundación.
- La planicie del río Parrita y de sus cuencas vecinas unida a la alteración que ha sufrido la topografía por la urbanización y la nivelación y construcción de canales de desagüe en las áreas agrícolas (principalmente palma africana) ha causado que la delimitación de las cuencas sea muy sutil y que cualquier crecida del río Parrita se extienda a las cuencas vecinas y viceversa.
- La crecida a pesar de su magnitud no sobrepasó el puente sobre la ruta 34. Sin embargo, la crecida máxima estuvo a más o menos un metro de la parte inferior de la estructura de rodadura. La fuerza y velocidad del agua podría dañar seriamente las bases del puente y falsearlo y en un momento dado ceder no por el hecho que el agua pase por encima de la estructura sino por fallamiento de sus bases.
- El mapa de profundidades de inundación muestra que el área de poblado de La Julieta muestra la mayor vulnerabilidad con alturas que sobrepasan 1.75 m. Por otro lado Parrita y Pueblo Nuevo presentan inundaciones que van desde los 0.5 m hasta los 1.75 lo que los hace medianamente vulnerables. De todos modos se puede decir que toda la planicie está sujeta en cierto grado a inundaciones.
- Hay que hacer notar que el evento del 27 al 31 de Mayo de 2008 no fue un evento aislado. En días anteriores ya había llovido bastante en el área por lo que estos caudales se pueden haber visto afectados también por la saturación del suelo y de los caudales altos que ya los ríos llevaban al inicio del evento.
- Algunas soluciones al problema de inundaciones podría ser aumentar la capacidad hidráulica de los cauces (dragado) o bien la construcción de diques en las áreas donde el río pueda penetrar a los poblados, pero debemos recordar que soluciones de este tipo casi siempre trasladan el problema a otras áreas que antes eran menos afectadas.

11.3 Medidas para reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia

Medidas estructurales:

Se identifican diferentes medidas estructurales

- En el caso de insuficiencia de estructuras hidráulicas, los puentes se deben cambiar de tamaño a fin de aumentar su capacidad hidráulica para obtener un valor satisfactorio. Aunque esto requiere de un afinamiento contra la mejora de la información hidro-climática.
- No se recomienda el uso de las alcantarillas en lugar de puentes, debido a que presenta una obstrucción severa del puente. Aquí se deben revisar los diseños que se emplean pues las alcantarillas se vuelven en obstrucciones al flujo. De nuevo la información que se tiene es de base para posteriores análisis.

Recomendaciones basadas en la profundidad de la inundación.

- En el caso de las inundaciones menos de 0,5 metros de profundidad, se puede considerar:
 - Elevar el nivel de la construcción
 - El uso de sacos de arena para proteger los edificios.
 - El uso de tuberías y sistemas eléctricos a más de 0,75 m.
- En el caso de la inundación de 0,5 a 1 metro:
 - Elevar el nivel de la construcción
 - Uso de puertas resistentes al empuje del agua
 - Uso de ventanas con una altura mínima de 1,3 metros.
 - El uso de tuberías y sistemas eléctricos a más de 1,25 m.
- En el caso de la inundación de 1 a 1,5 metros:
 - El uso de casas de dos pisos. La función de la planta baja debe ser secundario.
 - Uso de pilotes para las casas..
 - El uso de materiales de alta resistencia.
- En el caso de la inundación de 1,5 a 2 metros.
 - Reubicación de viviendas.
 - El uso de las casas sobre pilotes.
 - Introducción de edificios de varios pisos, con una planta baja secundaria.
 - Construcción de refugios en alto
 - El uso de materiales de alta resistencia
- En el caso de las inundaciones más de 2 metros.
 - Declaración de la zona inhabitable.
 - Declaración de zona de protección.
 - Demolición de edificios en alta amenaza

Medidas no estructurales:

- Modelado de quebradas y ríos para delinear y clasificar las zonas de inundación.
- Introducción de un programa de uso de la tierra, lo que desalienta la construcción en zonas inundables.
- Programa de gestión de residuos sólidos.
- La implementación de un código de construcción de alta resistencia y seguridad a las inundaciones.
- Introducción de sistemas de alerta.
- Captar el agua de lluvia en las casas, para satisfacer diferentes necesidades humanas, y reducir el flujo.
- Los programas formales e informales de educación ambiental, especialmente para la gestión de los residuos sólidos.
- Introducción de un sistema seguro de que desalienta el desarrollo en áreas propensas a inundaciones.

12. Caracterización de la vulnerabilidad y medidas de intervención. Establecer una línea base que integre los siguientes aspectos

a) Uso actual de la tierra y capacidad de uso, conflictos del uso.

Se aplicará la metodología según el Decreto N° 23214-MAG-MIRENEM, para establecer las áreas de conflictos de uso, esto es el uso correcto, concordante o recomendado, la subutilización y la sobreutilización al hacer una correlación espacial o por superposición del Uso Actual de la Tierra y la Capacidad de Uso de las Tierras. Esto permite elaborar propuestas de ordenación del recurso tierra de modo más claro y apropiado, que en conjunto con los mapas de amenazas constituyen un punto de partida para el ordenamiento territorial y los Planes Reguladores. Se utilizará una matriz para determinar la condición del uso del tipo.

Matriz para determinar la condición de uso de la tierra

CATEGORÍAS DE USO DE LA TIERRA	A	PB	SPRC	FR	BP
	(I, II, III, IV)	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)
Cultivos Anuales (Cl) (1)	U(2)	U(2)	Ot (3)	O(4)	Ot (4)
Cultivos Perennes (Csl) (2)	U(2)	U(2)	U(2)	O(3)	Ot (4)
Pastos (P) (3)	U(2)	W(1)	Ut(2)	O(3)	Ot(4)
Bosque natural (Bn) y secundario (4)	W(1)*	W(1)	W(1)*	W(1)	W (1)
Charral (Rpm) y Tacotal (5)	U(2)	W(1)	U(2)	W(1)	W(1)
Tierras misceláneas (terrenos yermos) (6)	U(2)	W(1)	U(2)	W(1)	W(1)
Agua y anegados (7)	W(1)	W(1)	W(1)	W(1)	W(1)
Urbano (8)	W(1)	W(1)	W(1)	O(3)	Ot(4)

Fuente: Elaboración propia por SGSA, 2010

Las claves de esta matriz son:

Símbolo **Criterios de definición**

Utilización dentro de su capacidad, con y sin tratamientos de

W: conservación (1)

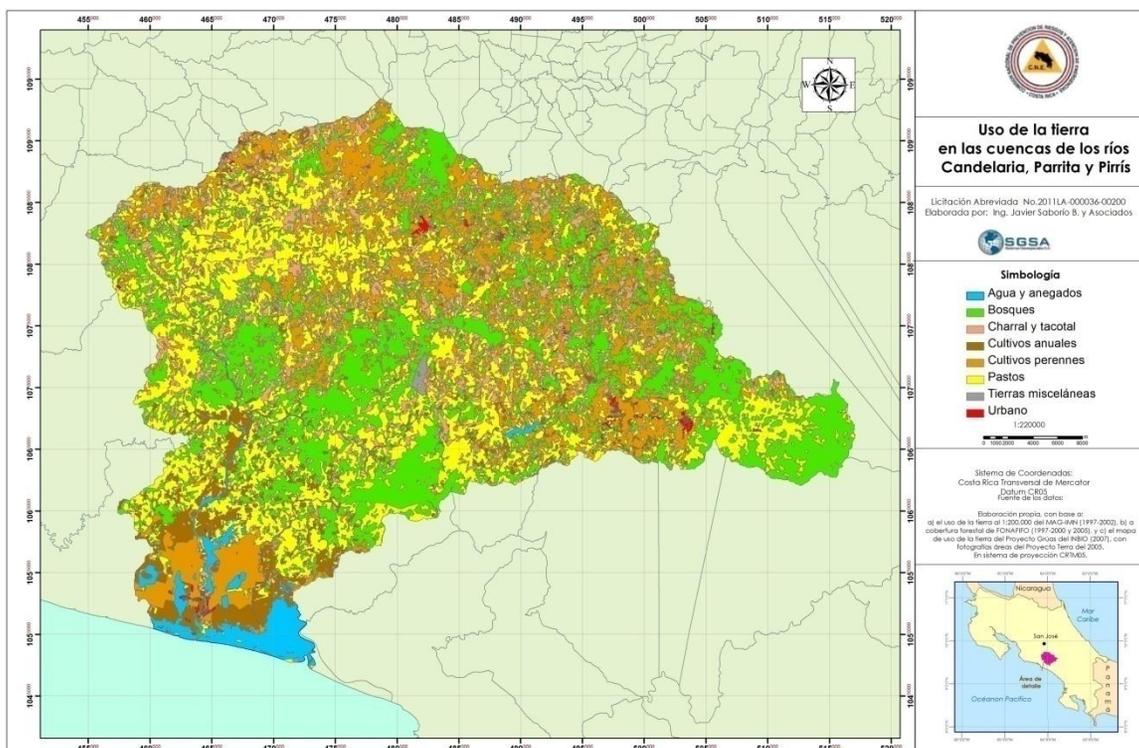
U: Sub-utilizados (2)

O: Sobreexplotado (3)

Ot: Gravemente sobreexplotado (4)

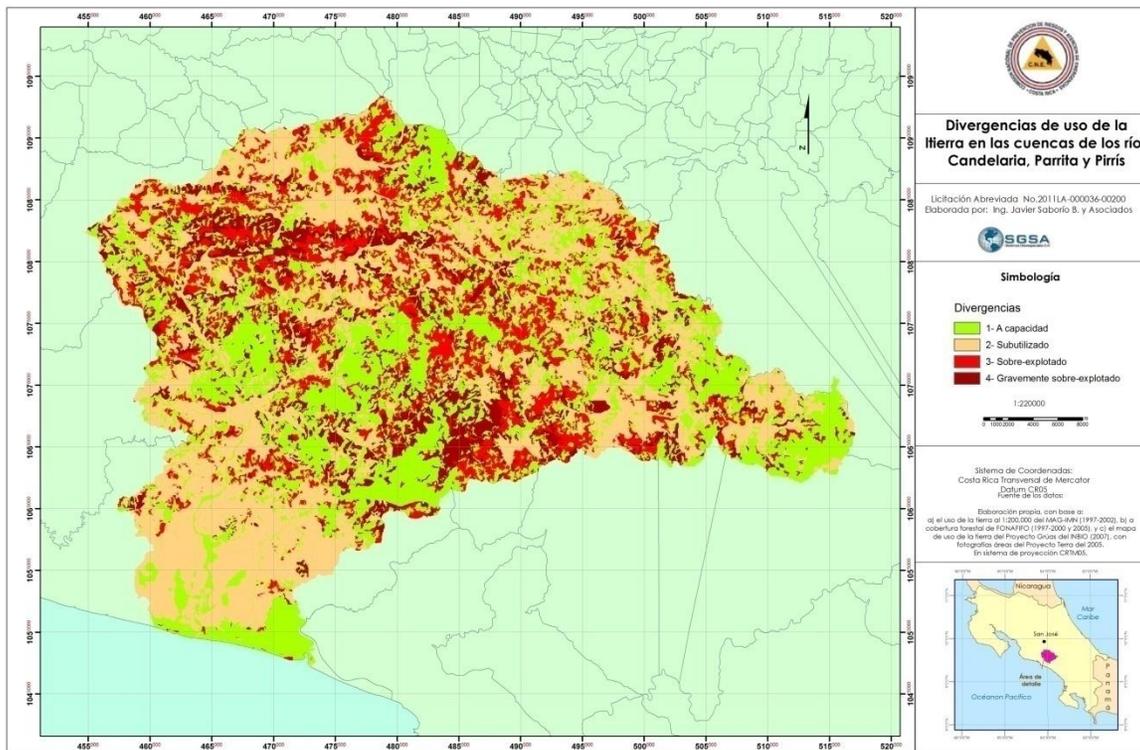
En la Figura 59 se muestra el mapa simplificado del uso de la tierra o de condición de uso para las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita.

Figura 59. Uso de la tierra o de condición de uso para las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís



Al retomar la Figura 14 donde se incluyó el mapa de capacidad de uso de la tierra, se puede realizar la combinación de los mapas y obtener así el mapa de divergencias de la tierra, que se presenta en la Figura 59. En el Cuadro 17 se incluyen las áreas por tipo de divergencias para el área de interés.

Figura 60. Divergencia de uso de la tierra para las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís

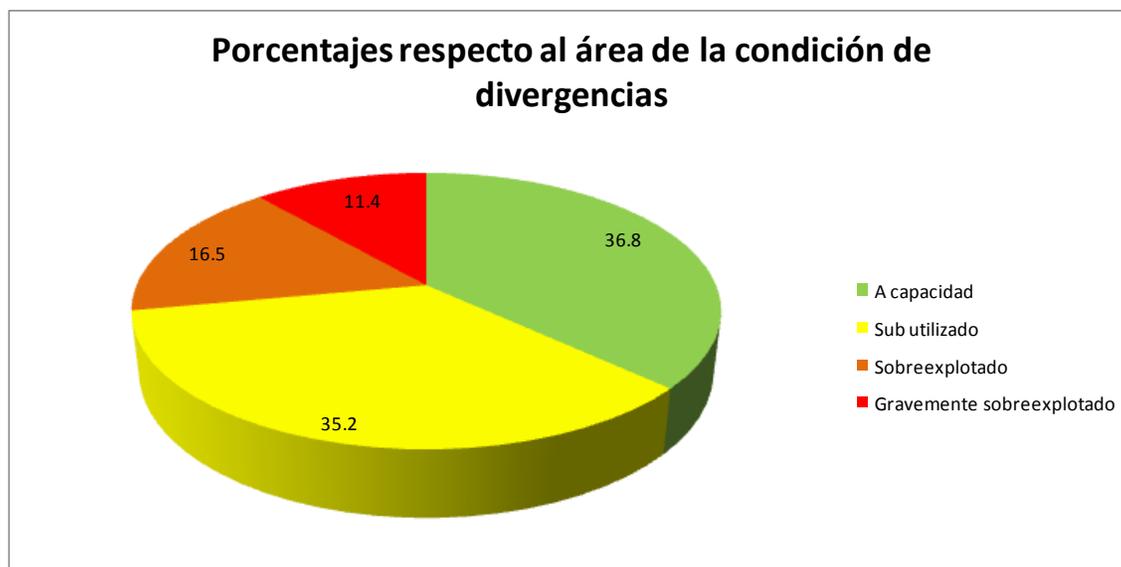


Cuadro 14. Resumen de las áreas divergentes en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís

Código	Divergencia	Área (km ²)	Porcentaje
W	A capacidad	540.8	57.5
U	Sub utilizado	517.1	21.4
O	Sobreexplotado	242.1	9.6
Ot	Gravemente sobreexplotado	167.8	11.6
Total		1467.8	100.0

En la Figura 61 se incluye la relación en porcentajes de las divergencias en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.

Figura 61. Relación de áreas divergentes respecto al área de las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís



Se tiene un 11.6% de las áreas en condición gravemente sobreexplotada, esto es 167.8 Km², y un 9.6% o 242.1 Km² en condición explotada, para un total de 27.9% respecto al área de la región; estos terrenos que debieran ser de vocación boscosa, están siendo utilizados para cultivos y otros uso no aptos. El 57.5% del área esta en condición apta, y un 21.4% subutilizado. Se debiera trata de invertir los uso de la tierra, esto es lo sobreexplotado pasarlo a un estado de capacidad y lo subutilizado también. Esto abre el panorama para realizar un Manejo de Cuencas Hidrográficas y acciones específicas de uso y gestión de la tierra. Aunque se debe resaltar que la cobertura cultivos como café, bien manejados, favorecen la protección del terreno.

13. Composición etárea de la población y distribución (datos estadísticos y distribución geográfica de la población)

Por *Vulnerabilidad* vamos a denotar la incapacidad de una comunidad para "absorber", mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su "inflexibilidad" o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye, por las razones expuestas, un riesgo. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva del riesgo sobre la comunidad. (Wilches-Chaux, G. 1993).

Es necesario anotar que la vulnerabilidad en sí misma constituye un sistema dinámico, es decir, que surge como consecuencia de la interacción de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en una comunidad particular. El resultado de esa interacción es el "bloqueo" o incapacidad de la comunidad para responder adecuadamente ante la presencia de una amenaza determinada, con el consecuente "desastre".

Conforme se mejora la representación espacial de la vulnerabilidad se puede aproximarse al análisis de la exposición o bien de la vulnerabilidad, si se cuenta con la información a detalle de sus diferentes componentes: física, económica, política, cultural, educativa, institucional, natural, ecológica, técnica, ideológica y social.

Con objeto de calificar a la región desde el punto de vista económico productivo se utiliza como una aproximación inicial el Índice de Desarrollo Social, definido por MIDEPLAN, 2007. De esta forma se revisará la caracterización socioeconómica de las cuencas de los ríos región de Los segmentos, a nivel a nivel de cantón y distrito ajustados al Límite Oficial - 2009 por el IGN.

Se parte de una definición de desarrollo social como el proceso mediante el cual se procura alcanzar una sociedad más igualitaria, participativa e inclusiva, que garantice una reducción de la brecha que existe en los niveles de bienestar que presentan los diversos grupos sociales y áreas geográficas, para lograr una integración de toda la población a la vida económica, social, política y cultural del país, en un marco de respeto y promoción de los derechos humanos (Mideplan, 2007) Esta acepción parte de una concepción donde el papel del Estado es fundamental para garantizar mecanismos de redistribución del ingreso, que permitan canalizar los recursos disponibles hacia los sectores, áreas y grupos sociales que tienen un acceso más limitado a los frutos del desarrollo.

El Índice de Desarrollo Social (IDS) comprende las siguientes dimensiones:

- **Económica:** Participar en la actividad económica y gozar de condiciones adecuadas de inserción laboral que permitan un ingreso suficiente para lograr un nivel de vida digno.
- **Participación social:** Reflejado en el desarrollo de procesos cívicos nacionales y locales, para que se desarrolle en la población el sentido de pertenencia y de cohesión social y con ello el sentimiento de participación activa, responsable que implica el deber y el derecho de los ciudadanos a participar en el mismo.
- **Salud:** Orientado a gozar de una vida sana y saludable, lo que implica contar y tener acceso a redes formales de servicios de salud y seguridad social así como a una nutrición apropiada, que garanticen una adecuada calidad de vida de la población.
- **Educativa:** Relacionado con la disponibilidad y el adecuado acceso de la población a los servicios de educación y capacitación que favorezcan un adecuado desarrollo del capital humano.

En la Figura 62 se incluye la composición del IDS, 2007 de MIDEPLAN, donde se observa las variables que comprendieron el índice; estas variables fueron estandarizadas para hacerlas comparables en el rango de 0 a 100.

Figura 62. Composición del Índice de Desarrollo Social, 2007



Fuente: Índice de Desarrollo Social, definido por MIDEPLAN, 2007.

Para efectos de la construcción del Índice de Desarrollo Social, se tiene 38 variables que conforman las dimensiones: a) económica, b) participación social, c) salud, d) educativa.

Dimensión Económica

Se ha conceptualizado la dimensión económica, los ingresos de las personas se aproximan mediante dos indicadores: el consumo de energía eléctrica residencial y el porcentaje de hogares con acceso a Internet. Se presume que estas variables reflejan dos aspectos de esta dimensión: la capacidad de adquirir bienes y servicios por una parte y el incremento en las capacidades (capital humano) y oportunidades que brinda el mayor acceso a las tecnologías de la información.

Dimensión de Participación Social

Para elaborar este Índice de Participación Electoral se trabajó con los datos del Tribunal Supremo de Elecciones para los procesos electorales de los años 2002 y 2006, referidos a:

1. Porcentaje de abstencionismo electoral en elecciones presidenciales.
2. Porcentaje de abstencionismo en las elecciones de alcalde.

Dimensión de la salud.

Esta dimensión está integrada por cuatro índices principales:

1. **Bajo peso en niños y niñas.** Este índice fue construido a partir de los indicadores de bajo peso al nacer y bajo peso de los niños(as) de primer grado de escuela y su

inclusión parte de que el bajo peso al nacer tiene efectos sobre el rendimiento humano, la salud y la supervivencia, lo cual requiere acciones en la prestación y atención temprana de tal situación.

2. **Relación entre mortalidad de niños(as) menores de 5 años con la mortalidad general.** Constituye el porcentaje entre las defunciones de los niños(as) menores de 5 años con los decesos generales. Este indicador mide la vulnerabilidad de los niños a las enfermedades asociadas a la mortalidad en la niñez, a las condiciones familiares y comunales deficientes, así como a las respuestas estatales insuficientes a sus necesidades.
3. **Nacimientos de niños(as) de madre menor de 19 años soltera.** Este indicador hace referencia a dos condiciones de las madres que repercuten en el desarrollo de ellas y de sus hijos: adolescentes menores de 19 años y solteras. Este indicador procura medir la condición del núcleo familiar y la vulnerabilidad socioeconómica de los y las niñas, ya que se considera que tienen un mayor riesgo de no integración a la sociedad satisfactoriamente, debido a su condición de adolescente y a la carencia de pareja estable, lo que atenta contra un adecuado crecimiento afectivo y emocional.
4. **Cobertura residencial de agua potable.** El acceso a agua potable es uno de los aspectos más importantes en la calidad de vida de las personas y tiene una relación directa con ambientes saludables, por ese motivo se consideró necesario identificar indicadores que reflejen dicho aspecto, pero existen serias limitaciones de información para disponer de un indicador a nivel distrital sobre la calidad del agua que consume la población. Para subsanar esa situación, se utilizó el Censo de Vivienda del año 2000 y se construyó un indicador que pondera de manera diferenciada al año 2006, las fuentes de acceso a agua que tienen los distritos del país, de manera que tener cobertura de agua suministrada por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) se le asigna un valor de 1, al acceso de agua mediante acueductos rurales y municipales un 0,65 y otras fuentes de agua un 0,5. Los ponderadores se obtuvieron a partir del informe sobre el Estado de Cobertura y Calidad de agua para consumo humano, elaborado por el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, en el año 2006. Según datos del INEC el 97% de la población tiene agua por medio de cañería. El 50% es abastecido por AyA y un 40% por acueductos rurales o municipales. Se tienen dos tipos de servicios: el primer grupo cubre en promedio alrededor del 60%-65% del total de los distritos, que son cubiertos con los servicios municipales y las ASADAS, en tanto que el segundo corresponde al rango entre 35%-40% restante cuyo proveedor (AyA) se supone que brinda agua de mejor calidad.

Dimensión Educativa

Para efectos del IDS la dimensión educativa está conformada por 4 índices principales:

1. **Acceso a programas educativos especiales.** El índice se refiere al acceso que tienen los y las estudiantes de las escuelas públicas a programas educativos especiales de enseñanza de un segundo idioma, así como de informática educativa. Se construyó a partir del porcentaje de cobertura del Programa de Enseñanza de Segunda Lengua (inglés, francés o italiano) y el porcentaje de cobertura el Programa de Informática Educativa.
2. **Infraestructura escolar y servicios.** El índice de infraestructura y servicios educativos se construyó a partir del: porcentaje de centros educativos públicos de I y II ciclos con cobertura de servicios de electricidad y agua por cañería y el porcentaje de aulas escolares en regular y mal estado.
3. **Reprobación escolar.** La reprobación hace referencia al insuficiente rendimiento cuantitativo y/o cualitativo de un alumno para cubrir los parámetros mínimos establecidos por una institución educativa. En términos operativos, se define como aquellos alumnos (as) en la educación primaria que al término del año escolar, no han cumplido los requisitos establecidos para pasar al grado siguiente de estudio, y por lo tanto deben repetir ese grado en el próximo período escolar, según grado que cursaban.
4. **Centros educativos unidocentes.** Los centros educativos tipo unidocente, es una modalidad de escuelas creadas para la atención de la población de primero y segundo ciclo que reside en áreas rurales dispersas, en las cuales un docente se encarga de todos los grados de enseñanza educativa.

En el Cuadro 15 se incluye el IDS y sus dimensiones por cantón al 2007 y en la Figura 52, el mapa de IDS a nivel distrital.

Cuadro 15. Índice de Desarrollo Social a nivel distrital en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís

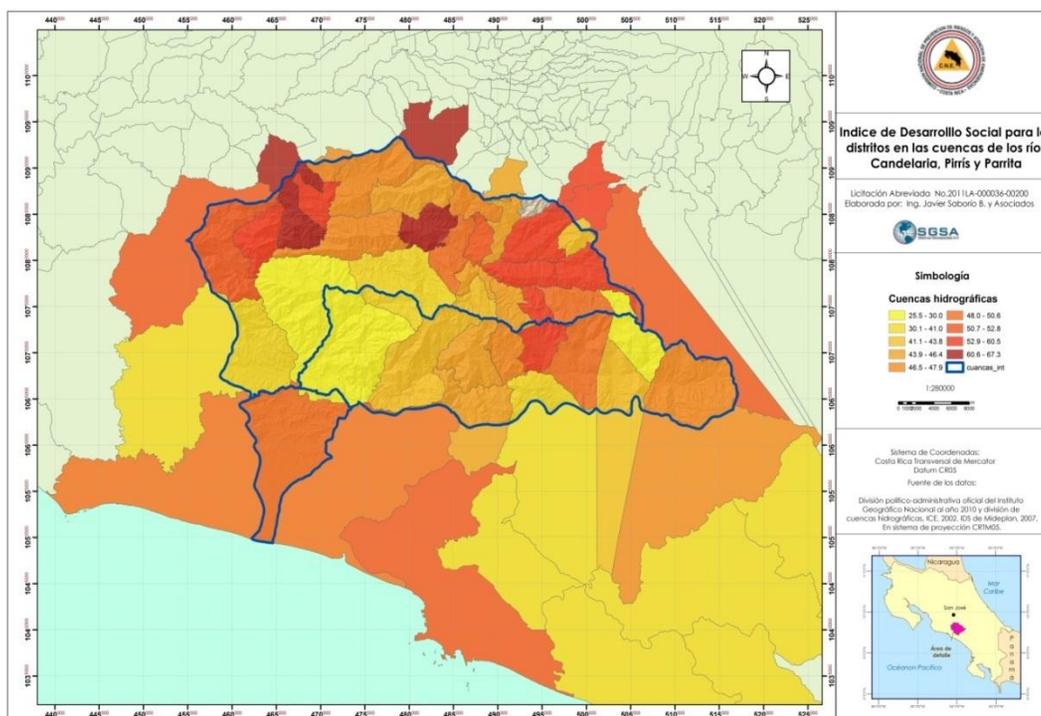
Provincia	Nombre de cantón	Código de distrito	Nombre de distrito	IDS	DIMENSIÓN ECONOMICA	DIMENSIÓN PARTICIPATIVA	DIMENSION SALUD	DIMENSION EDUCATIVA
SAN JOSÉ	ACOSTA	11203	PALMICHAL	46.2	11.2	35.0	47.3	61.1
SAN JOSÉ	ACOSTA	11201	SAN IGNACI	63.1	14.8	51.4	65.1	78.5
SAN JOSÉ	ACOSTA	11204	CANGREJAL	38.5	4.8	42.6	49.8	31.9
SAN JOSÉ	ACOSTA	11205	SABANILLAS	25.5	5.3	35.1	29.8	16.4
SAN JOSÉ	ACOSTA	11202	GUAITIL	46.9	8.4	29.4	74.3	44.7
SAN JOSÉ	AGUIRRE	60603	NARANJITO	38.9	17.2	28.1	43.9	41.3
SAN JOSÉ	AGUIRRE	60602	SAVEGRE	39.9	19.2	36.2	39.5	38.8
SAN JOSÉ	AGUIRRE	60601	QUEPOS	52.8	43.2	22.1	61.2	49.8
SAN JOSÉ	ASERRI	10605	LEGUA	41.5	7.3	45.3	44.9	41.5
SAN JOSÉ	ASERRI	10606	MONTERREY	45.0	10.4	46.2	40.0	53.9
SAN JOSÉ	ASERRI	10603	VUELTA DE J	50.5	14.6	37.0	51.0	66.1
SAN JOSÉ	ASERRI	10602	TARBACA	47.5	31.4	28.7	44.1	54.4
SAN JOSÉ	ASERRI	10604	SAN GABRIE	52.8	14.8	33.7	51.1	76.6
SAN JOSÉ	ASERRI	10607	SALITRILLOS	46.4	13.7	18.6	45.2	77.7
SAN JOSÉ	CARTAGO	30107	CORRALILLO	59.1	13.1	42.2	56.0	85.6
SAN JOSÉ	CARTAGO	30111	QUEBRADILL	56.9	24.9	37.8	46.8	80.1
SAN JOSÉ	DESAMPARADOS	10306	FRAILES	59.8	12.7	41.8	60.6	83.9
SAN JOSÉ	DESAMPARADOS	10308	SAN CRISTO	59.1	12.5	47.2	58.3	78.7
SAN JOSÉ	DESAMPARADOS	10309	ROSARIO	45.3	12.2	40.5	42.6	56.4
SAN JOSÉ	DOTA	11702	JARDÍN	30.0	6.5	27.4	46.3	20.9
SAN JOSÉ	DOTA	11703	COPEY	47.9	10.8	49.0	44.2	56.2
SAN JOSÉ	DOTA	11701	SANTA MAR	43.8	17.9	26.9	46.2	55.4
SAN JOSÉ	EL GUARCO	30802	SAN ISIDRO	52.0	22.1	37.8	53.0	60.6
SAN JOSÉ	EL GUARCO	30803	TOBOSI	59.5	24.3	37.7	56.8	79.5
SAN JOSÉ	EL GUARCO	30804	PATIO DE AC	42.9	10.7	62.0	23.7	47.2
SAN JOSÉ	ESCAZU	10202	SAN ANTON	65.6	33.8	25.1	82.2	76.9
SAN JOSÉ	LEON CORTES	12004	SAN ISIDRO	47.1	7.9	45.6	43.6	60.3
SAN JOSÉ	LEON CORTES	12003	LLANO BONI	45.9	5.7	51.1	43.0	53.8
SAN JOSÉ	LEON CORTES	12001	SAN PABLO	57.4	12.8	55.6	41.5	81.4
SAN JOSÉ	LEON CORTES	12002	SAN ANDRÉS	46.2	7.8	44.7	52.0	49.8
SAN JOSÉ	LEON CORTES	12005	SANTA CRUZ	50.6	8.7	53.8	44.3	62.3
SAN JOSÉ	LEON CORTES	12006	SAN ANTON	56.2	7.4	67.3	52.8	59.9
SAN JOSÉ	MORA	10703	TABARCIA	46.7	16.0	33.0	57.4	49.8
SAN JOSÉ	MORA	10702	GUAYABO	47.6	14.0	33.1	41.6	70.5
SAN JOSÉ	PURISCAL	10402	MERCEDES S	52.7	13.8	51.8	57.8	52.6
SAN JOSÉ	PURISCAL	10408	SAN ANTON	63.5	17.8	29.3	87.3	76.9
SAN JOSÉ	PURISCAL	10401	SANTIAGO	67.3	24.5	41.8	80.8	76.8
SAN JOSÉ	PURISCAL	10405	SAN RAFAEL	57.4	13.4	50.9	57.2	69.7
SAN JOSÉ	PURISCAL	10409	CHIRES	38.9	8.5	39.9	49.1	33.0
SAN JOSÉ	PURISCAL	10406	CANDELARIT	60.5	11.8	54.2	72.9	62.5
SAN JOSÉ	PEREZ ZELEDON	11911	PÁRAMO	40.2	9.1	38.7	45.4	41.6
SAN JOSÉ	PEREZ ZELEDON	11909	BARÚ	41.0	18.4	35.1	53.8	29.9
SAN JOSÉ	PEREZ ZELEDON	11910	RÍO NUEVO	40.1	6.9	42.7	50.4	34.4
SAN JOSÉ	SANTA ANA	10902	SALITRAL	62.2	36.4	40.6	67.6	62.5
SAN JOSÉ	TARRAZU	10501	SAN MARCO	50.1	16.8	33.3	46.4	70.8
SAN JOSÉ	TARRAZU	10502	SAN LORENZ	39.6	9.5	32.9	45.9	44.5
SAN JOSÉ	TARRAZU	10503	SAN CARLOS	45.5	4.9	43.0	48.0	56.3
PUNTARENAS	PARRITA	60901	PARRITA	49.8	25.7	46.9	48.0	45.7

Fuente: Elaboración propia con base a información de MIDEPLAN, 2007.

Como se puede observar el distrito con valor mayor es Santiago con 67.3, seguido de San Antonio de Escazú con 65.6, Copey, seguido de San Antonio de Puriscal con 63,5, San Ignacio de Acosta con 63.2, Salitral de Santa Ana con 62.2, Candelarita de Puriscal con 60.5, Frailes de Desamparados con 59.8, Tobosi del Guarco con 59.5, San Cristóbal de Desamparados y Corralillo de Cartago con 59.1 y los cantones con IDS más bajos son Sabanilla de Acosta con 25.5 y San Pedro (El Jardín) de Dota con 30.0.

En la Figura 63 se muestra el índice de desarrollo social a nivel de mapa por distritos para las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís, entre más bajo (colores rojos se puede pensar en más vulnerable).

Figura 63. Índice de desarrollo social a nivel distrital en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís



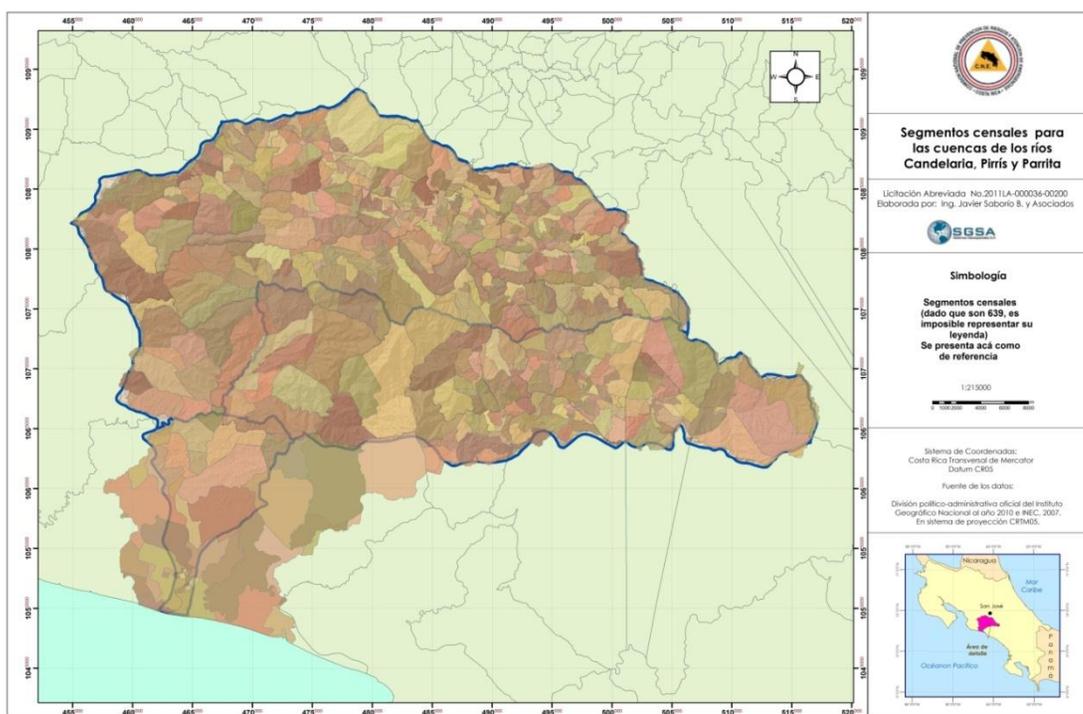
Fuente: Elaboración propia con base a información de MIDEPLAN, 2007.

La representación geográfica de la población resulta en una forma de aproximarse a la vulnerabilidad y se ha venido realizando a nivel de límites administrativos asociados a los datos de censos.

Aunque los términos solicitaban realizar esto a nivel de distrito-municipio, dados los estudios realizados por personal de SGSA.SA, se cuenta con información a nivel de segmento censal, que vinculado a la información del censo nacional vigente al año 2000 (el censo del año 2010 está siendo procesado y no está disponible para este estudio), resulta en información valiosa para indicar aquellas áreas o segmentos más o menos vulnerables.

Así si se considera que el IX censo de población presenta información de: a) Alfabetismo, b) Discapacidad, c) Cantidad de hombres y mujeres, d) Desglose por edades de la población, e) Ocupación, f) Población económicamente activa (PEA), g) Personas cubiertas por el seguro social, entre otra información, se pueden determinar aquellos segmentos más o menos vulnerables. Se tiene 639 segmentos que conforman la región de las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita. En la Figura 64 se incluyen los segmentos censales y en el Cuadro 13 información de la base de datos del censo del año 2000.

Figura 64. Segmentos censales en las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita



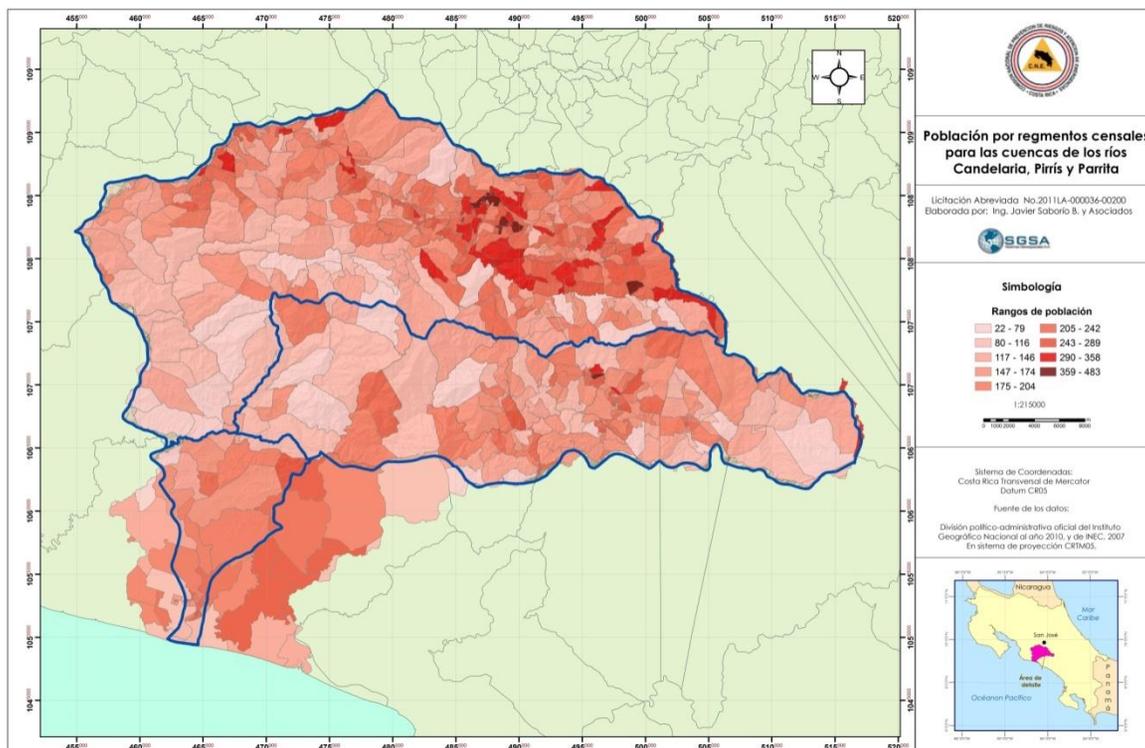
La información del Cuadro 16 incluye 79 campos que identifican la localización de cada segmento, y para cada uno de ellos información relacionada a población masculina, femenina o por rangos de edad, tipos de vivienda, tipos de empleos y otras asociadas con servicios a cada segmento. Esta base de datos se deberá mejorar con el censo del 2010, cuando esté disponible, y sea suplido por el Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC).

Cuadro 16. Resumen de la información vinculada a los segmentos censales en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís

Número	Campo	Descripción	Número	Campo	Descripción
1	COD_TOTAL	Código de segmento total	41	NIVEL_DIRE	Nivel directivo
2	PROVINCIA	Identificador numérico de Provincia	42	NIVEL_PROF	Nivel profesional
3	CANTON	Identificador numérico de Cantón	43	NIVEL_TÉCN	Nivel técnico
4	DISTRITO	Identificador numérico de Distrito	44	OCUPACIONE	Nivel ocupacional
5	SEG_CEN	Identificador numérico de segmento censal	45	VENTA_EN_L	Nivel de ventas
6	NCANTON	Nombre de cantón	46	OCUPACIO_1	Ocupación 1
7	NDISTRITO	Nombre de distrito	47	ARTESANAL_	Artenanal
8	MASCULINO	Población masculina	48	MONTAJE_Y	Montaje y otros
9	FEMENINO	Población femenina	49	OCUPACIO_2	Ocupación 2
10	TOTAL	Población total	50	OCUP1DIG_T	Total de ocupación no incluye el nivel social
11	Z0_4AÑOS	Población de 0 a 4 años	51	JEFAS_NIVE	Jefas por nivel social
12	Z5_9AÑOS	Población de 5 a 9 años	52	JEFAS_NI_1	Jefas por nivel 1
13	Z10_14AÑOS	Población de 5 a 9 años	53	JEFAS_NI_2	Jefas por nivel 2
14	Z15_19AÑOS	Población de 15 a 19 años	54	JEFAS_OCUP	Jefas por nivel de ocupación
15	Z20_24AÑOS	Población de 20 a 24 años	55	JEFAS_VENT	Jefas por ventas
16	Z25_29AÑOS	Población de 25 a 29 años	56	JEFAS_OC_1	Jefas por nivel de ocupación 1
17	Z30_34AÑOS	Población de 30 a 34 años	57	JEFAS_ARTE	Jefas por nivel artesanal
18	Z35_40AÑOS	Población de 35 a 40 años	58	JEFAS_MONT	Jefas por nivel de montaje y otros
19	Z_40_A_4	Población de 40 a 44 años	59	JEFAS_OC_2	Jefas por nivel de ocupación 2
20	Z_45_A_49	Población de 45 a 49 años	60	JEFAS_OC_3	Jefas por nivel de ocupación 3
21	Z_50_A_54	Población de 50 a 54 años	61	HOGAR	Número de hogares
22	Z_55_A_59	Población de 55 a 59 años	62	HOGARES	Número de hogares adicional
23	Z_60_A_64	Población de 60 a 64 años	63	HOGARES_1	Numero de hogares tipo 1
24	Z_65_A_69	Población de 65 a 69 años	64	HOGARES_12	Numero de hogares tipo 12
25	Z_70_A_74	Población de 70 a 74 años	65	HOGARES_13	Numero de hogares tipo 13
26	Z75_79AÑOS	Población de 75 a 80 años	66	HOGARES_14	Numero de hogares tipo 14
27	Z80YMÁSAÑOS	Población de 80 y más	67	HOGARES_15	Numero de hogares tipo 15
28	CASA_INPTE	Casas independientes	68	HOGARES_16	Numero de hogares tipo 16
29	EN_EDIFICI	En edificación o construcción	69	HOGARES_17	Numero de hogares tipo 17
30	TUGURIO	Tipo tugurio	70	NHOGAR_T	Numero de hogares totale
31	OTRO	Otra infraestructura	71	NO_TIENEN_	No tienen
32	SIN_VIV	Sin vivienda propia	72	CON_UNA_CA	Con una cas
33	COLECTIVA	Colectiva	73	CON_DOS_CA	Con dos casas
34	CARCEL	Cárcel	74	CON_TRES_C	Con tres casas
35	REGION	Código se región	75	CON_CUATRO	Con cuatro casas
36	COD_URB	Código urbano	76	NO_HAY_LUZ	No hay luz
37	ZONA	Zona	77	ELECTRIC_T	Electricidad
38	TOT_VIV	Total de viviendas	78	MICROCOM_T	Microcomputador
39	TOT_POBL	Total de población	79	TELEFONO_T	Teléfono
40	NIV_SOC6	Nivel social			

Cada campo en el Cuadro 16 permite la representación espacial del mismo, a manera de ejemplo, se presenta la población total por segmento censal, en la Figura 65, en este caso la mayor concentración de la población se muestra con colores café, y esto es un indicativo de mayor presión urbana hacia el ambiente.

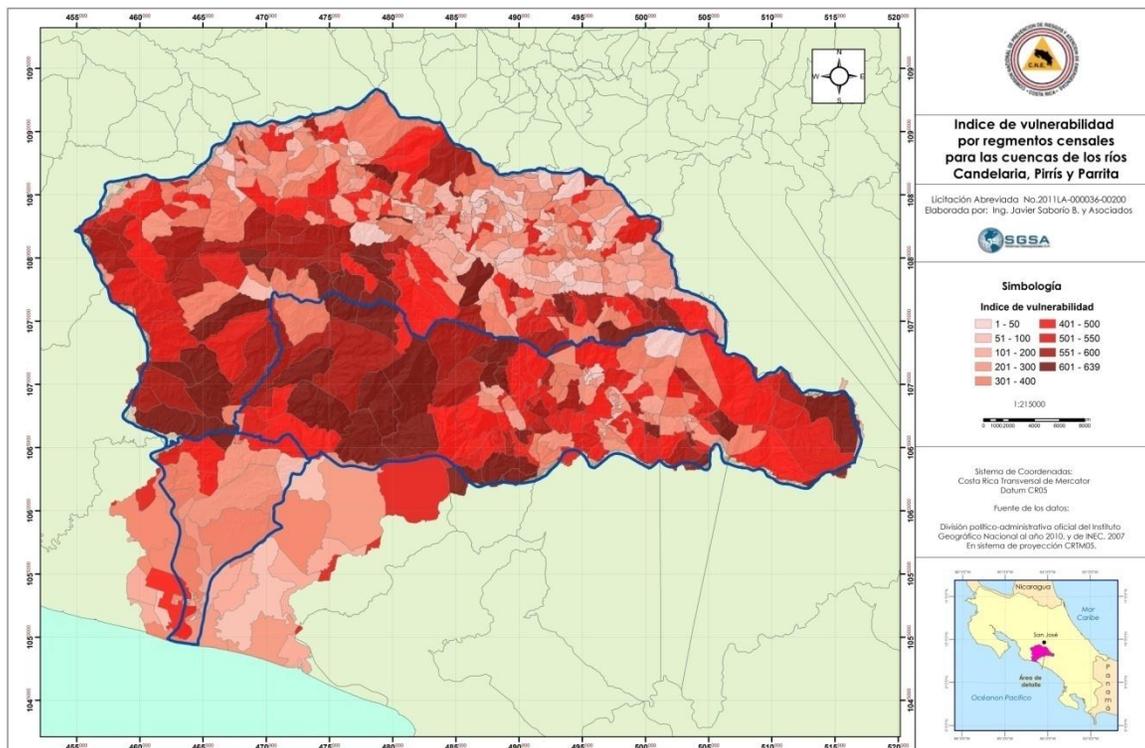
Figura 65. Población total por segmento censal en las cuencas de los ríos Candelaria Parrita y Pirrís



La combinación de los valores de los campos permitirá llegar a un estimado de la vulnerabilidad por segmento censal; dado que se trata de 205 segmentos se puede ordenar por índices, por ejemplo se puede agregar un índice que permita agregar la población total (de menos a más población considerando el valor menor como menos vulnerable y el mayor como el más vulnerable, se le asigna de 1 a 205) y que además incluya a la población menor de 9 años (de menos a más población menor a 9 años de 1 a 205), los segmentos con casa independientes (de menos casas independientes a más de 205 a 1), nivel de ocupación mayor (de más ocupados a menos de 1 a 205), electricidad (de más menos instalados, de 1 a 255), con teléfonos de menos a más, de 1 a 255.

En la Figura 66, se incluye el índice de vulnerabilidad por segmento censal

Figura 66. Índice de vulnerabilidad por segmento censal en las cuencas de los ríos Candelaria Parrita y Pirrís



14. Inventario de las principales organizaciones sociales

En el área se cuenta con diferentes organizaciones que trabajan en la temática ambiental del área y que potencialmente se pueden incluir en la Gestión de Riesgo. Sin embargo, ésta tarea en los Municipios, que a la fecha carecen de información de amenazas por parte de la CNE. Aquí interesan los cantones que se ven afectados por las inundaciones.

En las Municipalidad en las área de interés, se cuenta con un SIG con énfasis en actividades catastrales, pero que no ha recibido insumos de la CNE y no cuentan con datos de amenazas.

Aunque las organizaciones no tiene dentro de sus objetivos la Gestión del Riesgo, si podrían convertirse en aliados Municipales enfatizando los programas o acciones vigentes en la temática ambiental, educación, protección de cuencas, organización para emergencias, vigilancia de amenazas, con objeto de velar por la seguridad futura de las comunidades.

La necesidad de un Sistema de Alerta Continua o Temprana es importante, sin embargo, respecto a estaciones de lluvia se carece de estaciones en tiempo real que permitirían tomar una decisión oportuna, y respecto a caudales, solo la cuenca de los ríos Parrita y Pirrís está equipada, por el ICE, esto debido a la construcción del P.H. Pirrís, sin embargo, una de las principales estaciones Tabacales, de tipo telemétrica, debe ser reubicada pues salió de operación debido a la entrada del proyecto.

Dado que en la cuencas de los ríos Parrita y Pirrís, el El ICE juega un papel clave en cuanto a la Gestión de Recurso Hídrico y un aliado en cuanto a la protección de la tierra, evitando potenciales deslizamientos y erosión que afecten el embalse del P.H. Pirrís, en el futuro implementando un Plan de Manejo o Gestión de las cuencas que a incidente en el embalse del Proyecto, sería oportuno ampliarlo para que contemple a las cuenca del río Candelaria, donde igualmente las acciones en agua por parte del AyA, con los Proyectos de Bandera Azul en compañía de las ASADAS, se vuelven importantes como medidas de protección en las parte alta y media de las cuencas.

En el Cuadro 17 se incluyen los principales proyectos relacionados al ambiente y protección del recurso hídrico y actividades afines.

Cuadro 17. Resumen de proyectos en la región de las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita

TIPO DE PROYECTO	INSTITUCION ACARGO	TELEFONO	UBICACION DEL PROYECTO	INICIO	VIGENCIA	DURACION	CARACTERISTICAS	OBSERVACIONES
Manejo de Desechos	Asociacion Femenina Los Santos	546-6879	Los Santos	2001	Si	6 años	Reciclaje de Vidrio, papel, plastico, Talleres de manejo de desechos	Trabajo en conjunto con las municipalidades de la Zona
Obono organica	APACO	544-1680	Santa Cruz	2004	Si	3 años	Abonos organicos, manejo de politica de produccion amigables	Producción en vivero, utilización de un 60% del abono en la plantación
Proyecto de patrocinio	Banco Nacional	212-2000	Los Santos, Parrita		Si	Condicionada	Patrocinio a entidades, entrega del proyecto al sistema de patrocinio, debe estar incluido en lista proveedores	Patrocinan mas el area cultural, dependen de un presupuesto anual
Manejo de Desechos (Brosa)	Beneficio La Angostura	544-0483	León Cortes	2007	Indefinida	2008	El gobierno da un % la inversion y la produccion de desecho	Participación en un taller fomento de producción agropecuaria
Manejo de Desechos (Brosa)	Beneficio Montañas de Diamante	541-1844	Santa María		Largo Plazo	2008	Manejo de la brosa, compost abono organico,secar la brosa para usar en los hornos	El agua en la época de no uso utilizarla para la producción de electricidad
Conservación de bosque y reforestación por pago de servicios ambientales	Centro Agrícola Cantonal Dota	541-1838	Santa María	1995	indefinido		Pago de servicios Ambientales	Hacen los tramites e inspecciones
Producción de abono organico	Centro Agrícola Cantonal Tarrazú	546-6044	El Rodeo	2003		2007	Abono con la brosa y lombría y otro compuesto con Brosa, grama tierra cal Bocachi	Para la venta
Vivero de arboles para reforestación y venta	Centro Agrícola Cantonal Tarrazú	546-6044	El Rodeo	1972		2007	Arboles de eucalpto, nogal, cedro, dama	Para la venta y apoyo a reforestación de nacientes y programas a escuelas
Listado de proyectos	Coopedota RL	541-2828	Santa María	2006	Indefinida			
Clasificación de desechos	Coopedota RL	541-2828	Santa María				Clasificación de desechos en diferentes recipientes de colores según su origen dentro de la cooperativa	Estimación de la producción de desechos dentro de la Cooperativa
Manejo de desechos solidos y organicos	Coopedota RL	541-2828	Santa María				Cantidad de desechos sólidos y orgánicos que se generan en la comunidad de Santa María de Dota	Crear un centro de acopio y producir abono organico
Producción de etanol a base de residuos del café y ciertas variedades de musáceas.	Coopedota RL	541-2829	Santa María				Utilización del mucilago de café, como alternativa en la producción de combustibles	Crear una planta destiladora de subproductos del café
Producción de biodiesel a base de Higuierilla (Euphorbiaceae Ricinus communis) y Tempate o Piñón (Jatropha Curcas).	Coopedota RL	541-2829	Santa María				Utilizar diferentes materias primas existentes (Higuierilla y Tempate) en las plantaciones de café para la producción de biodiesel	Crear una planta productora de biodiesel que funcione a base de Higuierilla y Fomentar la siembra alternativa de higuierilla y tempate
Tratamiento de Desechos (Brosa)	Coopellano Bonito RL	546-7810	Llano Bonito	2005	Si	vigente	Votoes y palicación de cal mas una encima que acelera la decomposion	
Protección de Recursos Hidrico	Cooperantes referencia al proyecto de compra	546-2525	Toda el area de influencia				Compran los terrenos para la administración del las comunidades por	Compra de Nacientes
Están integrando la información	COPROARENAS elaborando un documento de trabajo	546-2421						
Aprovechamiento de los desechos	Municipalidad de Dota	541-1074	Santa María y Providencia				Utilización de desechos para construcción de infraestructuras.	Se practica en la elaboración de aceras
Reciclaje, manejo de Desechos	Municipalidad de Dota	541-1074	Santa María	2007	Si	2 meses	Papel, Plastico, Vidrio, Aluminio	En coordinación con Coopedota y el colegio dota
Bandera Azul Cantonal	Municipalidad de Dota	541-1074	Santa María	2007	Si	2 meses	Reciclaje recurso Hidrico, educacion Ambiental, focos de contaminación	Instituciones publicas, Cosevi, Coopedota, Camara de Turismo
Bandera Azul Cantonal	Municipalidad de Parrita	779-9965						
Evaluación y limitaciones de las nacientes	Municipalidad de León Cortes	546-5565	San Pablo	2007	Si	largo plazo		
LIMPIESA DE QUEBRADAS Bandera Azul	Municipalidad de León Cortes	546-5565	San Pablo	2007	Si	largo plazo	Limpieza de las quebrada	Convenio con le ministerio de salud y minae
Siembra de arboles recuperación de las zonas de recarga	Municipalidad de León Cortes	546-5566	San Pablo	2007	Si	largo plazo		
Tratamiento de aguas jabonosas	Asociación de mujeres de Providencia		Providencia (Noili Aguilar Fallas)	2005			Tratamiento de aguas con lirios	
relleno Sanitario	Federación de Municipalidades	546-5565	Dota, Santa María, León Cortes	2003	Si	2años	Tratamiento de desechos	Union de las tres municipalidades
Plan Regulador	Federación de Municipalidades	546-5565	Dota, Santa María, León Cortes	2003	No		Ordenamiento y planificación territorial del canton	Union de las tres municipalidades
Declaración del cerro La Trinidad como area de protección	Federación de Municipalidades	546-5565	Dota, Santa María, León Cortes	2007	No			Solicitud de coproarenas
Vivero de Tortugas	Escuela de Palo Seco		Parrita	2006	Si	vigente	Repoblación de Tortuga Verde	
Limpieza de Playas	Asociación de Desarrollo Palo Seco		Parrita					
Limpieza de Playas	Asociación de Desarrollo Playa Bandera	7796462	Parrita					

15. Análisis de la percepción comunal del riesgo en actores claves de la comunidad. Mapas de percepción, memoria histórica.

Intentar un análisis de percepción comunal a nivel de comunidades cuando se trabaja con límites cantonales va más allá de los alcances de este trabajo, En Costa Rica no se ha aplicado a nivel cantonal solo a nivel de pequeñas poblaciones y en algún caso a un distrito; sin embargo, aprovechando el modelo presentado por Blake et al, 1994, "pressure and release" (generalmente conocido como **modelo PAR**, por sus siglas en inglés, PAR) y las herramientas que generó en cuanto al Análisis Vulnerabilidad Capacidad (AVC) tanto a nivel mundial, como por la Federación Internacional de la Cruz Roja (FIUCR), 2007, con manuales adaptados a Costa Rica por el Centro Regional de Referencia en Educación Comunitaria para la Reducción del Riesgo de Desastres, se logra recabar la memoria histórica y el mapeo de la percepción del riesgo, aplicado a un grupo de informantes claves de los cantones afectados por las inundaciones.

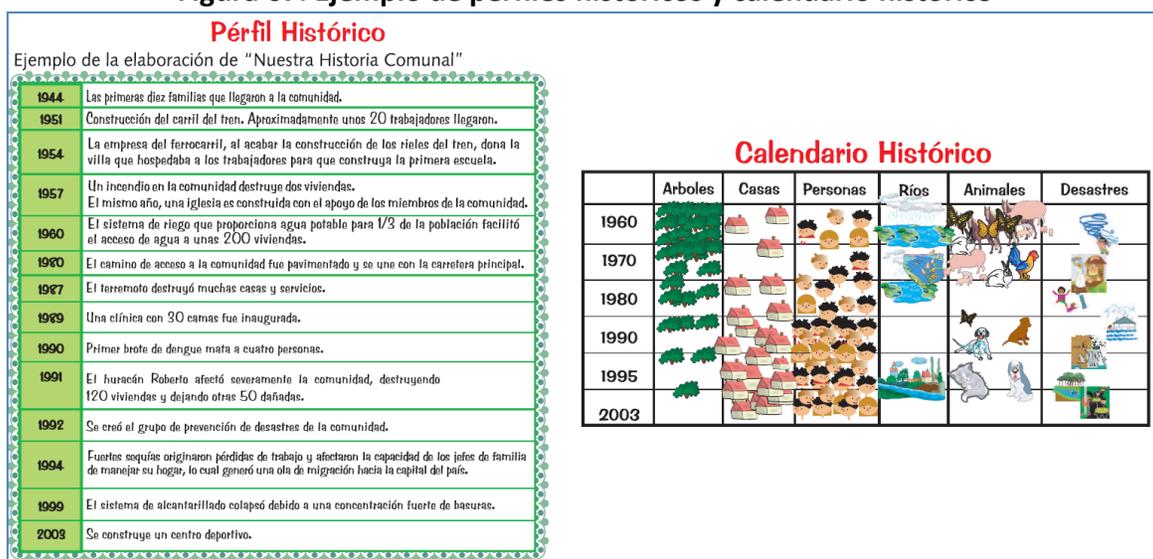
De esta forma, en el Anexo C, se incluye una revisión de las herramientas que comprende el AVC. En nuestro caso se aplicarán los componentes a) Memoria histórica y b) Mapeo comunitario.

15.1 Memoria histórica

Son herramientas que permiten reunir información sobre lo sucedido en el pasado. Ayuda a la comunidad a construir una imagen de los sucesos que la afectaron. Mediante su uso se pueden rastrear los cambios en el medio ambiente, la conducta de la comunidad. Resultan muy importantes para comprender los vínculos causales, básicamente consisten en realizar un a) Perfil histórico o recuento de eventos que se han dado en la región y b) Calendario Histórico. En la Figura 67 se incluyen ejemplos.

Se utilizan para obtener un conocimiento profundo de la situación pasada y actual de la comunidad, y los cambios que se han generado con el paso de tiempo, construir una identidad comunal, conocer tendencias y crear conciencia sobre los cambios y percepciones actuales.

Figura 67. Ejemplo de perfiles históricos y calendario histórico



Fuente FICR, Costa Rica (2008).

15. 2 Mapeo comunitario

Es una herramienta útil para visualizar las capacidades en cuanto a los recursos y servicios de una comunidad como clínicas, colegios, fuentes agua, refugios; asimismo, permite la identificación de riesgos: tales como áreas inundadas y amenazas para la salud, señalando grupos y zonas vulnerables.

Los gráficos, croquis o mapas ayudan a visualizar las relaciones complejas de la comunidad y fomentan la discusión de temas importantes. Se utilizan para a) conocer que recursos existentes e identificar las actividades adecuadas (por ejemplo, primeros auxilios), b) tener un entendimiento común sobre los problemas de la comunidad, c) estimular la discusión sobre recursos y riesgos en la comunidad, d) obtener información general sobre temas específicos, e) ayudar a la población en la planificación y diseño del proyecto.

- Paso 1: seleccionar a los/las participantes

Normalmente en Costa Rica, ésta técnica se aplica a comunidades afectadas y no se ha aplicado a nivel de cantón, mucho menos a una Región como la definida por las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.

El mapa comunitario se puede elaborar en grupos pequeños para que todas las personas colaboren y se beneficien. Los grandes grupos pueden ser muy importantes para conseguir simultáneamente una representación de varias perspectivas en la comunidad. Los/las participantes podrán elaborar el mapa comunitario individualmente y luego se compararán. También, se podrá formar grupos de hombres y mujeres para elaborarlo.

- Paso 2: Determinar el propósito del mapa comunitario
 Determine el propósito de su mapa; para ello, tenga en cuenta que existen tipos de mapas que expresan diferentes propósitos, ilustrados en la Figura 68:
 - I. Mapa espacial: otorga una visión general de las principales características geográficas en un área, como la disposición de las casas, campos, caminos, ríos y otros usos de la tierra, cuyos recursos sean evaluables y pertenezcan a la comunidad y a sus miembros.
 - II. Mapa de riesgos o amenazas: indica los riesgos o peligros, su frecuencia y gravedad, e identifica las poblaciones vulnerables en el área.
 - III. Mapa de capacidades y recursos: señala las capacidades y recursos; locales, así como las diferencias de género o las áreas de uso de la tierra.
- Paso 3: Determinar el tipo de mapa comunitario que se realizará

El mapa se confeccionará con una lámina transparente para hacer un bosquejo de las áreas de importancia; se entregarán mapas de amenazas de inundaciones en los cantones afectados, subdivididos por distrito, que servirá de línea base.

Figura 68. Ilustración del croquis, mapa de riesgo y de capacidades





Fuente FICR, Costa Rica (2008).

Si esta herramienta se utiliza para la planificación, se podrá dibujar en un sólo mapa o en forma superpuesta diversas actividades, recursos de la comunidad, lugares importantes, los riesgos y los peligros; si se utiliza para supervisar, se registrarán los cambios en los mapas o fotografías de las diferentes etapas del proyecto o podrán ser utilizadas por otras agencias para fines de comparación; y si se utiliza para evaluar, será útil realizar una comparación de los mapas y/o fotografías en diferentes momentos.

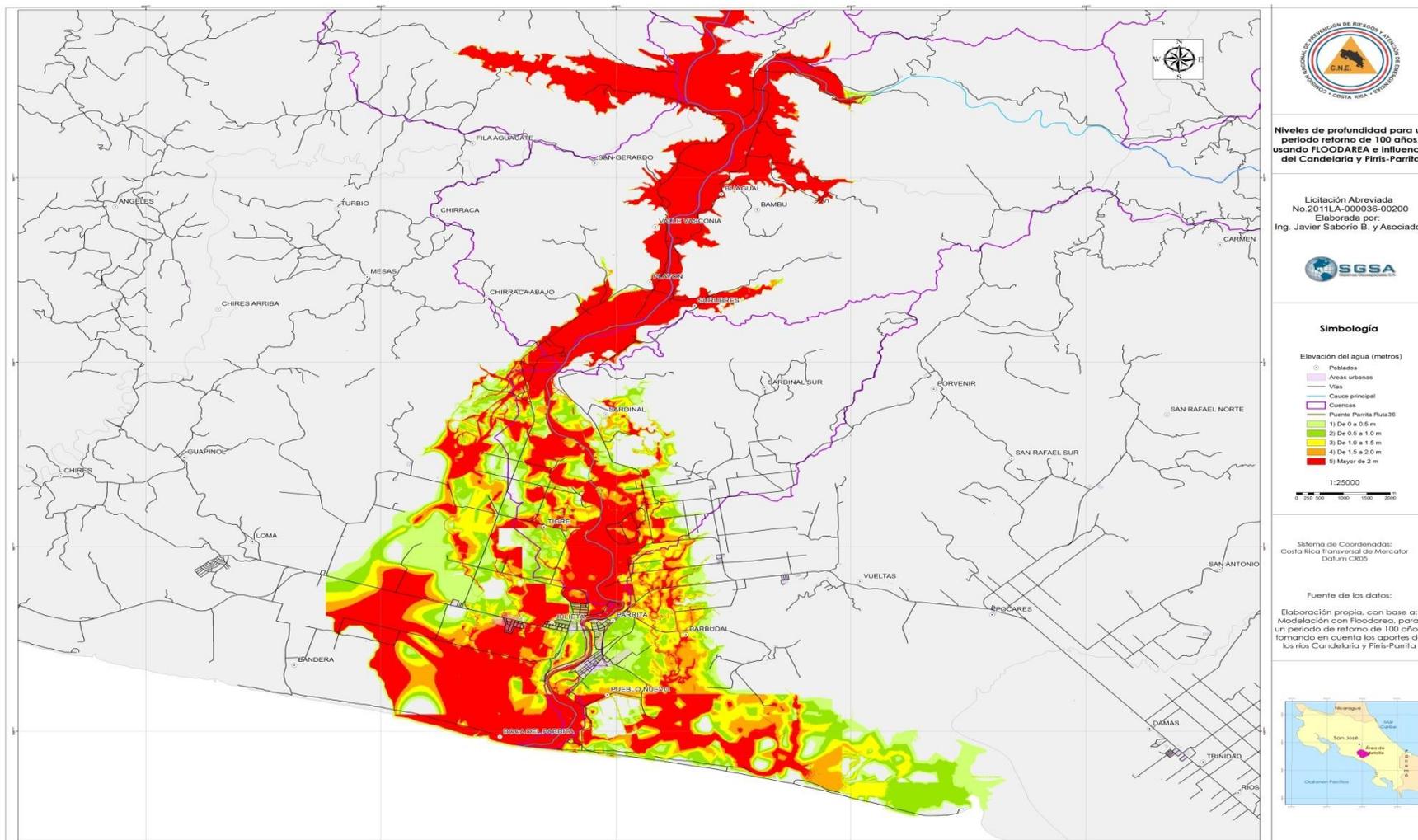
En nuestro caso ya se cuenta con mapas de amenaza, lo que se quiere es a) conocer si la sociedad conoce de nuevas amenazas o las mapeadas están bien, b) conocer las vulnerabilidades, c) sus necesidades, d) capacidades para afrontar el riesgo de una mejor forma.

15.3. Amenazas de inundaciones por cantones

En este apartado se han preparado los mapas de amenazas a escala 1:25,000. El propósito es utilizarlos en la actividad del mapeo comunitario, impresos para la actividad a la escala indicada.

En la Figura 69 se incluye la amenaza por inundaciones en la región de interés.

Figura 69. Amenaza por inundaciones en el área de interés



16. Lineamientos (medidas estructurales y no estructurales)

En el Anexo D se ha incluido un resumen en general aplicable a diferentes amenazas en cuanto a medidas de resiliencia que tiene como propósito el documentar al lector y a la vez el incorporar aquellas medidas aplicables a las cuencas los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita, en este apartado.

Los lineamientos se hacen desde las perspectivas:

a) Degradación ambiental - manejo de desechos sólidos

Esta es una temática que se debe retomar por las autoridades respectivas, Municipalidades, Ministerio de Salud, otras relacionadas como el Ministerio de Educación, así como ONGs, sector privado y la población en general. Se pueden implementar medidas como las incluidas en el anexo D, sin embargo, eso se hará luego de la retroalimentación con la población.

b) Emergencias y desastres

Por el tipo de amenazas que se dan en el área de interés, las acciones deben tomarse, a) en prevención tanto para los deslizamientos como para los eventos climáticos extremos que producen inundaciones, con un ordenamiento territorial adecuado, donde se debería impulsar un manejo eficiente del usos de la tierra, b) el tratar de detener las amenazas "inundaciones" y "deslizamientos" sea con barreras o diques, aparte de ser soluciones costosas, no es una solución recomendable, es preferible no dar los permisos en sitios susceptibles a deslizamientos e igualmente evitar el estrangulamiento de los ríos en las área urbanas, c) para el caso de infraestructura crítica en el apartado de comunicaciones (camino, redes eléctricas, distribución de agua), se requiere contar con maquinaria que actúe eficientemente al darse la emergencia, y esto dado a la cercanías de la Municipalidades, debiera hacerse y manejarse en forma conjunta y coordinada, junto con la CNE.

c) Trámites de construcción – plan regulador

Una de las principales competencias que poseen las municipalidades está referida a la planificación y control del desarrollo urbano dentro de los límites jurisdiccionales de su territorio.

El plan regulador ha sido el principal instrumento técnico y jurídico de que disponen las municipalidades para ejercer aquella competencia. Idealmente, toda municipalidad

debería poseer su propio plan regulador; también, idealmente, estos deberían elaborarse teniendo en cuenta un marco regional y nacional que le sirva de referencia.

A la fecha las Municipalidades del área con problemas de inundación, velan por los permisos de construcción y cuentan con Unidades SIG, con ArcView, sin embargo, no incorporan a variable de amenazas naturales, dado que no han contado con la información de amenazas de la Comisión Nacional de Emergencias, y recién se incorpora la producida por Catastro Nacional, al 2011.

d) Deterioro de infraestructura urbana-mantenimiento y mejoras comunales.

En el caso específico de caminos se debe mantener un mantenimiento continuo a las vía de comunicación, a los sistemas de drenajes y la limpieza general de los cauces, evitando que puentes y alcantarillas se conviertan en obstáculos al flujo normal del agua.

e) Salud-educación

Es muy importante incluir la Gestión del Riesgo, en la comunidad, con programas informales y formales, dirigidos a diferentes estratos de la población, con énfasis en escuelas y colegios

f) Escenarios de intervención del Estado y los Municipios, sobre las causas, efectos para reducir el riesgo.

La herramienta de los Planes Reguladores con el enfoque de Gestión de Riesgo, se constituirá en una herramienta muy valiosa para las Municipalidades, para buscar una zonificación dinámica, que conlleve a la prevención sin dejar de lado las medidas adecuadas para la atención de desastre.

17. Referencias

- Barrantes R., J. 2002. Geología y Macrozonificación de la Amenaza por Deslizamiento. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. DISEÑO-PSA-ICE.
- Barrenechea, J. 1999. "Herramientas metodológicas para la gestión integral de riesgos ambientales." PIRNA - Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente tomado de internet: www.filo.uba.ar/institutos/geografia/home.htm
- Basterrechea, M., Dourojeanni A, García L., Novara J. y Rodríguez R 1996. Lineamientos para la preparación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas para eventual financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo. Washington, D.C.
- Basterrechea, M., Saborío J., González A. 2001. Análisis de Riesgo e Impacto de Eventos Generadores de Desastres en las Cuencas Hidrográficas, CATIE - BID (1147/OC-GU) – MAGA. Guatemala.
- Chacón R., 2002. Aspectos Climáticos Relacionados con la Distribución Temporal y Espacial de la Precipitación en la Cuenca del Río Savegre. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. Estudios Básicos-PSA-ICE.
- Climent M. A., Barquero P. Rafael, Alvarado I., Guillermo. 2002. Amenaza Sísmica en el Marco del Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. CGA-PSA-ICE.
- Cordero Calderón F., Hernández Artavia M., Agüero Ureña G., Villalobos Arce J. 2001 Plan de Incendios Forestales 2002-2002.
- CRED, (Centre for Research on the International Centre for Training and Epidemiology of Disasters Exchanges in the Geosciences), 1997. Diagnóstico Previo al Plan de Acción DIPECHO para América Central y el Caribe. Disaster Preparedness Programme European Commission Humanitarian Office (DIPECHO). Université Catholique de Louvain. En Internet: <http://www.cred.be/centre/publi/142s/ch3.htm>.
- Diccionario de la Lengua Española (Decimonovena: 1974).
- Huffman, j. g., 1997. Estimaciones del error medio cuadrática aleatorio para muestras finitas de precipitación estimada. J. Appl. Meteor.(1191 - 1201).
- Huffman, j. g., R.F. Adler, Rudolf B., u. Schneider y P.R. Keehn,, de 1995. Estimaciones de precipitación global basadas en una técnica para combinar las estimaciones basadas en satélites, análisis pluviómetro e información de precipitación del modelo NWP. Clima de j. 8(1284-1295).
- Huffman, j. g., R.F. Adler, p. Arkin, A. Chang, r. Ferraro, A. Gruber, j. Janowiak, A.
- McNab, Rudolph B. y u. Schneider, 1997. El proyecto de climatología de la precipitación global (GPCP) combina conjuntos de datos de precipitación. Toro. Amer. Meteor. Sócrates 78:5-20.
- Maidment, David R. 2002. Ed. Arc Hydro: GIS for Water Resources, ESRI Press.
- Madrigal, C. 1996, Efectos del Huracán César sobre la región que incluye el PH. Los Llanos. Publicación interna ICE.

- Madrigal, J. 2002. Material de campo recopilado después del huracán Cesar en 1996, por Comisión Nacional de Emergencias.
- Mays, Larry W. Water Resources Engineering. 1st ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 2001.
- Mora, S. 2000. Presentación acerca de riesgos, en Reunión Latinoamericana de Riesgos. New Orleans.
- OEA. 1991 Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños, en Internet:
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea57s/begin.htm#Contents>
- OEA. 1993 Manual Sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el Desarrollo Regional Integrado, en Internet:
<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea65s/ch06.htm>
- Rojas N. 2011. Estudio de Cuencas Hidrográficas de Costa Rica. MINAET, IMN y PNUD. Costa Rica. 19 p.
- Ruiz Rodríguez y Zeisler. FloodArea – User Manual. Geomer GMBH. Wiesbaden. 2003.
- Saborío B., J. Estudio de Erosión Potencial en la Cuenca del Río Savegre. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. CGA-PSA-ICE.
- Saborío B, J., 2000. Presentación personal acerca de Ordenamiento Territorial, presentada en MAGA y FLACSO, Guatemala.
- Snyder, F. 1938. SYNTHETIC UNITGRAPHS. Transactions American Geophysical Union. AGU. Vol 19. 1938.
- Srinivas E., Eastman R. y otros. 1994. Applications in Hazard Assessment and Management UNITAR.
- Ureña M., 2002. Diagnóstico de la vulnerabilidad socioeconómica, cultural, uso de la tierra e infraestructura”. Preparado para el estudio de Riesgo Integral de la Cuenca del Río Savegre. CGA-PSA-ICE.
- Saborío J. et all. Estudio de riesgo integral de la cuenca del río Savegre. CGA-PSA-ICE. San José. 2003.
- Venkatesh Merwade. Tutorial on using HEC-GeoRAS with ArcGIS 9.3 School of Civil Engineering, Purdue University, 2010, 32 p., en Internet: vmerwade@purdue.edu
- Wilchex C., 1993. Vulnerabilidad Global en La Red “Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina”
- WMO 1995. Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards. 92 p.

Anexo A

**Procedimiento y análisis de inundaciones para las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita
y Pirrís
Modelo FLOODAREA**

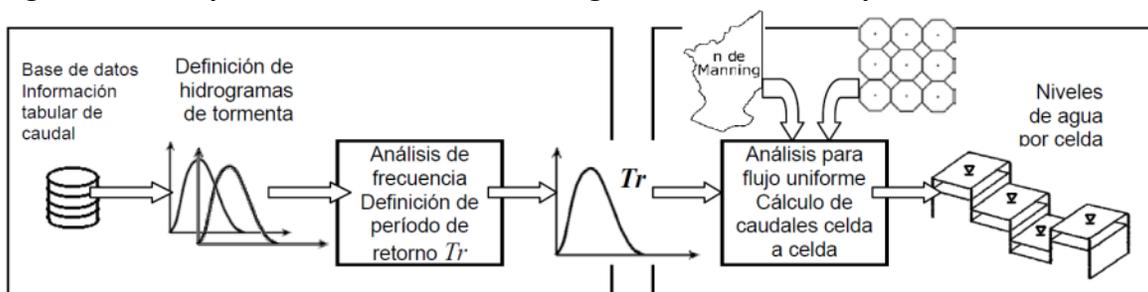
1. FloodArea

El programa FloodArea (Geomer, 2002) es una aplicación que funciona como una extensión del SIG ArcView, de modo que tanto los cálculos (basados en el Spatial Analyst) como el despliegue gráfico se ejecutan bajo esta plataforma. Sus insumos básicos son un modelo de elevación digital (DEM) corregido hidrológicamente, del área de estudio, un mapa de resistencia al flujo (n de Manning), y un conjunto de hidrogramas espacialmente distribuidos de un evento particular. (Esta última característica es propia del análisis escogido basado en hidrogramas, dentro de las opciones del programa que se expondrán más adelante).

En la Figura A1 se observa el esquema básico bajo el cual trabaja el FloodArea, haciendo énfasis en que se requiere un trabajo hidrológico previo, independiente al modelo, para poder luego llegar a ejecutarlo, con todas sus implicaciones hidráulicas, para obtener los resultados.

Con este modelo es posible definir no sólo el área propensa a inundarse, sino que los cálculos proporcionan los niveles del agua en cualquier punto, en diferentes momentos. Tal información suministra un dato básico muy importante para la determinación de la amenaza potencial de inundación, y por tanto para valorar el riesgo potencial. Eventualmente se puede estimar la vulnerabilidad socio-económica-estructural, análisis que no se incluye en este estudio.

Figura A 1. Componentes del análisis hidrológico-hidráulico de la planicie de inundación



El FloodArea ofrece tres posibilidades de análisis: a) por hidrogramas; b) por marcas en la red de drenaje y c) basándose en la simulación de una tormenta.

Después de realizar pruebas de las primeras dos opciones, se determinó que los insumos requeridos por la metodología b) son más susceptibles a imprecisiones y producen mapas menos cercanos a la realidad que la metodología a).

El método c) implica el uso de un modelo de precipitación-escorrentía para empezar a Los resultados de este programa determinan una distribución espacial de la inundación por medio de mapas de elevación del agua (en valor absoluto o relativo a la elevación del

terreno). De manera adicional, el seguimiento temporal de dicho proceso hidrológico puede definirse según los requerimientos del usuario, al tener éste la posibilidad de obtener una secuencia de mapas cada cierto tiempo, a lo largo del lapso de simulación.

2. Metodología de cálculo utilizado por FloodArea

El cálculo de las áreas inundadas que realiza este modelo se basa en métodos hidrodinámicos. Siguiendo un análisis de celdas (con mapas “raster” o “grid”), se realiza el cálculo del volumen de agua que se mueve en un lapso (en pasos sucesivos), hacia las ocho celdas o píxeles vecinos del que se analiza, y obteniendo el volumen de descarga según la fórmula de Strickler-Manning:

$$Q = A V = A K R^{2/3} S^{1/2}$$

donde:

V: la velocidad media de la corriente en m/s

Q: el caudal desaguado en $\frac{m^3}{s}$

A: el área de su sección en m^2 (varía con el calado)

R: el radio hidráulico: $R=A/p$ en m (varía con el calado)

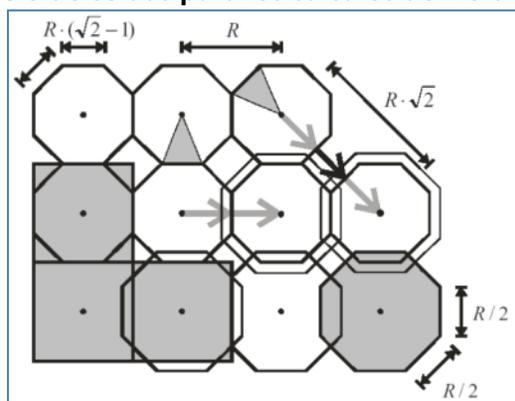
p: el perímetro mojado en m (varía con el calado)

S: la pendiente de la línea de energía (suponiendo régimen uniforme, se toma igual a la pendiente longitudinal. Es adimensional)

K: coeficiente de rugosidad de Manning-Strickler (adimensional)

En la ecuación anterior, el gradiente S se define como la diferencia entre el nivel de agua más bajo y la mayor elevación del terreno encontradas en la celda y en cada una de sus vecinas. La distancia de recorrido del flujo entre celdas se considera igual a R (ancho del píxel) para las celdas laterales y $2 \cdot \sqrt{R}$ para las diagonales, como se muestra en la Figura A2.

Figura A2. Modelo de celdas para los cálculos del volumen de descarga



Balance de volumen

Al final de cada iteración, el programa hace la entrega de los volúmenes de descarga que calculó, hacia las celdas correspondientes, de modo que no existe una pérdida de volumen de agua.

Como se indicó, existen dos maneras de hacer entrar el agua al modelo de elevación. Si se utiliza la opción Elevación del agua (que se conoce como el método de la imagen de la red de drenaje), el algoritmo hace que el nivel del agua en las celdas del cauce vuelva a tomar su valor inicial después de cada iteración. Lo anterior implica que se mantiene constante el nivel del agua sobre el cauce, pero a lo largo del proceso se van llenando las celdas adyacentes a las celdas de cauce, hasta que termine el tiempo de simulación, o hasta que se alcance un equilibrio entre el nivel de inundación de toda la planicie con el nivel de agua original sobre el cauce. Si se utiliza la opción del Hidrograma (la que se utilizó en el caso de Savegre), el agua que se alimenta en el modelo es la que define el hidrograma. Opcionalmente se pueden definir puntos de salida de agua, y dependiendo de éstos y sus hidrogramas de salida, así será la cantidad de agua excluida durante la simulación.

Consideración de los bordes del modelo

El modelo asume un gradiente continuo en la superficie del agua a partir de los bordes del modelo. Debido a lo anterior, el agua va saliendo del modelo de acuerdo con los volúmenes de descarga calculados. No se puede producir un amontonamiento de agua en los bordes.

Cuando la ejecución del programa está controlada por un hidrograma, el volumen de agua que sale por los bordes del modelo es registrado en un archivo aparte, de nombre igual al archivo de datos del hidrograma, pero con la extensión “.out”. El volumen en m³ representa la cantidad evacuada desde el último paso de tiempo. Si se quiere información de salida con un cierto nivel de frecuencia, a ese mismo nivel debe estar el hidrograma de insumo.

Limitaciones

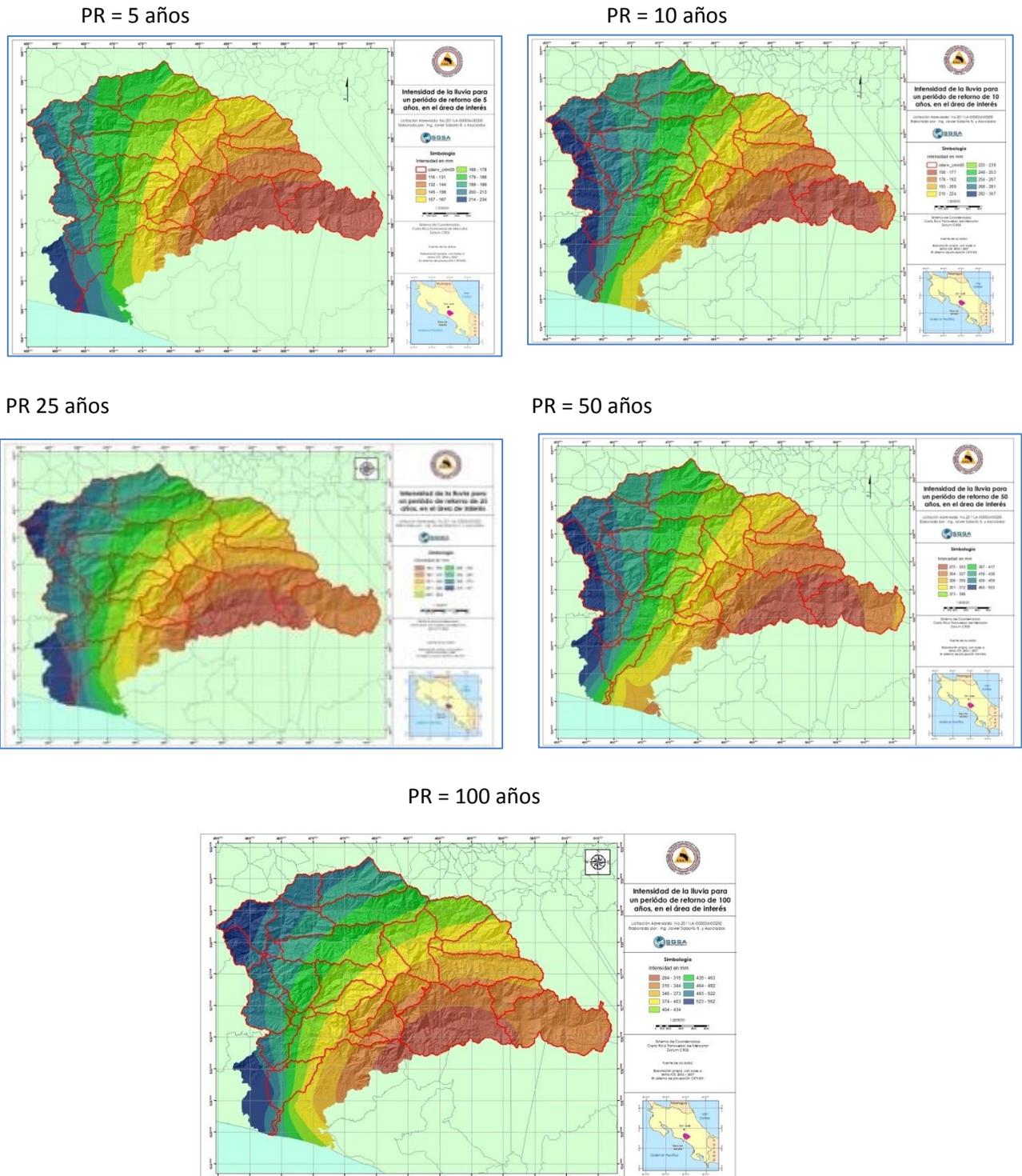
Este modelo es un modelo hidráulico bidimensional simplificado integrado en un sistema de información geográfica (Geomer, 2002). Las simplificaciones hechas afectan principalmente la hidráulica de canales abiertos, la cual puede ser descrita de forma muy general con los insumos disponibles para el proceso (la precisión se limita a la resolución que brinda el modelo de elevación en el cauce, depurado en algunas secciones transversales particulares, pero no para todo el río). Otra limitación es que los algoritmos no toman en cuenta la transferencia de impulsos, por lo tanto no se describen correctamente algunos fenómenos como el desnivel del agua en los meandros del río.

Selección del evento utilizado en la simulación

Para determinar cuál podría ser la tormenta que mejor ilustra los efectos de la inundación se procedió a estudiar el registro de las lluvias.

En la Figura A3 se muestran las tormentas para diferentes periodos de retorno: de 5, 10, 25 50 y 100 años.

Figura A3. Tormentas para diferentes periodos de retorno en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.



Rugosidad del suelo

El mapa de rugosidad del terreno es necesario para hacer el cálculo de los caudales de descarga entre celdas. Se representa por medio del coeficiente de rugosidad de Manning (n), el cual tiene reconocidas implicaciones de subjetividad. Una dificultad adicional es que el coeficiente debe estar definido en cada una de las celdas en la región de análisis. Debido a lo anterior, siguiendo las recomendaciones de los desarrolladores del modelo, la rugosidad se ha establecido a partir del uso de la tierra en cada una de las celdas, o sea, mediante una reclasificación del mapa de uso. Los valores de rugosidad asociados con los usos específicos en la región (exceptuando el cauce del río) se obtuvieron de la bibliografía, ya sea de una manera directa, si se encontraba el valor para el uso particular, o haciendo una relación con usos semejantes en el caso de categorías singulares.

En el Cuadro A1 se detallan los usos del suelo en Savegre con sus respectivos valores de rugosidad y, en donde se tenga, también se muestra el factor de Strickler

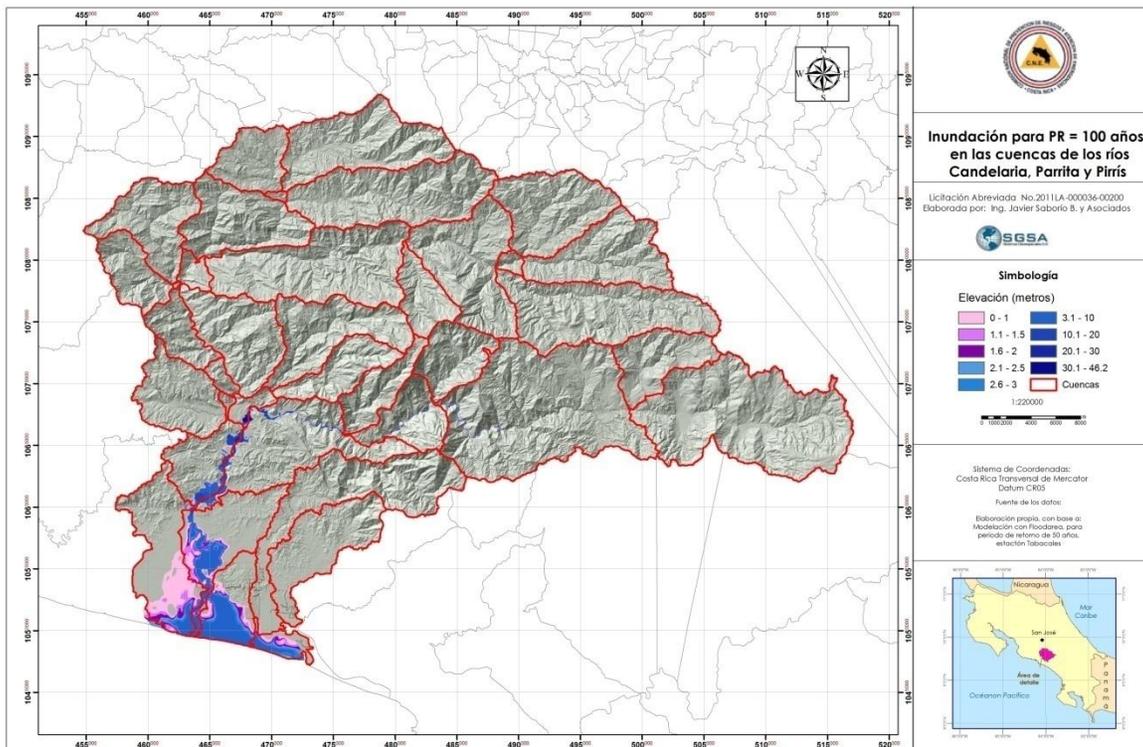
Cuadro A 1. Factor de Manning-Strickler para los usos del suelo en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís.

Valor	Uso de la tierra	Factor de Mannig n	Factor de Strickler
1	1- Cultivos anuales	0.06	16.67
2	2- Cultivos perennes	0.17	5.88
3	3- Pastos	0.15	6.67
4	4- Bosques	0.8	1.25
5	5- Charral y tacotal	0.41	2.44
6	6- Tierras misceláneas	0.04	25.00
7	7- Agua y anegados	0.04	25.00
8	8- Urbano	0.011	90.91

Valores adaptados de las tabla de factores de Manning incluidas en el manual del Delkalb County Public Work Department, y en el manual de drenaje de Sacramento City/County.

En la Figura A4 se incluye el mapa de inundaciones para un periodo de 100 años, junto con las áreas de inundación de la CNE

Figura A4. Mapa de inundaciones en las cuencas de los ríos Candelaria, Parrita y Pirrís e inundaciones de la CNE, 2011



Anexo B

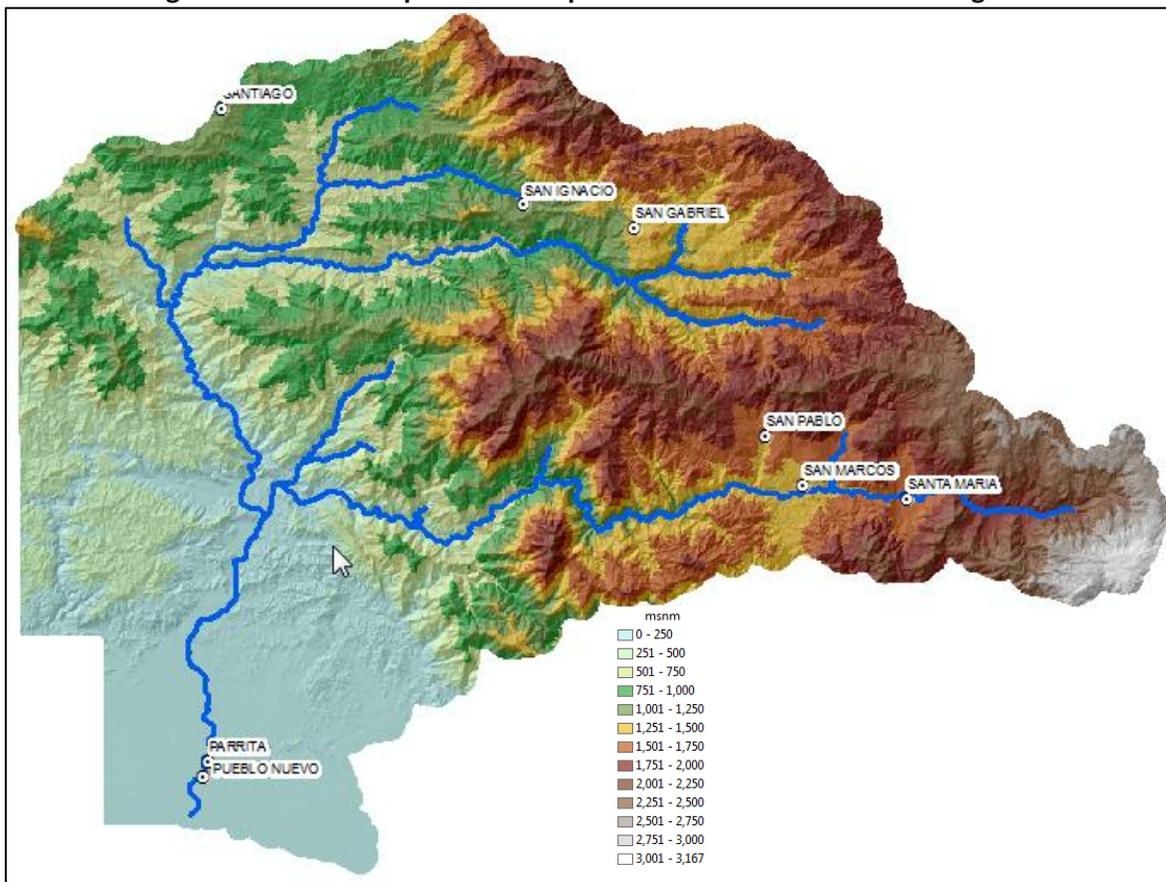
Modelación con HECHMS

1. Modelo HEC-HMS

2. Generación de Cuenca, Subcuencas y Redes de Drenaje - Modelo de elevación digital

Para poder elaborar el modelo de la cuenca fue necesario generar un Modelo de Elevación Rica a partir de los puntos provistos por el Proyecto de Catastro Naciona. Estos puntos tienen elevaciones sobre el nivel del mar de una grilla de 10 x 10 m para toda el área, por lo que se considera un modelo de buena resolución para efectos de la delimitación de la cuenca. También se contó con la red hídrica escala 1:25,000 del país en formato digital y que se elaboró con datos del proyecto TERRA. Dada la densidad tan grande de puntos fue necesario generar un modelo de elevación con un tamaño de pixel de 10 m., utilizando un algoritmo de ArcGIS llamado Topo to Raster que permite la interpolación de una superficie hidrológicamente correcta. En la Figura B1 se presenta el mapa hipsométrico creado a partir del modelo de elevación digital.

Figura B 1. Modelo hipsométrico a partir del Modelo de Elevación Digital



3. Reacondicionamiento del MED y llenado de depresiones

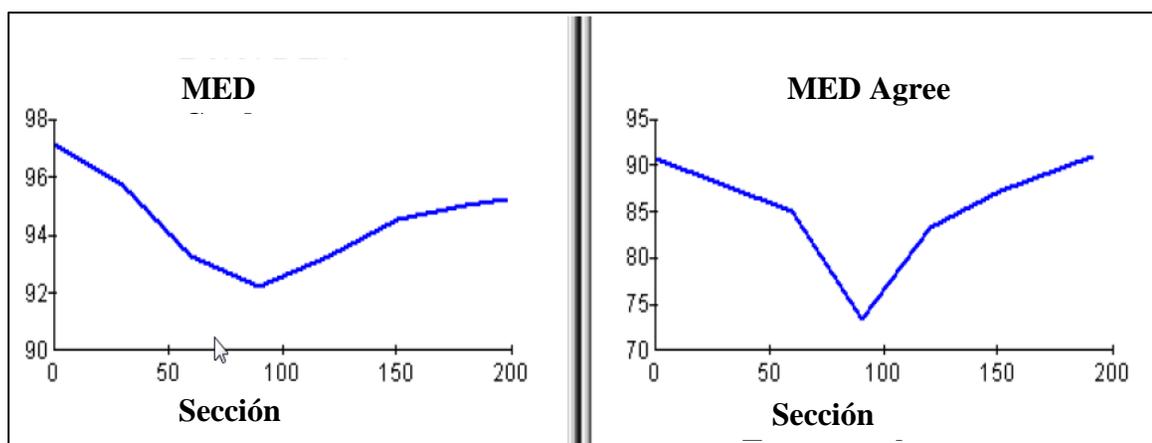
El reacondicionamiento del MED abarcó la modificación de los datos de elevación para hacerlos más consistentes con los vectores de entrada de la red de ríos. Esto implica el supuesto de que la red de ríos es más confiable que los datos del MED, por lo que es necesario usar su conocimiento acerca de la precisión y confiabilidad de la fuente de datos cuando decida si o no realiza el reacondicionamiento del MED. Cuando realiza el reacondicionamiento del MED puede incrementar el grado de coincidencia entre la red de corrientes delineada a partir del MED y los vectores de entrada de la red de ríos.

3.1 Reacondicionamiento del MED

Esta función modifica un MED superponiendo los elementos lineales (ríos) en él (quemado). Esta es una implementación del método AGREE que fue desarrollado por el Centro de Investigaciones en Recursos Hídricos de la Universidad de Texas en Austin está incluida en la extensión ArchHydro (Maidment, 2002) que se utilizó para preparar los datos para el modelo hidrológico.

Lo que hace hizo fue empujar el MED crudo a lo largo de las corrientes para crear un perfil distinto a lo largo de las mismas que de otra manera no existiría en el MED crudo. Esto es principalmente debido a la falta de elevación de los datos a lo largo de las corrientes en los MED crudos. Por ejemplo, la Figura B2 de abajo muestra cómo el perfil de la sección transversal en un punto dado cambia cuando el MED se reacondiciona.

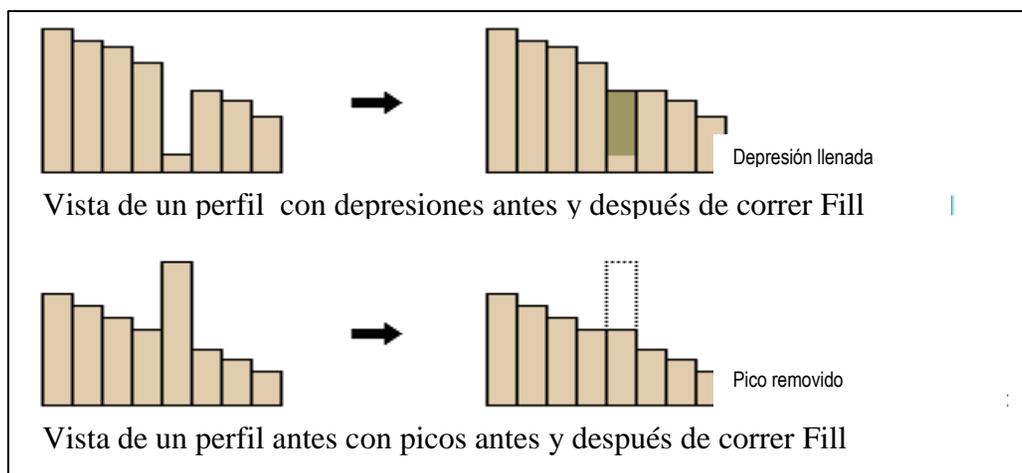
Figura B 2. Acondicionamiento del MED utilizando el método AGREE



3.1.1 Llenado de depresiones locales en el MED

Las depresiones (sinks) o los picos (peaks) son a menudo errores debido a la resolución de los datos o por el redondeo de las elevaciones al entero más cercano. Las depresiones deben ser llenadas para asegurar una apropiada delimitación de las cuencas y la red de drenaje. Si las depresiones no se llenan, la red de drenaje derivada puede presentar discontinuidades. En la Figura B3 se muestra la forma como es corregido el MED utilizando el algoritmo Fill Sinks de ArcHydro.

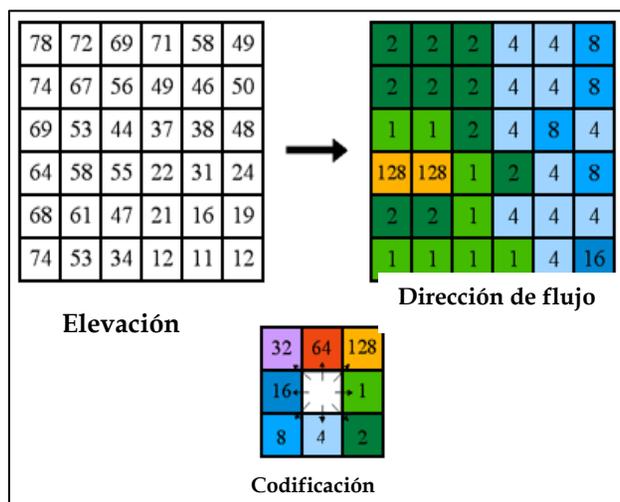
Figura B 3. Llenado de depresiones locales



3.1.2 Generación de grid de dirección de flujo

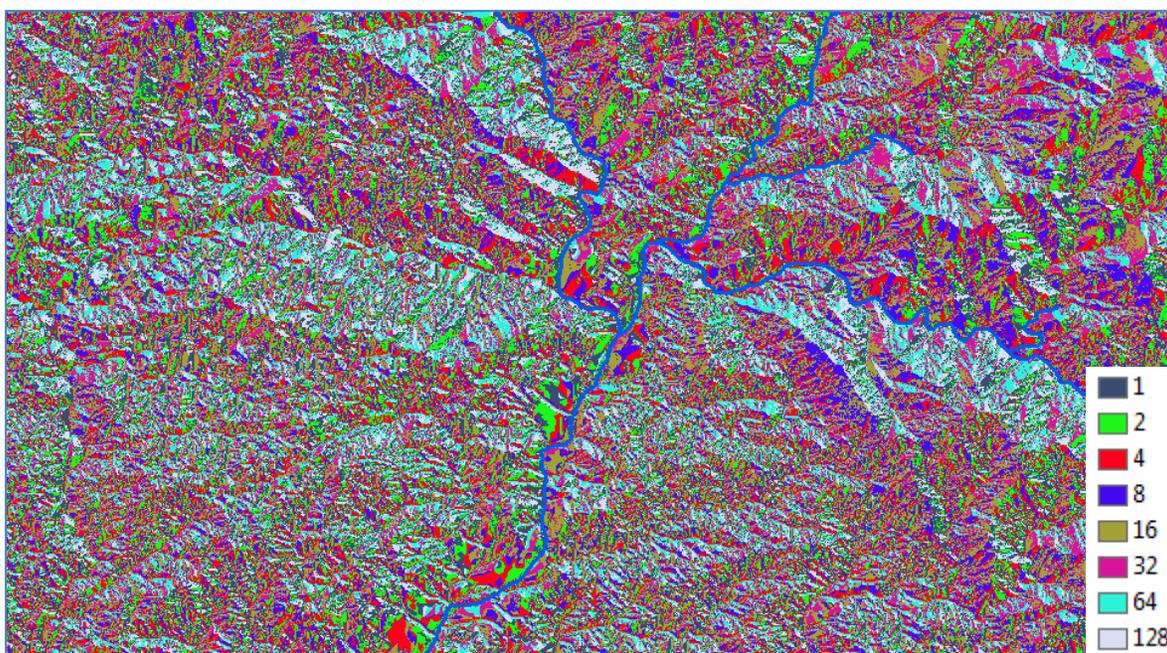
Se generó un grid en donde el valor del pixel indica la dirección hacia donde fluye el agua de una celda a otra, generalmente la dirección de mayor gradiente de altura. Los pixeles del MED son codificados de acuerdo a la dirección hacia la que fluye el agua dependiendo del gradiente que determina la pendiente. La Figura B4 presenta un ejemplo del cálculo efectuado.

Figura B 4. Cálculo de la dirección de flujo.



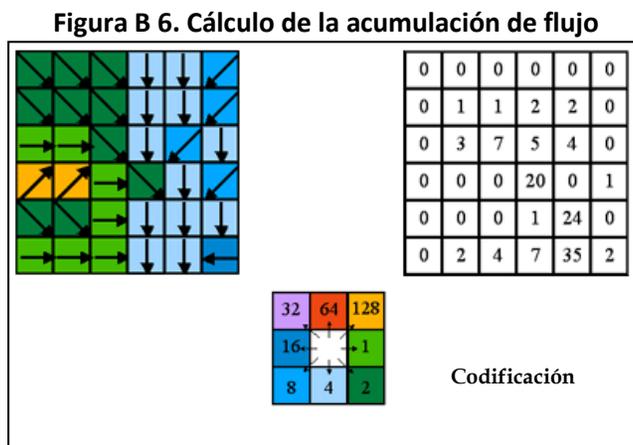
En la Figura B5 se presenta una sección del mapa dirección de flujo para la cuenca del Río Parrita.

Figura B 5. Acumulación de flujo cerca de la confluencia del Río Pirrís y Grande de Candelaria y sus respectivos códigos.



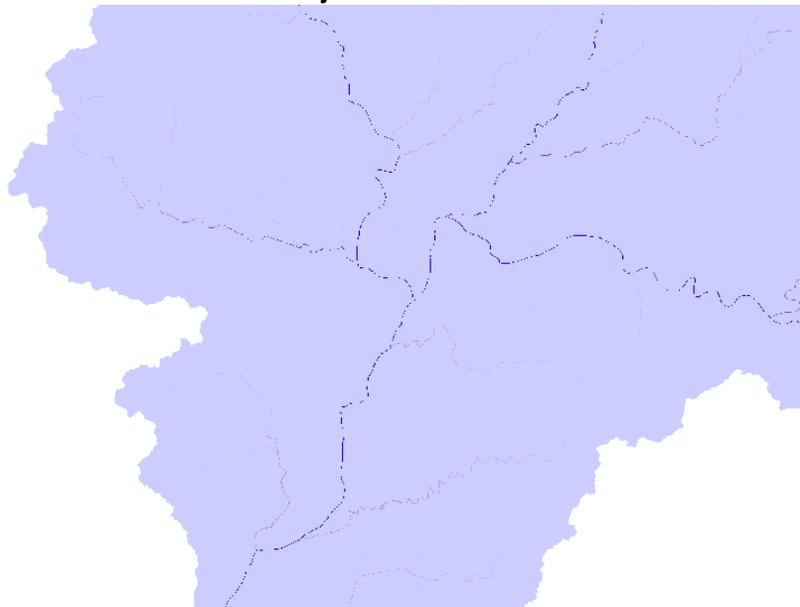
3.1.3 Generación de grid de acumulación de flujo

La acumulación de flujo calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen hacia cada celda aguas abajo en el raster de salida. Si no se provee de un raster de pesos, el peso se considera 1 y el valor de las celdas en el raster de salida será el número de celdas que fluyen hacia cada celda. En la Figura B6 se presenta una sección del resultado de la aplicación de la acumulación de flujo en la cuenca del Río Parrita.



En la Figura B.7 se presenta una sección del mapa acumulación de flujo para la cuenca del Río Parrita.

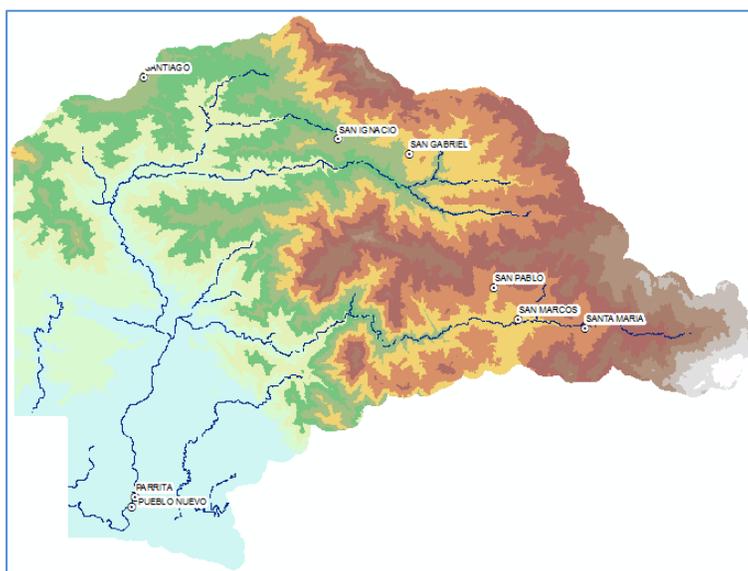
Figura B 7. Acumulación de flujo en una sección de la cuenca del Río Parrita



3.1.4 Definición de la red de drenaje

Aunque la hidrografía de la cuenca ya está definida en la cartografía 1:25,000, para efectos de la modelación hidrológica es necesario generar la llamada red de drenaje. La red de drenaje se define como aquellas celdas que reciben una cantidad de agua de celdas aguas arriba igual a umbral definido por el usuario. Este umbral define al mismo tiempo del área que tendrán las subcuencas y/o microcuencas en que quedará delimitada el área de estudio. En el caso de la cuenca del Río Parrita se fijó un umbral de 12 km² o sea 120,000 celdas para evitar que el programa genere una red de drenaje demasiado densa, ya que no se quiere modelar más que solamente las corrientes principales. En la Figura B8 se muestra el resultado de la aplicación de este algoritmo. Este proceso es de prueba y error hasta que a criterio del modelador la red de drenaje satisfaga las condiciones que se requieren para el trabajo.

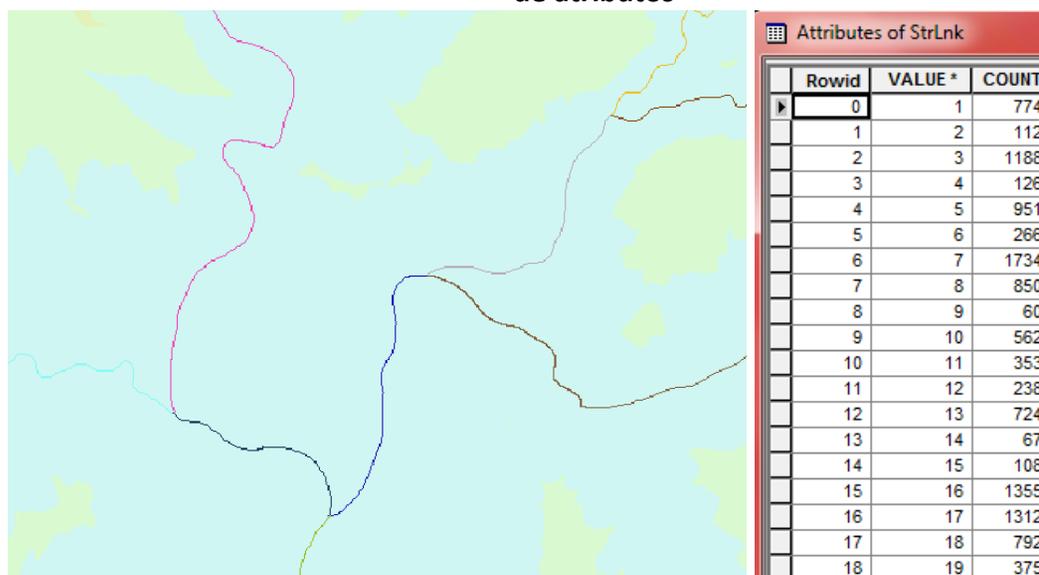
Figura B 8. Definición de la red de drenaje de la cuenca del Río Parrita (GRID)



3.1.5 Segmentación de Corrientes

Esta función crea un grid de segmentos de corriente que tienen un identificador único. Puede ser un segmento de cabecera o bien un segmento entre dos confluencias. Todas las celdas en un segmento tienen el mismo código de identificación que es específico de este segmento. En la Figura B9 se muestran un sector de la cuenca con los resultados de la segmentación de las corrientes con su respectiva tabla de atributos (33 segmentos).

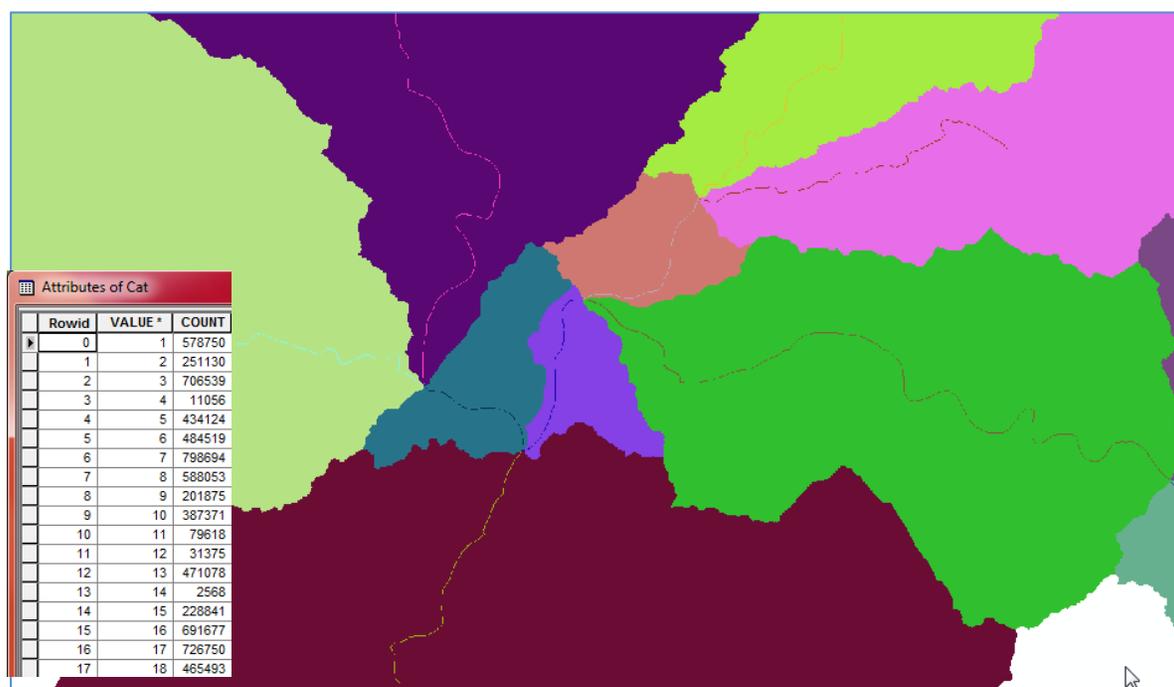
Figura B 9. Segmentación de corrientes de la Cuenca del Río Parrita y su respectiva tabla de atributos



3.1.6 Delineación del Grid de Subcuencas

Esta función crea un grid en el cual cada celda toma un valor (grid code) indicando a cual subcuenca pertenece la celda. El valor corresponde al valor que tiene el segmento de corriente que drena esa área, definida por el grid de segmentos de corrientes. En la figura B.10 se muestra el resultado de este algoritmo para un sector de la cuenca con su respectiva tabla de atributos. Debe notarse que cada segmento genera una subcuenca. Este paso es importante para la modelación hidrológica, pues tiene que existir una congruencia entre el tramo del río y la cuenca a la que pertenece.

Figura B 10. Grid de subcuencas con su respectiva tabla de atributos. Los valores (value) de esta tabla coinciden con los valores (value) en la tabla de los tramos de los ríos.

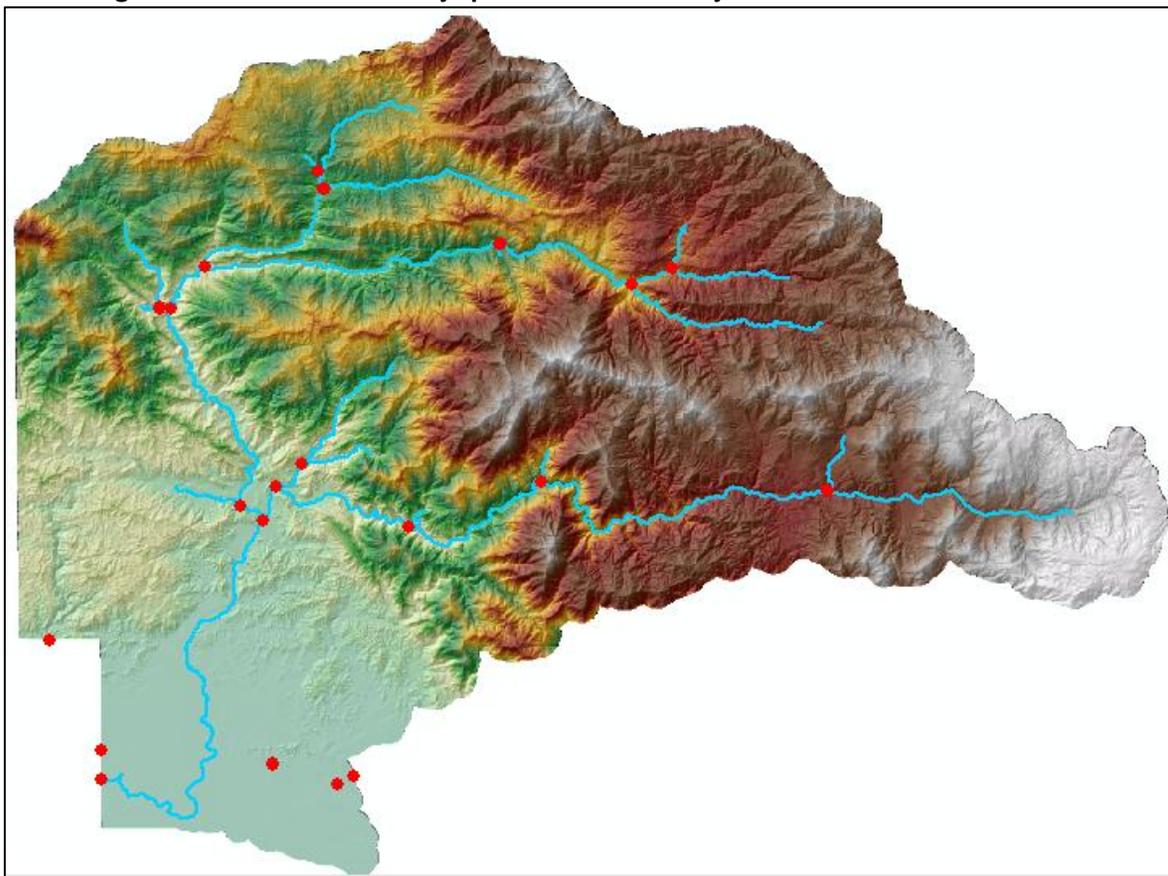


3.1.7 Procesamiento de polígonos de Subcuencas

Las tres funciones: Catchment Polygon Processing, Drainage Line Processing y Adjoint Catchment Processing, convierten los datos raster que se generaron a formato vectorial. Los datos vectoriales se guardan en un set de elementos dentro de una geobase de datos y que se utilizará más tarde con para la elaboración del modelo de cuenca. Las figuras de este resultado no se muestran pues son idénticas a las ya mostrados con la diferencia que las tablas muestran como adición el área de las subcuencas y las longitudes de los tramos de corriente, respectivamente. La capa resultante del Adjoint Catchment Processing es una capa que el algoritmo de delimitación de la cuenca de drenaje total utiliza para construirla y no tiene ninguna utilidad dentro del modelo.

3.1.8 Procesamiento de puntos de drenaje

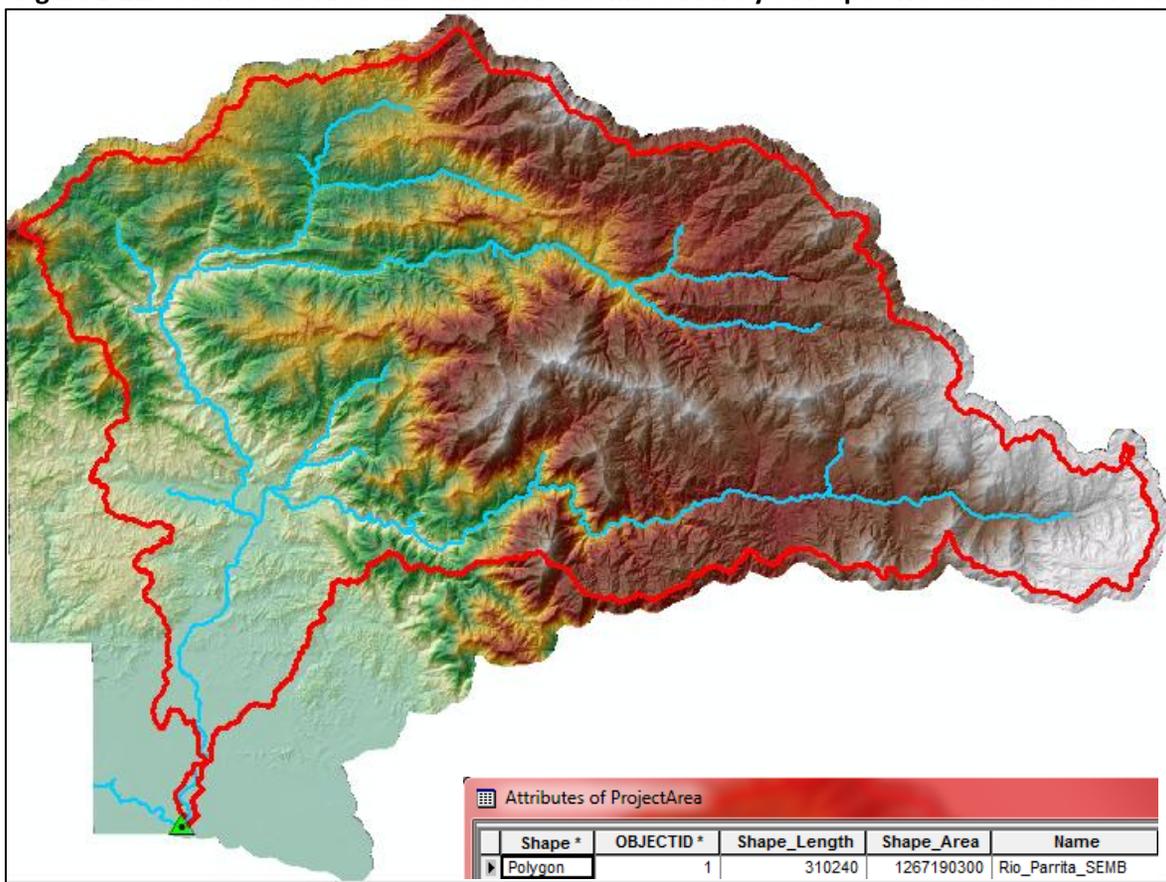
Esta función permite generar puntos de drenaje asociados con cuencas individuales. Es decir, a cada subcuenca generada se le asigna un punto de salida. En la Figura B11 se muestran los puntos de drenaje para la red de drenaje generada en el acápite anterior.

Figura B 11. Puntos de drenaje para la red de drenaje de la cuenca del Río Parrita.

3.1.9 Delineación de la subcuenca al punto de salida

Esta función delinea la cuenca aguas arriba de cada punto almacenado en un feature class de puntos por lotes. La herramienta Batch Point Generation (Generación de puntos por lotes) de ArcHydro se utiliza para crear de manera interactiva el feature class de puntos por lotes. Usaremos esta herramienta para localizar la salida de la cuenca del Río Parrita y trazar la cuenca completa sin divisiones de subcuencas. En la Figura B12 se muestra la cuenca del Río Parrita trazada hasta la desembocadura. Es de hacer notar que la utilización de diferentes modelos de elevación digital o de diferentes metodologías, puede arrojar resultados distintos en cuanto a la forma de la cuenca, principalmente en la parte baja donde es más difícil por lo plano de la topografía poder establecer con precisión la posición de parte aguas. Además, las actividades agrícolas y la construcción de caminos puede alterar también de manera significativa la forma de la cuenca en estas áreas.

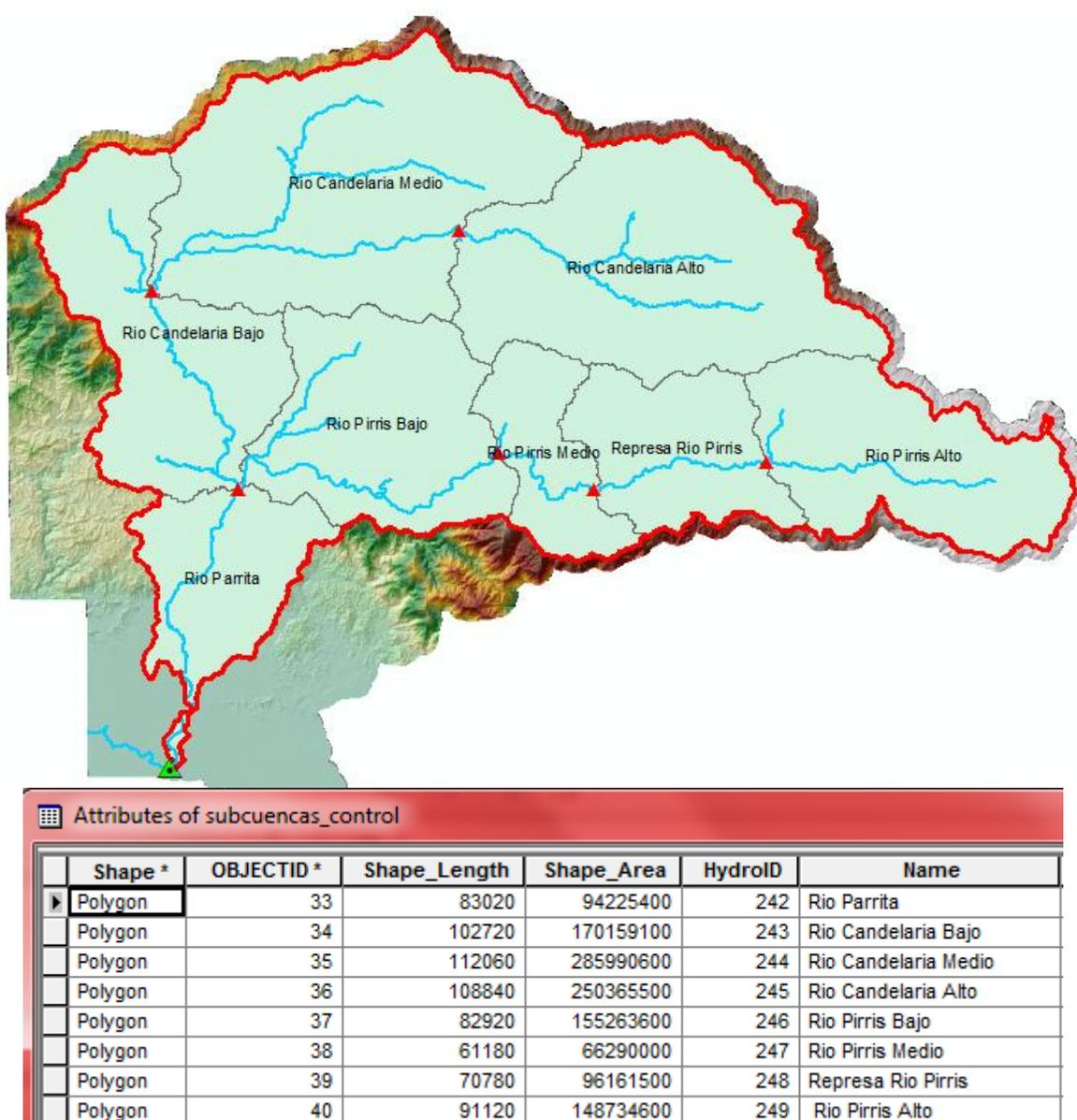
Figura B 12. Cuenca del Río Parrita hasta la desembocadura y su respectiva tabla de atributos.



3.1.10 Delineación de la subcuencas a puntos seleccionados

En el proceso de modelación, entre más subcuencas se tengan el trabajo se torna más laborioso pues hay que recolectar parámetros para alimentar el modelo para cada una de ellas. Es por eso que se prefiere tener un número manejable de subcuencas, que además tengan un interés real (a veces no es necesario modelar hasta la quebrada más insignificante). Es por esa razón que en este trabajo se prefirió simplificar de 31 subcuencas que se generaron de manera automática a únicamente a únicamente 7 (figura B.13). Aunque la parte media del Río Pirrís tiene marcado un punto en el lugar donde se encuentra el embalse del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, hasta este punto del informe no se tienen tormentas e hidrogramas registrados que hayan sido proporcionadas por el ICE donde se pueda modelar el efecto que tiene el embalse en la regulación de los caudales aguas abajo del proyecto. Por esta razón y para efectos de lo que se cubre hasta este informe, esas dos subcuencas fueron fusionadas en una sola que se llamó Pirrís medio.

Figura B 13. División final de subcuencas para la modelación hidrológica del Río Pirrís- Parrita y Candelaria



3.1.12 Utilización de HEC-GeoHMS para la generación del modelo de cuenca

Como se apuntó anteriormente, el modelo HEC-HMS requiere de una total congruencia entre los identificadores de las subcuencas, tramos de ríos, confluencias y puntos de salida de las subcuencas. Esta tarea puede hacerse manual, pero lograrlo sin cometer errores es a veces bastante difícil. Es por esa razón que se optó por utilizar la aplicación HEC-GeoHMS.

En este caso no vamos a entrar en detalle de lo que se realizó, pero se listará de manera general el procedimiento seguido:

- **Unión y fusión de subcuencas:** Como se apuntó anteriormente hubo necesidad de fusionar la subcuenca media del río Pirrís, por lo que el número de subcuencas finales modeladas es de siete.
- **Unión y fusión de la red hídrica:** En el proceso automatizado de generación de la red hídrica, siempre se generan pequeños segmentos de río con longitudes de unos pocos metros. Estos segmentos si se dejan en la red, son también modelados y pueden causar pérdida de tiempo en el corrido del modelo y también pérdida de tiempo en la introducción de sus parámetros. Es por esta razón que HEC-GeoHMS provee de herramientas para eliminar estos segmentos y fusionar los segmentos que quedan. Cada segmento de río modelado tiene que constar de una línea única sin nodos intermedios, lo que se logra fusionando las líneas que quedan separadas al eliminar los pequeños segmentos de red hídrica indeseables.

4. Generación del modelo del Cuenca para HEC-HMS

Una vez que se tienen las cuencas, subcuencas y segmentos de la red hídrica a utilizar en la modelación hidrológica, se procedió a generar el modelo de cuenca para ser exportado al modelo HEC-HMS. Esta parte también se hace con la extensión HEC-GeoHMS que calcula algunos de los parámetros necesarios para alimentar del modelo de una manera automática. A continuación se detalla el procedimiento y sus resultados.

4.1 Características de las subcuencas y de las corrientes

HEC-GeoHMS calcula varias características topográficas de las corrientes y las subcuencas que pueden ser utilizadas para estimar los parámetros hidrológicos. La información de las características físicas se guarda en tablas de atributos, que pueden ser exportadas a una hoja electrónica y a otros programas. Estas herramientas se encuentran en el menú **Basin Characteristics** del menú de **HEC-GeoHMS**.

4.1.1 Longitud de las corrientes

En este paso se calculó la longitud de los ríos en metros para todos los tramos en la capa de ríos. Un campo llamado RivLen se adiciona a la capa de atributos de los ríos y luego se añaden los valores. Las unidades de esta columna son tomadas de las unidades del MED (metros). El Cuadro B.1 muestra los resultados para cada uno de los segmentos considerados.

Cuadro B 1. Longitud de los segmentos de ríos

Name	Description	RivLen_HMS
R40	Rio Jorco	13626.76803
R60	Rio Jorco	11013.595231
R70	Rio Alumbre	3046.076477
R80	Rio Candelaria	19812.854967
R90	Rio Santa Elena	8386.158364
R100	Rio Santa Elena	2761.076477
R110	Rio Candelaria	10053.300859
R140	Rio Candelaria	4238.305192
R160	Rio Tarrazu	15326.545084
R170	Rio Tiquires	9217.346315
R180	Rio Parrilla	4836.675683
R190	Quebrada Delicia	2178.086579
R200	Rio Parrilla	2379.949494
R210	Rio Parrilla Chiquit	4399.102089
R240	Rio Pirris	16798.443712
R260	Rio Parrita	2389.238816
R270	Rio Parrita	10691.930009
R280	Rio La Dicha	2300.09668
R290	Rio Pirris	23437.139956
R300	Rio Pirris	10914.427843
R310	Rio Parrita	22721.256839
R130	Rio Quivel	769.411255
R250	Rio Candelaria	1816.101731
R30	Rio Tabarcia	1458.82251

4.1.2 Pendiente del cauce de los ríos

En este paso se extrajeron la elevación aguas arriba y aguas abajo de los tramos de los ríos a partir del MED y se calculó la pendiente. La elevación aguas arriba, aguas abajo y la pendiente se adicionan a la capa de ríos en las columnas **ElevUP**, **ElevDS** y **Slp**. El cuadro B.2 muestra los resultados obtenidos para cada uno de los tramos considerados.

Cuadro B 2. Pendiente (Slp), elevación aguas arriba (ElevUP) y aguas abajo (ElevDS) de los segmentos de ríos

Name	Description	Slp	ElevUP	ElevDS
R40	Rio Jorco	0.0366	974.7116	475.0410
R60	Rio Jorco	0.0223	475.0410	229.3002
R70	Rio Alumbre	0.0402	1236.021	1113.316
R80	Rio Candelaria	0.0195	617.4938	229.3002
R90	Rio Santa Elena	0.0249	1322.545	1113.316
R100	Rio Santa Elena	0.0601	1113.316	947.2808
R110	Rio Candelaria	0.0328	947.2808	617.4938
R140	Rio Candelaria	0.0118	229.3002	179.1599
R160	Rio Tarrazu	0.0395	1554.189	947.2808
R170	Rio Tiquires	0.0522	609.9691	128.6753
R180	Rio Parrilla	0.0494	367.8217	128.6753
R190	Quebrada Delicia	0.3107	983.8870	307.1469
R200	Rio Parrilla	0.0331	128.6753	49.79324
R210	Rio Parrilla Chiquit	0.0470	1613.080	1406.088
R240	Rio Pirris	0.0400	2078.943	1406.088
R260	Rio Parrita	0.002	49.79324	49.79324
R270	Rio Parrita	0.0061	115.7131	49.79324
R280	Rio La Dicha	0.1211	394.3223	115.7131
R290	Rio Pirris	0.0468	1406.088	307.1469
R300	Rio Pirris	0.0175	307.1469	115.7131
R310	Rio Parrita	0.0021	49.79324	0.85
R130	Rio Quivel	0.0011	187.4776	179.1599
R250	Rio Candelaria	0.0003	56.80325	49.79324
R30	Rio Tabarcia	0.0057	534.9763	475.0410

4.1.3 Pendiente de las subcuencas

Esta función calcula la pendiente promedio de las cuencas. Esta fue utilizada para el cálculo del parámetro del tiempo de retardo del Número de Curva. La pendiente de la cuenca se determina haciendo un promedio de la pendiente de todas las celdas dentro de cada subcuenca y está expresada en porcentaje. El Cuadro B3 muestra los resultados de este proceso.

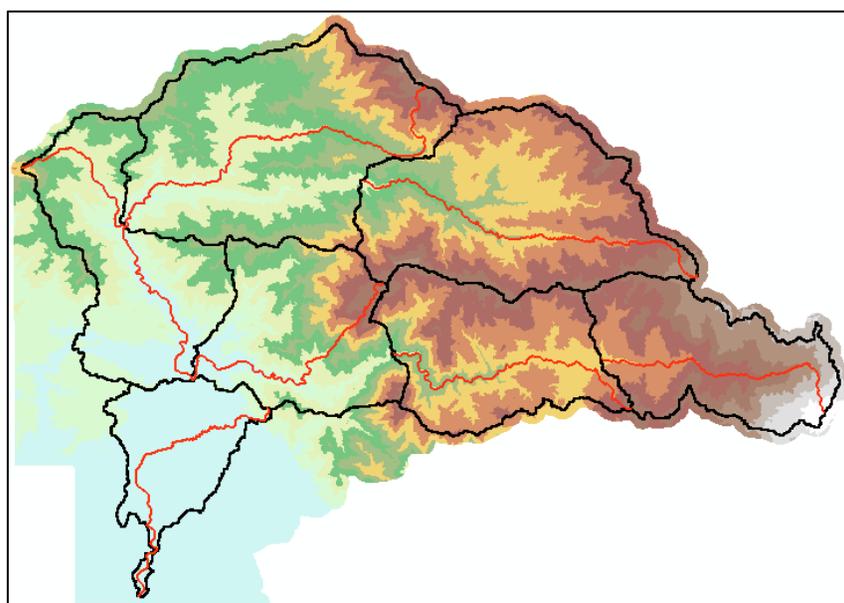
Cuadro B 3. Pendiente promedio de cada una de las subcuencas modeladas.

Name	BasinSlope
Candelaria Medio	46.635963
Candelaria Bajo	43.013691
Candelaria Alto	47.194355
Pirris Alto	38.006893
Pirris Bajo	58.358276
Pirris Medio	57.572792
Parrita Bajo	20.431036

4.1.4 Ruta de flujo más larga

Esta función calcula la ruta de flujo más larga en metros que seguiría una gota de agua que caiga dentro de una subcuenca. Este parámetro se utiliza también en el cálculo del tiempo de concentración del flujo para cada una de las subcuencas modeladas. La Figura B14 muestra el resultado de este proceso y su respectiva tabla de atributos.

Figura B 14. Ruta de flujo más larga para cada una de las subcuencas modeladas

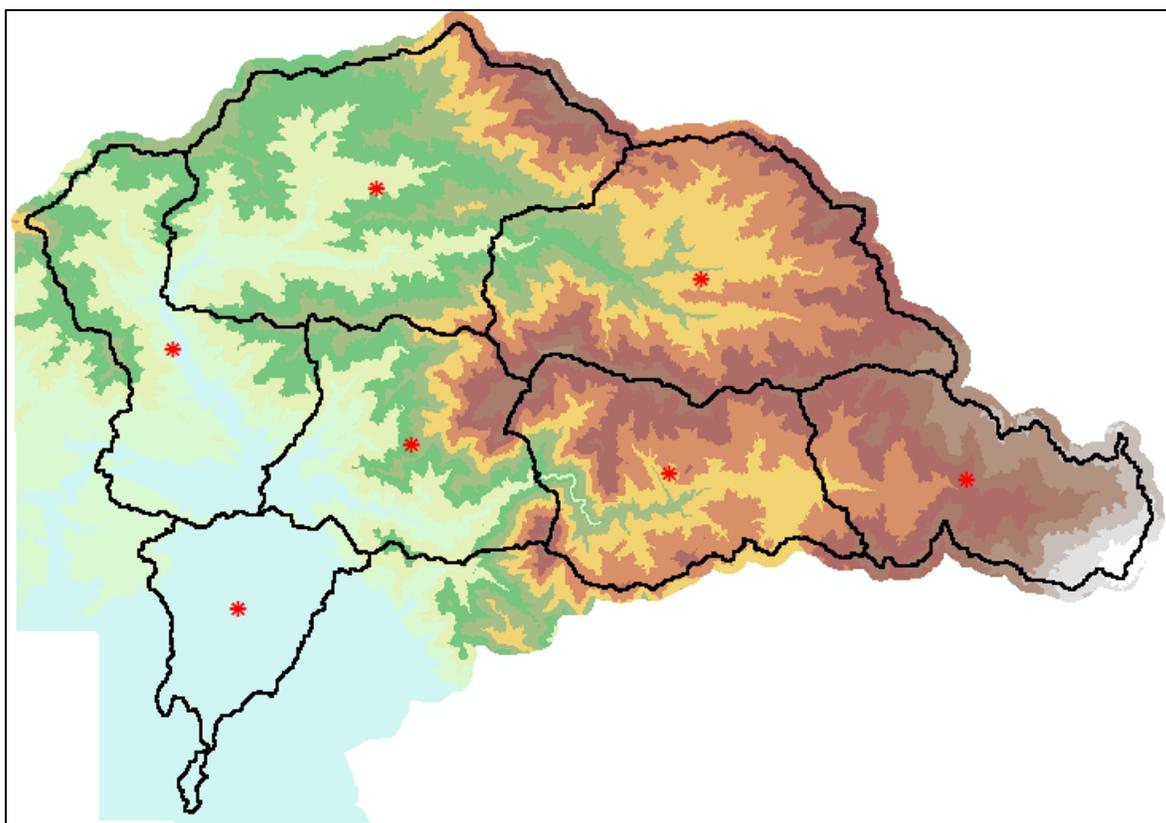


Name	LongestFL_HMS
Candelaria Medio	39611.847379
Candelaria Bajo	32186.262966
Candelaria Alto	36610.426022
Pirris Alto	26906.586925
Pirris Bajo	30454.73447
Pirris Medio	28309.795437
Parrita Bajo	24476.698398

4.1.5 Centroide de las subcuencas y su elevación

Esta función calcula la ubicación del centro de gravedad de cada una de las subcuencas modeladas. El centro de gravedad es importante pues algunos parámetros que no son distribuidos en el modelo, se asignan como que ocurrieran en el centroide del área definida por cada subcuenca. En la Figura B15 se observa el resultado de este proceso con su respectiva tabla de atributos.

Figura B 15. Ubicación y elevación del centroide de las subcuencas modeladas.

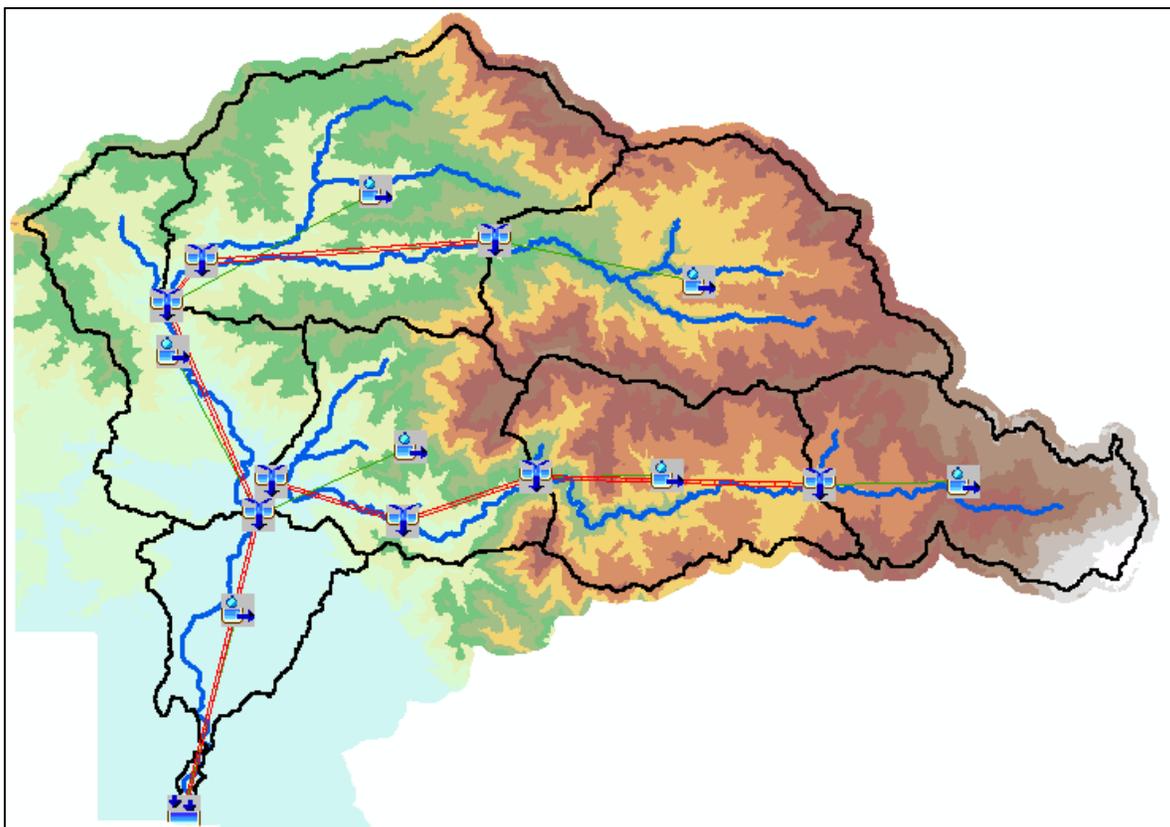


Name	Elevation
Magdalena Medio	648.313965
Magdalena Bajo	307.944702
Magdalena Alto	1304.748413
Pirris Alto	1965.934326
Pirris Bajo	1003.111023
Pirris Medio	1390.841553
Parrita Bajo	45.500786

4.1.6 Generación del modelo de cuenca para la modelación

Como último paso en la utilización de la extensión HEC-GeoHMS se exportó el modelo de cuenca para ser utilizado dentro del modelo HEC-HMS. En la figura B.16 se muestra el resultado de la exportación del modelo y la explicación de los íconos que se utilizan.

Figura B 16 Modelo de cuenca para exportar a HEC-HMS



La siguiente descripción da una información breve de cada símbolo que se utiliza para representar los elementos hidrológicos.



Subcuenca (basin): Se utiliza para calcular la precipitación-escorrentía en una subcuenca.



Tramo (reach): Usado para transitar el flujo aguas abajo en el modelo de la cuenca.



Embalse (Reservoir): Utilizado para modelar la detención y atenuación de un hidrograma causado por un embalse o una laguna de detención.



Confluencia o Unión (Junction): Utilizado para combinar los flujos desde los tramos aguas arriba y las subcuencas.



Derivación (Diversion): Utilizado para modelar la sustracción de flujo del canal principal.



Fuente (Source): Utilizado para introducir flujo dentro del modelo de la cuenca (por ejemplo, canales que traen agua de afuera de la cuenca). La fuente no tiene flujo de entrada.



Sumidero (Sink): Utilizado para representar la salida física de la cuenca. El sumidero no tiene flujo de salida.

4.2 Generación del Número de Curva para las subcuencas a modelar

La principal aplicación del Número de Curva (CN) (USDA, 1986) es la estimación de las cantidades de escurrimiento tanto en el estudio de avenidas máximas, como en el caso del cálculo de aportaciones líquidas. El nombre del método deriva de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el número N, que varía de 1 a 100. Un número de curva N = 100, indica que toda la lluvia escurre, y un número N = 1, indica que toda la lluvia se infiltra; por lo que los números de curvas, representan coeficientes de escorrentía.

El **SCS** (Servicio de Conservación de Suelos de los EEUU) presenta en el Cuadro B4, la cual permite determinar el número de curva N para diferentes prácticas agrícolas, diferentes condiciones hidrológicas y grupo hidrológico de suelos. El cuadro 4 fue elaborada para una relación $Ia = 0.2 S$ y para una condición de humedad antecedente promedio (**CHA II**).

Ia representa las abstracciones iniciales, es decir la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y es una función de la interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía. **S** representa la infiltración máxima potencial.

CHA (Condición de Humedad Antecedente) es la condición o estado de humedad que tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca; determinado por la lluvia total en el período de 5 días anterior a la tormenta.

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los EEUU usa tres intervalos de CHA:

- ✓ **CHA-I**, es el límite inferior de humedad o el límite superior de S. Hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado o cultivos.

- ✓ **CHA-II**, es el promedio para el cual el SCS preparó el Cuadro B4.
- ✓ **CHA-III**, es el límite superior de humedad o el límite inferior de S. Hay máximo potencia de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

El SCS presenta el Cuadro B5, para estimar CHA considerando el antecedente de 5 días de lluvia, el cual es simplemente la suma de la lluvia, de los 5 días anteriores al día considerado.

Cuadro B 4. Número de curva N para complejos hidrológicos de suelo cobertura (para condición de humedad antecedente II e $I_a = 0.2S$)

Cobertura			Número de Curva			
Uso de la tierra	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	(Grupo Hidrológico)			
			A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	---	77	86	91	94
	Surcos rectos	pobre	72	81	88	91
Cultivos	Surcos rectos	buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	buena	65	75	82	86
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	66	74	80	82
	Curv de nivel y en terrazas	buena	62	71	78	81
	Surcos rectos	pobre	65	76	84	88
Pequeños granos	Surcos rectos	buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	buena	61	73	81	84
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	61	72	79	82
	Curv de nivel y en terrazas	buena	59	70	78	81
	Surcos rectos	pobre	66	77	85	89
Sembrios cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	buena	55	69	78	83
	Curv de nivel y en terrazas	pobre	63	73	80	83
	Curv de nivel y en terrazas	buena	51	67	76	80
	Curvas de nivel	pobre	68	79	86	89
Pastizales o similares	Curvas de nivel	regular	49	69	79	84
	Curvas de nivel	buena	39	61	74	80
	Curvas de nivel	pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	buena	6	35	70	79
	Pradera	buena	30	58	71	78
Bosques	Curvas de nivel	pobre	45	66	77	83
	Curvas de nivel	regular	36	60	73	79
	Curvas de nivel	buena	25	55	70	77
	Curvas de nivel	buena	25	55	70	77
Patios	---	59	74	82	86	
Camino, incluyendo derecho de vía	Cieno	---	72	82	87	89
	Superficie firme	---	74	84	90	92

Fuente: USDA, 1986

Cuadro B 5. Condiciones de humedad antecedente (SCS)

Condición de humedad antecedente (CHA)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)	
	Estación seca	Estación de crecimiento
I (seca)	menor de 1.3	menor de 3.5
II (media)	1.3 a 2.5	3.5 a 5
III (húmeda)	más de 2.5	más de 5

Fuente: USDA, 1986

La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, esto se encuentra en función de la cobertura vegetal, puede aproximarse según se muestra en el cuadro 6:

Cuadro B 6. Condición hidrológica en función de la cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
> 75 % del área	buena
entre 50% y 75% del área	regular
< 50 % del área	pobre

Fuente: USDA, 1986

El **Grupo hidrológico de suelo** define los grupos de suelos, los cuales pueden ser:

Grupo A, tiene bajo potencial de escorrentía

Grupo B, tiene un moderado bajo potencial de escorrentía

Grupo C, tiene un moderado alto potencial de escorrentía

Grupo D, tiene un alto potencial de escorrentía

Una descripción detallada para definir el grupo hidrológico de suelo se muestra en el Cuadro B7.

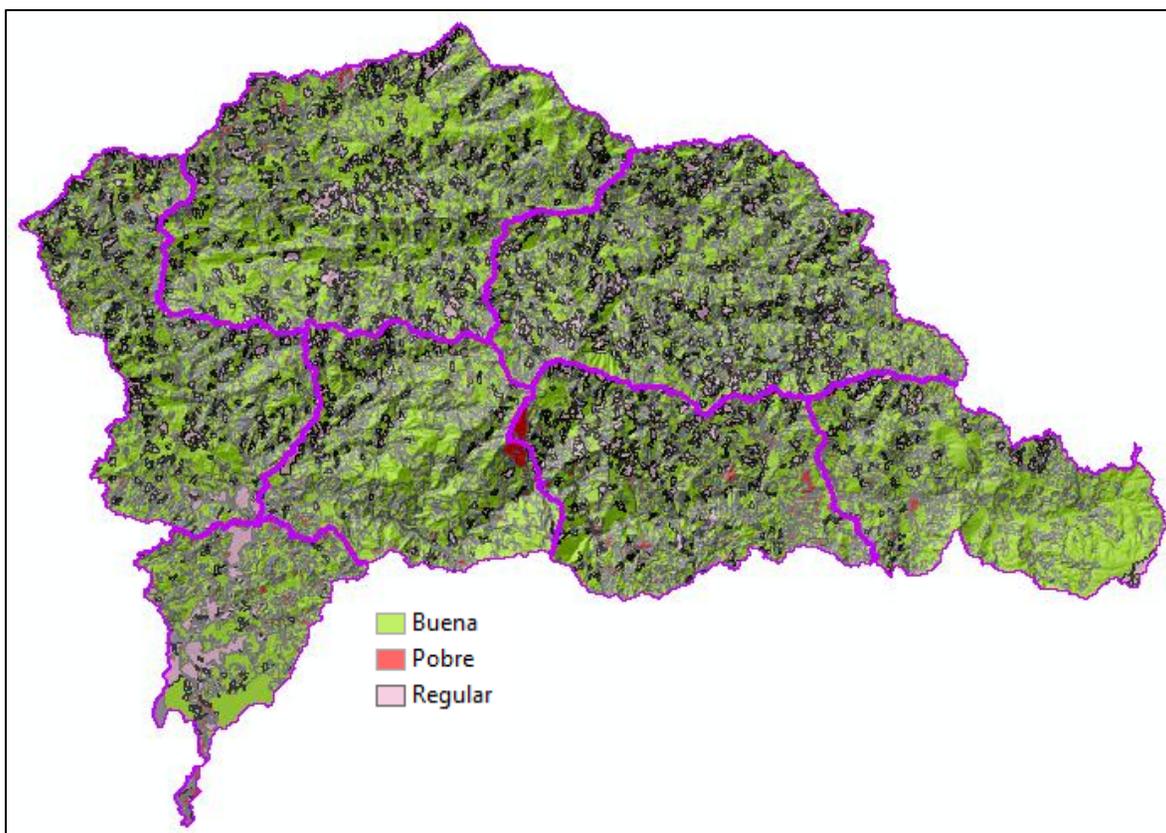
Cuadro B 7. Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo de suelos	Descripción
A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aún cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión del agua.
C	Son suelos que tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelos con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Fuente: USDA, 1986

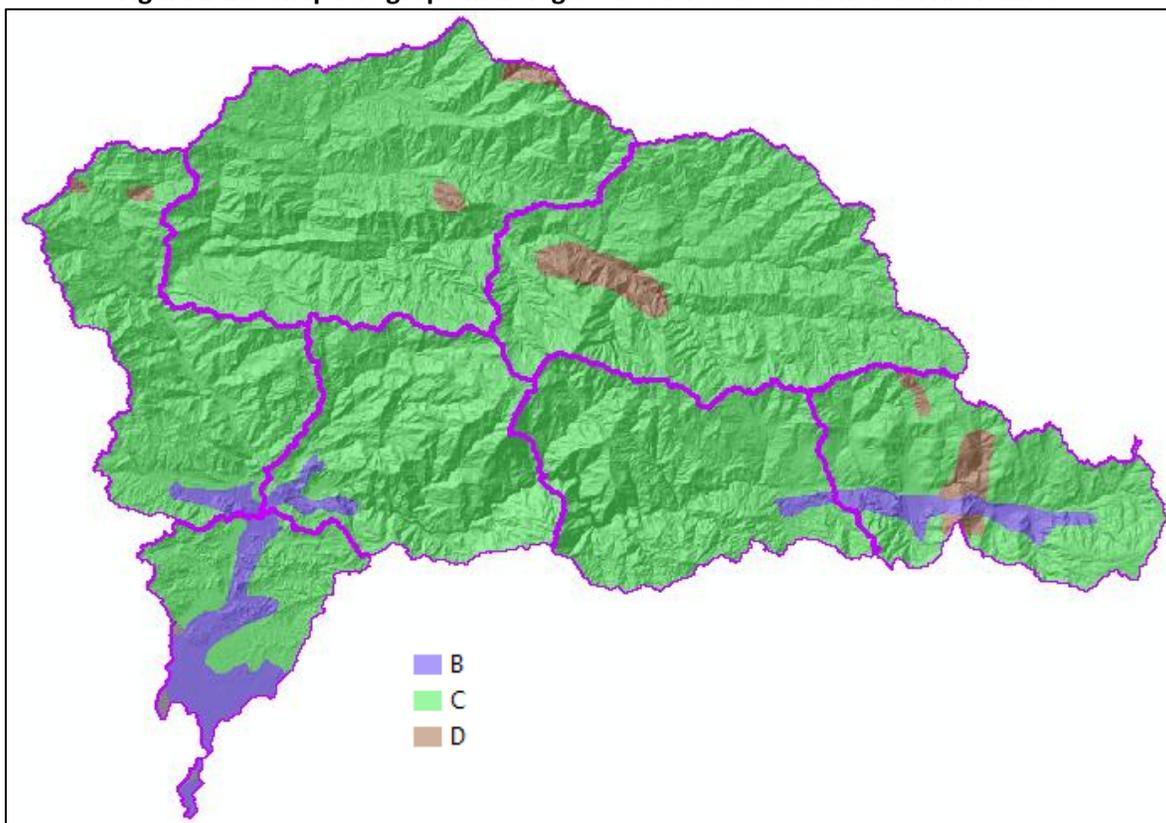
Para elaborar el mapa de NC de la cuenca del río Parrita se utilizó el mapa de cobertura del suelo del año 2005 y el mapa hidrogeológico de Costa Rica, provenientes del Atlas Digital de Costa Rica (ITCR, 1988). Estos mapas se reclasificaron para adaptarlos a las categorías descritas en los cuadros anteriores. En la figura B.17 se muestra el mapa de la condición hidrológica para la cuenca del Río Pirrís en el cual se puede observar que aproximadamente el 85% de la cuenca tiene una condición hidrológica buena, 3% en condición hidrológica pobre y el 12% restante en condición hidrológica regular, lo que demuestra que es una cuenca que aún conserva una densidad de cobertura aceptable que promueve los procesos de infiltración de agua en el suelo.

Figura B 17. Mapa de condición hidrológica de la cuenca del Río Pirrís.



En la Figura B18 se muestra la distribución del grupo hidrológico de suelos de la cuenca del Río Parrita. Puede notarse que la mayor parte de los suelos (92%) pertenecen al grupo hidrológico C, que son suelos con bajas tasas de infiltración principalmente cuando se encuentran saturados. Esta condición hace que se acreciente el riesgo de una alta escorrentía cuando se dan fenómenos de lluvia que duran varias horas e incluso días. El 5% de los suelos están constituidos por el grupo hidrológico B, que son suelos que tienen una mejor tasa de infiltración, y por último el 3% de los suelos está constituido por suelos del grupo D asociados a suelos con mal drenaje, principalmente de texturas finas.

Figura B 18. Mapa de grupo hidrológico de suelos de la Cuenca del Río Parrita



Una vez elaborados los mapas de condición hidrológica, grupo hidrológico y cobertura se procedió a combinarlos numéricamente mediante una codificación única y establecer según las tablas los valores de NC que correspondían a cada combinación matemática. El Cuadro B8 muestra los valores de NC para las diferentes combinaciones de CH, GH y Cobertura.

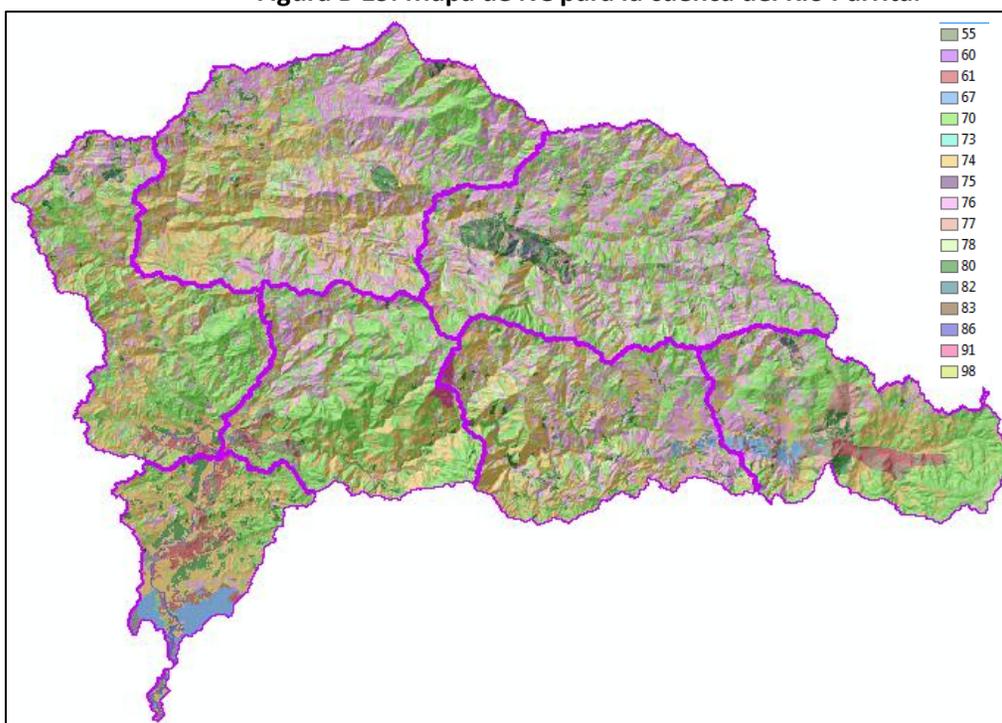
Cuadro B 8. Valores de NC para las combinaciones de CH, GH y Cobertura

Uso\Grupo Hidrológico	Condición Hidrológica								
	Pobre (100)			Regular (200)			Buena (300)		
	B(20)	C(30)	D(40)	B(20)	C(30)	D(40)	B(20)	C(30)	D(40)
1. Descanso/Sin cultivos	86	91	94	86	91	94	86	91	84
2. Legumbres	77	83	83	74	80	82	72	78	80
3. Café/Caña	73	80	83	70	78	75	67	76	80
4. Pastizales	79	86	89	69	79	84	61	74	80
5. Bosques	66	77	83	60	73	79	55	70	77
6. Patios (Urbano)	98	98	98	98	98	98	98	98	98

El mapa resultante de la combinación numérica, se muestra en la Figura B19. Puede observarse que los valores de NC varían de 55 a 98. Sin embargo, estos valores están

distribuidos en todas las subcuencas, por lo que hubo que obtener la mediana (para no afectar por valores extremos) para cada una de ellas, los cuales se muestran en el Cuadro B9.

Figura B 19. Mapa de NC para la cuenca del Río Parrita.



Cuadro B 9. Valor de la mediana del número de curva (NC) para cada una de las cuencas modeladas.

Subcuenca	MEDIANA
Candelaria Medio	74
Candelaria Bajo	74
Candelaria Alto	76
Pirrís Alto	70
Pirrís Bajo	70
Pirrís Medio	74
Parrita Bajo	74

4.3 Cálculo de los tiempos de desfase para cada una de las subcuencas a modelar (lag time)

El tiempo de desfase de una crecida se define como que transcurre entre el inicio de una crecida y el tiempo al centro de gravedad de la tormenta. El tiempo de desfase viene dado por la ecuación de Kirpich:

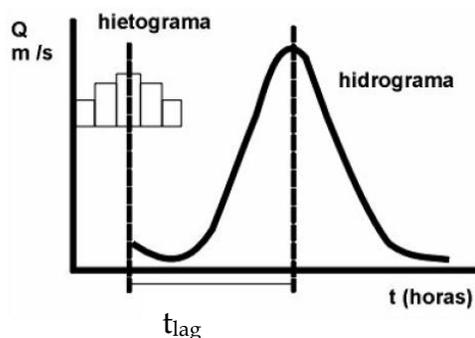
$$t_{lag} = 0.6 \left[0.195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \right]$$

Donde:

t_{lag} = Tiempo de desfase o retraso (min)

L= Distancia máxima de recorrido del agua (m)

H= Diferencia de elevación entre el inicio y el final de L (m)



Este tiempo de desfase para la cuenca del Río Pirrís, se calculó para toda la cuenca a partir de la tormenta y el hidrograma del 27 al 29 de Mayo de 2008. Con este valor se calibró la ecuación de Snyder para encontrar una fórmula que pueda aplicarse para todas las subcuencas. La fórmula ya calibrada es:

$$t_{lag} = 0.47 (L * Lc)^{0.3}$$

Donde:

L= Distancia máxima del recorrido del agua (km)

Lc= Distancia de la salida de la cuenca al punto más cercano al centroide de la cuenca (km)

Los resultados del cálculo del tiempo de desfase para cada una de las subcuencas se muestran en el Cuadro B10.

Cuadro B 10. Tiempo de desfase (t_{lag}) para cada una de las subcuencas modeladas.

Nombre	L	ElevUP	ElevDS	H	t _{lag} minutos	t _{lag} horas
Candelaria Medio	39611.8474	2361.01807	179.107117	2181.91095	134.271457	2.23785762
Candelaria Bajo	32186.263	1500.55994	49.79324	1450.7667	123.62104	2.06035066
Candelaria Alto	36610.426	2429.38965	617.493896	1811.89575	131.68315	2.19471917
Pirrís Alto	24476.6984	3142.75903	1406.08801	1736.67102	84.0748758	1.40124793
Pirrís Bajo	26906.5869	2200.1355	49.79324	2150.34226	86.3812018	1.4396867
Pirrís Medio	28309.7954	2212.13818	307.146912	1904.99127	95.9789714	1.59964952
Parrita Bajo	30454.7345	657.56958	0.852391	656.717189	157.354296	2.6225716

5. Creación del modelo meteorológico

Es el componente de la modelación hidrológica donde se establecen los parámetros relacionados con los datos climatológicos de la zona y consiste de los siguientes pasos:

- Análisis de datos meteorológicos, para este estudio se tomaron en cuenta los datos de la tormenta ocurrida en la zona entre el 27 y el 29 de mayo de 2008.
- Definición de la tormenta de diseño para lo cual se utilizó el hietograma de la tormenta del Huracán Mitch, misma que ocurrió en octubre del año 1998 y que es el registro de dos días continuos de máxima lluvia en la zona.

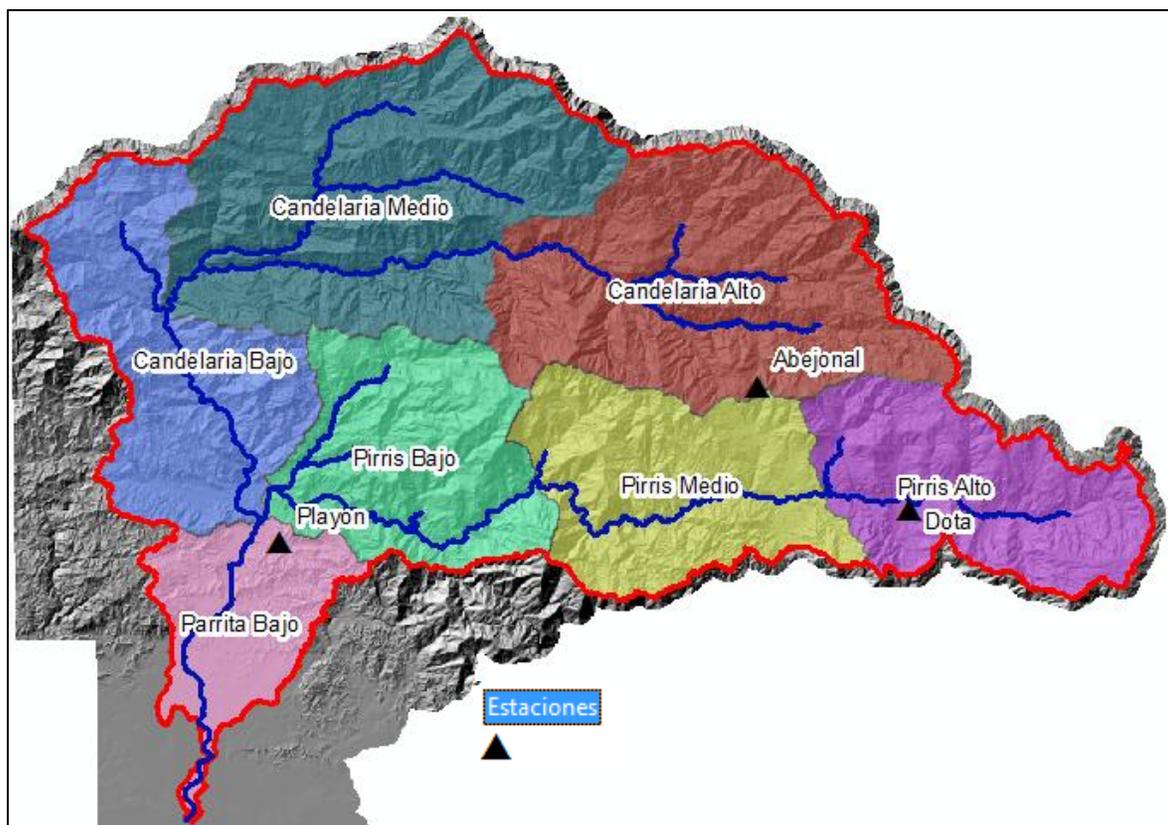
Para el análisis se escogieron las estaciones que se muestran en el Cuadro B11.

Cuadro B 11. Estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación hidrológica.

Número	Estación	Cuenca	Aparato	LAT.	LONG.	ELEV.
				NORTE	OESTE	(m.s.n.m.)
88015	PLAYON	CANDELARIA	B-Aut	09 38'	84 17'	65
88020	STA. MARIA DE DOTA	CANDELARIA	C-Aut	09 39'	83 58'	1,600
88034	CERRO ABEJONAL	CANDELARIA	C-Tel	09° 42' 41"	84° 02 ' 34"	2,000

La ubicación de las estaciones se muestra en la Figura B20.

Figura B 20. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas en la modelación hidrológica.



En el Cuadro B12 se muestra los valores horarios de la tormenta de estudio para las tres estaciones escogidas.

Cuadro B 12. Valores de precipitación (mm) horarios de las estaciones pluviométricas consideradas en el estudio.

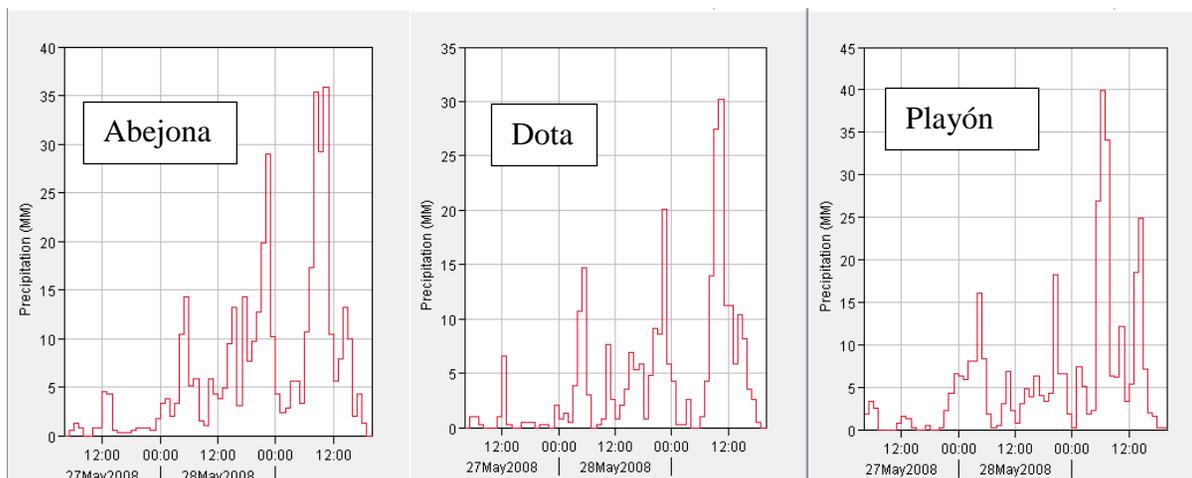
Fecha y hora	PLAYON	SANTA MARIA DE DOTA	CERRO ABEJONAL
2008/05/27 05:00	1.778	0	0
2008/05/27 06:00	3.302	1.016	0.508
2008/05/27 07:00	2.54	1.016	1.27
2008/05/27 08:00	0	0.254	0.762
2008/05/27 09:00	0	0	0
2008/05/27 10:00	0	0	0
2008/05/27 11:00	0	0	0.762
2008/05/27 12:00	0.762	1.016	0.762
2008/05/27 13:00	1.524	6.604	4.572
2008/05/27 14:00	1.27	0.254	4.318

Fecha y hora	PLAYON	SANTA MARIA DE DOTA	CERRO ABEJONAL
2008/05/27 15:00	0.254	0	0.508
2008/05/27 16:00	0	0	0.254
2008/05/27 17:00	0	0.508	0.254
2008/05/27 18:00	0.508	0.508	0.254
2008/05/27 19:00	0	0.508	0.508
2008/05/27 20:00	0	0	0.762
2008/05/27 21:00	0.254	0.254	0.762
2008/05/27 22:00	2.286	0.254	0.762
2008/05/27 23:00	4.318	0	0.508
2008/05/28 00:00	6.604	2.032	1.778
2008/05/28 01:00	6.35	0.762	3.302
2008/05/28 02:00	5.842	1.27	3.81
2008/05/28 03:00	8.128	0.508	2.032
2008/05/28 04:00	8.128	3.81	3.302
2008/05/28 05:00	16.002	10.668	10.414
2008/05/28 06:00	8.382	14.732	14.224
2008/05/28 07:00	1.778	3.048	5.08
2008/05/28 08:00	0.254	0	5.842
2008/05/28 09:00	0.508	0.254	1.524
2008/05/28 10:00	3.048	0.762	1.016
2008/05/28 11:00	6.858	7.62	5.842
2008/05/28 12:00	2.286	2.54	4.318
2008/05/28 13:00	0.762	0.762	3.81
2008/05/28 14:00	3.048	2.032	4.826
2008/05/28 15:00	4.826	3.556	9.398
2008/05/28 16:00	3.81	6.858	13.208
2008/05/28 17:00	6.35	5.334	3.048
2008/05/28 18:00	4.064	5.842	14.224
2008/05/28 19:00	3.302	0.762	7.62
2008/05/28 20:00	4.318	4.826	9.652
2008/05/28 21:00	18.288	9.144	12.7
2008/05/28 22:00	6.604	8.636	19.812
2008/05/28 23:00	6.604	20.066	28.956
2008/05/29 00:00	1.778	5.842	10.16
2008/05/29 01:00	0.254	4.318	4.318
2008/05/29 02:00	7.366	0.254	2.286
2008/05/29 03:00	5.08	0.254	2.794
2008/05/29 04:00	1.778	2.54	5.588
2008/05/29 05:00	2.286	0	5.588

Fecha y hora	PLAYON	SANTA MARIA DE DOTA	CERRO ABEJONAL
2008/05/29 06:00	26.924	0	3.302
2008/05/29 07:00	39.878	1.016	10.668
2008/05/29 08:00	34.036	4.318	17.272
2008/05/29 09:00	6.35	13.97	35.306
2008/05/29 10:00	6.096	27.432	29.21
2008/05/29 11:00	12.192	30.226	35.814
2008/05/29 12:00	3.302	11.176	10.414
2008/05/29 13:00	5.334	11.176	5.588
2008/05/29 14:00	18.542	5.842	7.874
2008/05/29 15:00	24.892	10.414	13.208
2008/05/29 16:00	7.112	8.128	9.906
2008/05/29 17:00	2.032	3.556	2.032
2008/05/29 18:00	1.524	2.54	4.318
2008/05/29 19:00	0.254	0.508	1.27
2008/05/29 20:00	0.254	0	0

En la Figura B21 se muestran los hietogramas de la tormenta correspondiente a cada una de las estaciones utilizadas en el estudio.

Figura B 21. Hietogramas de la tormenta del 27 al 29 de Mayo de 2008.



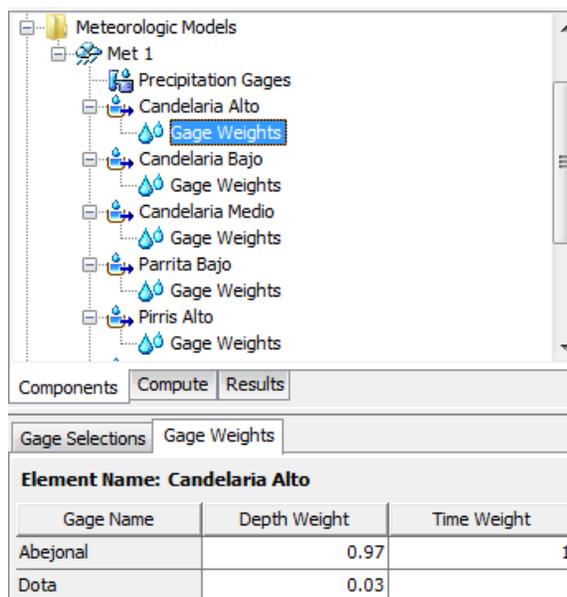
HEC-HMS requiere también que se introduzcan los pesos que tiene cada una de las estaciones en cada una de las subcuencas utilizando el método de polígonos de Thiessen. El resultado de este proceso se muestra en el Cuadro B13.

Cuadro B 13. Peso de las estaciones pluviométricas en cada una de las subcuencas modeladas en el estudio

Estación	Subcuenca	Peso de la estación
Playon	Candelaria Medio	0.66
Playon	Candelaria Bajo	1.00
Playon	Pirrís Bajo	0.94
Playon	Pirrís Medio	0.00
Playon	Parrita Bajo	1.00
Dota	Candelaria Alto	0.03
Dota	Pirrís Alto	0.92
Dota	Pirrís Medio	0.09
Abejona	Candelaria Medio	0.34
Abejona	Candelaria Alto	0.97
Abejona	Pirrís Alto	0.08
Abejona	Pirrís Bajo	0.06
Abejona	Pirrís Medio	0.90

Al introducir estos pesos y los datos de las series de tiempo para cada estación meteorológica, se completó el llamado “modelo meteorológico” del programa HEC-HMS, como se muestra en la Figura B22.

Figura B 22. Modelo meteorológico HEC-HMS de la cuenca del Rio Parrita (Ej. Candelaria Alto)

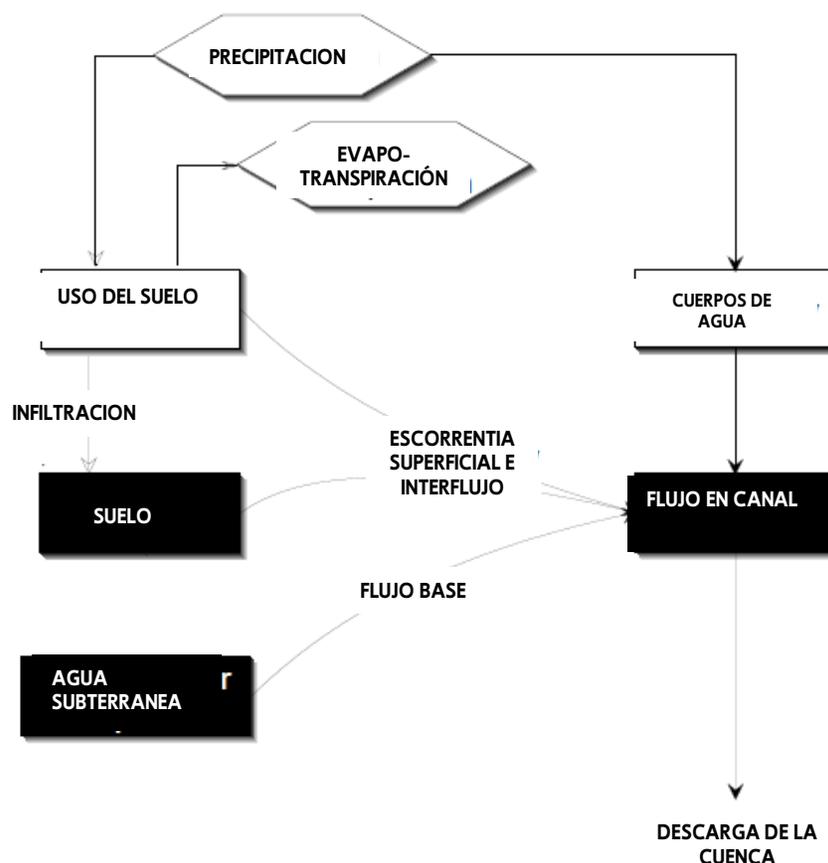


6. Cálculo de los datos de cada uno de los elementos hidrológicos del modelo

El objetivo de la modelación es determinar el hidrograma producido por una tormenta y con estos datos de caudal poder establecer posibles áreas de inundación, diseñar la luz de puentes, capacidad de alcantarillas, diseño de obras de control de avenidas, etc. Por lo tanto nuestro modelo necesita calcular y reportar el pico y el volumen de escorrentía. En la Figura B23 se muestran los elementos necesarios para predecir la escorrentía, lo cual es un modelo simple en los que algunos procesos son omitidos o bien agregados. Por ejemplo, el movimiento detallado del agua en el suelo puede ser omitido en esta solución.

Se procedió entonces a ingresar los datos que corresponden a cada subcuenca, confluencia y tramo del modelo.

Figura B 23. Elementos que intervienen en la modelación de la escorrentía y flujo en canales en el modelo HEC-HMS.



El programa utiliza un modelo separado para representar cada componente del proceso de escorrentía que se ilustra en la figura anterior, incluyendo:

- El modelo que calcula el volumen de pérdida de escorrentía
- El modelo de escorrentía directa, incluyendo flujo superficial e interflujo
- El modelos de flujo base
- El modelo de flujo en el canal

6.1 Datos para el modelo de volumen de pérdida de escorrentía

Dado que el método del Número de Curva en HEC-HMS únicamente requiere dos parámetros: el NC y el porcentaje de impermeabilidad del suelo, se escogió este método para el modelo de la cuenca del río Parrita. El número de curva ya fue calculado previamente para cada subcuenca y el porcentaje de impermeabilidad del suelo, es únicamente significativo en áreas urbanas. El Cuadro B14 muestra los datos para las subcuencas modeladas:

Cuadro B 14. Número de curva y % de impermeabilidad del suelo para las subcuencas modeladas.

Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number	Impervious (%)
Candelaria Bajo		74	0.07
Pirris Bajo		70	0.0
Pirris Alto		70	0.53
Candelaria Medio		74	0.33
Candelaria Alto		76	0.35
Pirris Medio		74	0.9
Parrita Bajo		74	0.48

6.2 Datos para el modelo de volumen de escorrentía

En 1938, Snyder publicó una descripción de un Hidrograma Unitario (HU) paramétrico que desarrolló observando cuencas en el altiplano de los Apalaches, EEUU. Proveyó las relaciones para estimar los parámetros del HU a partir de características de las cuencas.

Haciendo uso de la fórmula ya calibrada para la cuenca del Río Parrita y que se muestra en el Cuadro B15 en el que ya se incluye la distancia del centroide a la salida de cada una de las cuencas y la forma como quedó incluida en el modelo HEC-HMS.

Cuadro B 15. Tiempo de retardo y coeficiente al pico para las subcuencas del Río Parrita.

Subbasin	Lag Time (HR)	Peaking Coefficient
Candelaria Bajo	2.06	0.47
Pirris Bajo	1.44	0.47
Pirris Alto	1.4	0.47
Candelaria Medio	2.24	0.47
Candelaria Alto	2.19	0.47
Pirris Medio	1.6	0.47
Parrita Bajo	2.62	0.47

6.3 Datos para el modelo de flujo base

La constante de recesión, k , depende de la fuente del flujo base (el flujo que lleva el río antes de que se inicie el evento y que proviene en su mayor parte de aportes subterráneos). Si $k=1.00$, la contribución del flujo base será constante, con todo el $Q_t=Q_0$. De otra manera el modelamiento del decaimiento exponencial típico de cuencas naturales no intervenidas debería ser menor a 1.0. Para el caso de la cuenca del Río Parrita se asumió un valor constante de decaimiento igual a 0.95, es decir que cada día el flujo base disminuye 5% hasta alcanzar su valor normal. Así mismo las descargas iniciales o flujo base (previas al evento) se calcularon con base a la sección promedio del río y al caudal que el mismo capaz de transportar en condiciones normales (sin que medie una tormenta). Estos datos se muestran en el Cuadro B16.

Cuadro B 16. Descarga inicial y constante de recesión para las cuencas modeladas.

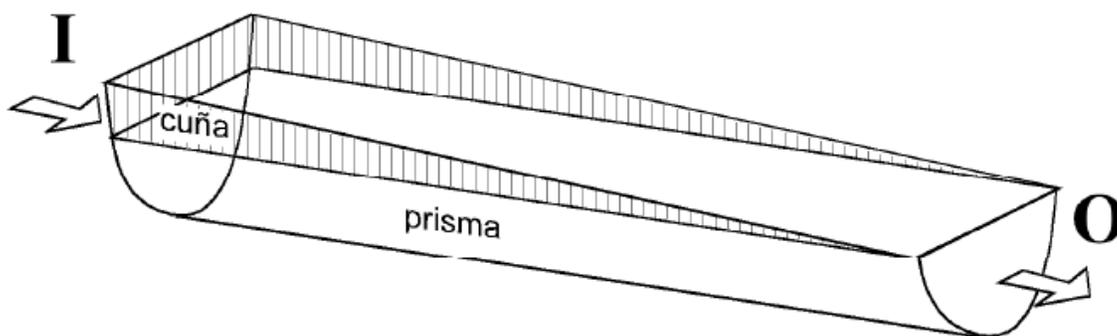
Subbasin	Initial Discharge (M3/S)	Recession Constant
Candelaria Bajo	40	0.95
Pirris Bajo	20	0.95
Pirris Alto	10	0.95
Candelaria Medio	30	0.95
Candelaria Alto	15	0.95
Pirris Medio	15	0.95
Parrita Bajo	64	0.95

6.4 Datos para el modelo de flujo en el canal

Se utilizó el modelo de tránsito de avenidas de Muskingum que utiliza una aproximación sencilla de diferencias finitas de la ecuación de continuidad:

$$\left(\frac{I_{t-1} + I_t}{2} \right) - \left(\frac{O_{t-1} + O_t}{2} \right) = \left(\frac{S_t - S_{t-1}}{\Delta t} \right) \quad (c)$$

El almacenamiento (S) en un tramo del cauce puede descomponerse en dos partes: almacenamiento en prisma, que sería proporcional al caudal de salida (O) y almacenamiento en cuña, que sería función de la diferencia entre el caudal de entrada y el de salida ($I-O$), ya que cuanto mayor sea esa diferencia, más pronunciada será la cuña.



$$S_{prisma} = K \cdot O$$

$$S_{cuña} = K \cdot X \cdot (I - O) \quad (d)$$

Sumando las dos expresiones anteriores, se obtiene:

$$S = K [XI + (1-X) O] \quad (e)$$

donde:

S = almacenamiento en el tramo considerado de un cauce

I = caudal de entrada en ese tramo

O = caudal de salida de ese tramo

K, X = constantes para ese tramo de cauce

En el caso de la Cuenca del Río Parrita, K puede calcularse a partir de la ecuación de Manning aplicada a una sección típica del río en cada uno de las subcuencas. La ecuación de Manning es:

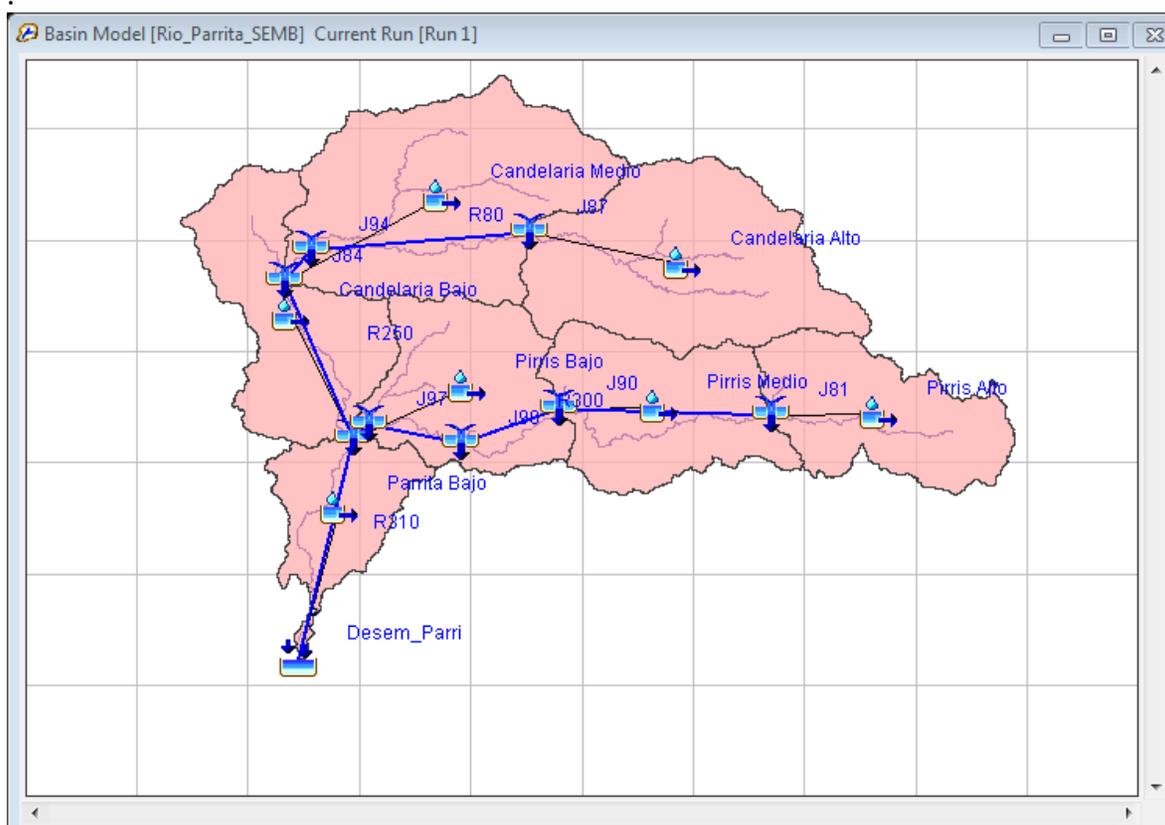
$$V = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Luego se considera que la velocidad de la onda cinemática es aproximadamente 1.3 veces la velocidad de la velocidad media. En la tabla se muestran los valores para los tramos correspondientes a los parámetros de Muskingum. En el Cuadro B17 se muestran los valores calculados para cada una de los tramos (Reach) en que se modeló el flujo en canal y en la Figura B24 el mapa conceptual de los tramos respectivos. Dado que la X de Muskingum no es un parámetro fijo se asumió un valor de 0.1 para todos los tramos.

Cuadro B 17. Valores de Muskingum K y X para los tramos modelados en la cuenca del Río Parrita

Reach	Muskingum K (HR)	Muskingum X	Number of Subreaches
R80	2.28	0.1	1
R140	0.63	0.1	1
R260	0.77	0.1	1
R270	1.68	0.1	1
R290	1.51	0.1	1
R300	1.13	0.1	1
R310	3.97	0.1	1
R250	9.99	0.1	1

Figura B 24. Modelo conceptual de la cuenca en donde se muestran los tramos (R), y la confluencia de los mismos (J)



6.5 Creación de las especificaciones de control

En este conjunto de datos se incluyó la fecha, la hora de inicio y fin de la simulación e intervalo de tiempo para el hidrograma de escurrimiento. En el caso de la simulación para el Río Parrita se colocó como tiempo de control o simulación las siguientes fechas: inicio el 27 de mayo de 2008 hora 4:00 am, finalización el 31 de mayo de 2008 hora 18:00, con intervalos de 1 hora, tal como se muestra en la Figura B25.

Figura B 25. Especificaciones de control para la simulación hidrológica de la Cuenca del Río Pirrís.

Name: Control 1	
Description:	27 mayo al 29 de mayo de 2008
*Start Date (ddMMYYYY)	27may2008
*Start Time (HH:mm)	04:00
*End Date (ddMMYYYY)	31may2008
*End Time (HH:mm)	18:00
Time Interval:	1 Hour

Anexo C

Modelación Hidráulica con HEC-RAS

1. Introducción a la modelación hidráulica

En este apartado se estudiará un tramo determinado del río y se quiere saber hasta dónde llegaría el agua si el caudal alcanzara un cierto valor. Surgen interrogantes: ¿será suficiente el cauce principal?, ¿hasta qué altura? ¿o serán inundadas las áreas próximas, y en qué extensión? La respuesta, para un caudal determinado, dependerá de la forma del cauce, de la pendiente y de su naturaleza (tipo de materiales, presencia de vegetación,...). El problema se complica si existen puentes u otro tipo de obras, o si deseamos saber qué sucedería si se construyera un puente, una canalización, etc.

El problema consta de dos partes bien diferenciadas:

a) Evaluación del caudal

Normalmente se quiere evaluar el efecto producido por un caudal máximo, por ejemplo, un evento determinado (en nuestro caso del 27 al 31 de Mayo de 2008) o bien un evento con un tiempo de retorno determinado (100 años). Ese dato de caudal puede obtenerse mediante un tratamiento estadístico de datos de caudales, o, sino disponemos de ellos, calculando los caudales que se generarán a partir de unas determinadas precipitaciones, como es el caso de la modelación hidrológica que ya se determinó para la tormenta de nuestro estudio.

b) Evaluación del área inundable

Como hemos indicado, la sección que ocupará un caudal determinado y las áreas del valle que serán inundadas dependen de la geometría del cauce, de la pendiente y de otros factores. La sección correspondiente a un cierto caudal se puede evaluar mediante la fórmula de Manning o similar, a partir de la sección evaluar la altura del agua y a partir de ésta hacer una estimación de las áreas que serán inundadas. Pero el método idóneo para abordar esta parte del trabajo es mediante el programa HEC-RAS.

Para el funcionamiento de HEC-RAS debemos aportar dos tipos de datos: geométricos y de caudales. Los datos geométricos fundamentales son diversas secciones transversales a lo largo del cauce o cauces considerados. Dichas secciones se introducen mediante la cota de varios puntos; de este modo, mediante la cota de dos secciones contiguas, separadas por una distancia conocida, el modelo calcula la pendiente de ese tramo. El caudal puede ser un solo valor constante o bien un caudal variable en el tiempo

HEC-GeoRAS es una extensión del programa ArcGIS® específicamente diseñada para procesar los datos geoespaciales utilizados para introducir al Sistema de Análisis de Ríos del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los EEUU (HEC-RAS).

Esta herramienta permite a los usuarios con conocimientos limitados de SIG crear un archivo que pueda importar HEC-RAS y que contenga los atributos de los datos geométricos a partir de la existencia de un modelo de elevación digital (MED) y con otros datos complementarios.

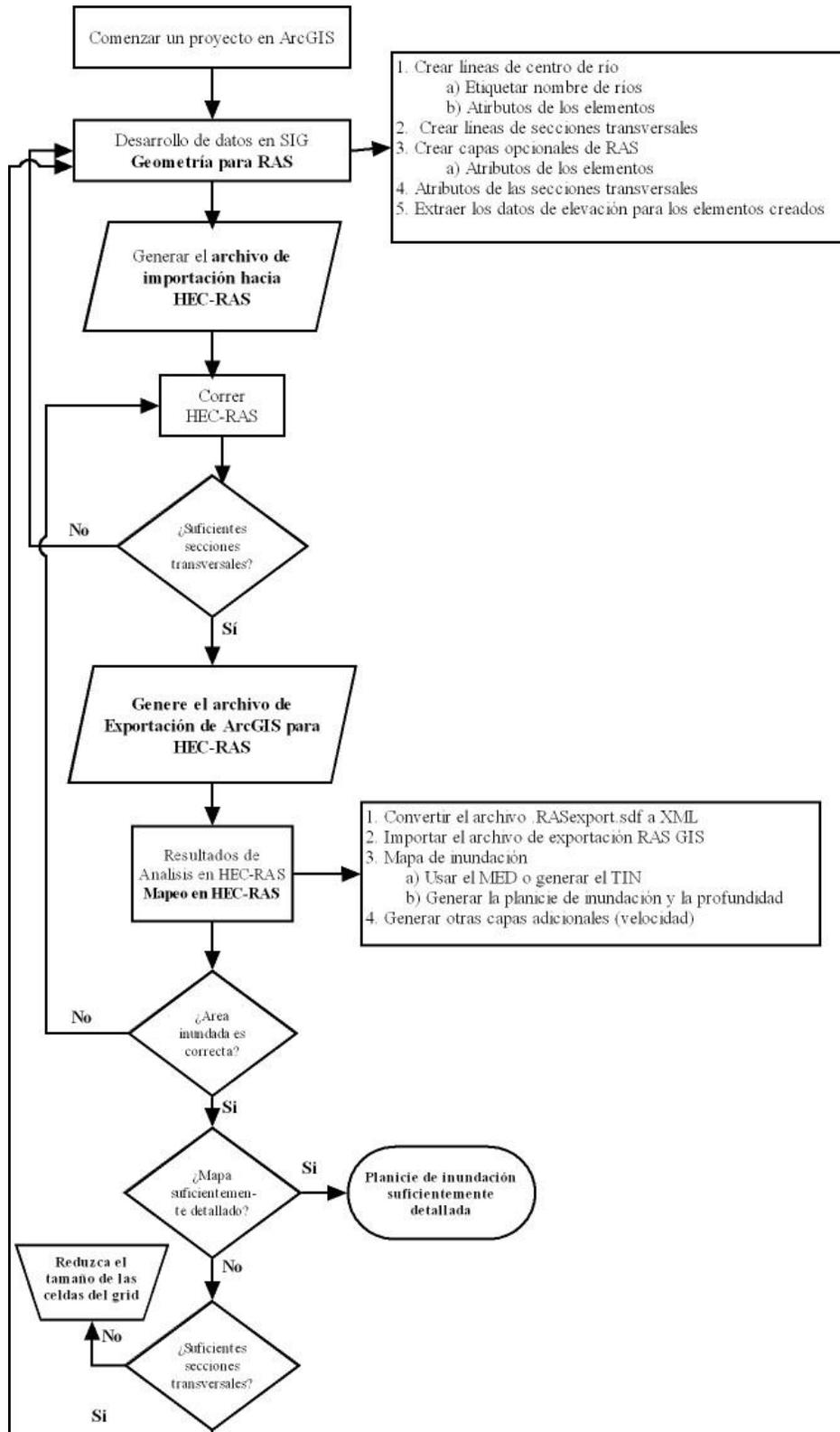
Los resultados de los perfiles mostrando la superficie de agua producto de la inundación pueden también ser reprocesados de nuevo utilizando el HEC-GeoRAS. HEC-GeoRAS es una extensión del programa ArcGIS® software y son requeridas también las extensiones ArcGIS® with the 3D Analyst and Spatial Analyst.

Acá se presenta el resultado de la preparación de los datos con HEC-GeoRAS, así como la modelación hidráulica de una sección del río Parrita (desde la confluencia del Río Grande de Candelaria y el Río Pirrís, hasta la desembocadura del mismo utilizando HEC-RAS.

2. Preparación de datos con HEC-GeoRAS

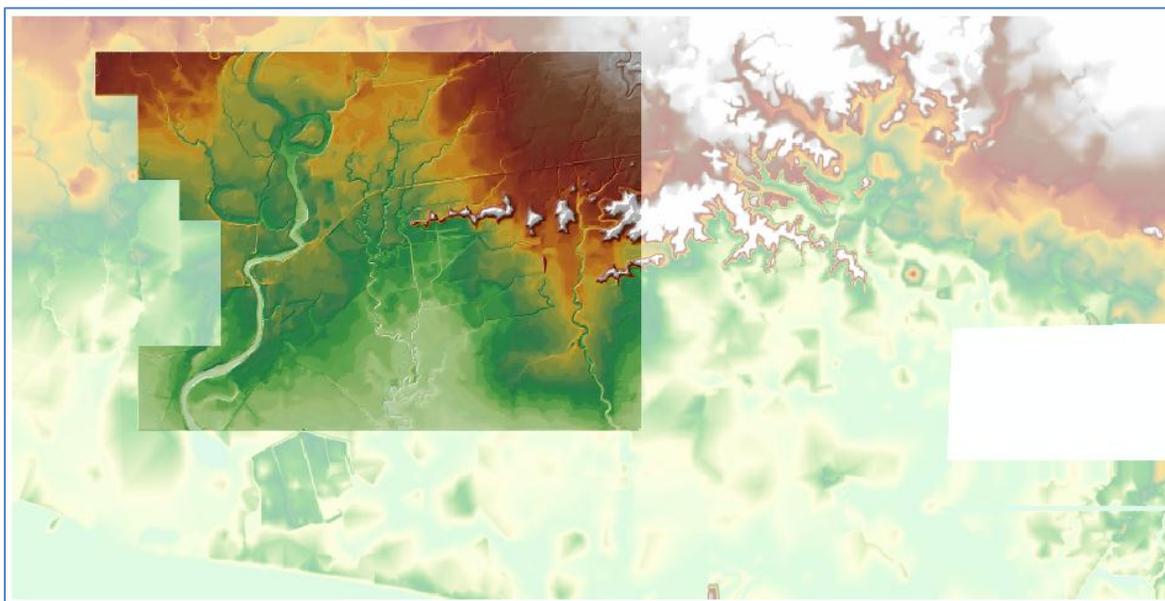
A continuación en la Figura C1 se presenta un flujograma del procedimiento seguido para preparar los datos que se utilizaron en la modelación hidráulica del Río Parrita (parte baja).

Figura C 1. Flujograma para la simulación hidraulica usando HEC-GeoRAS y HEC-RAS.



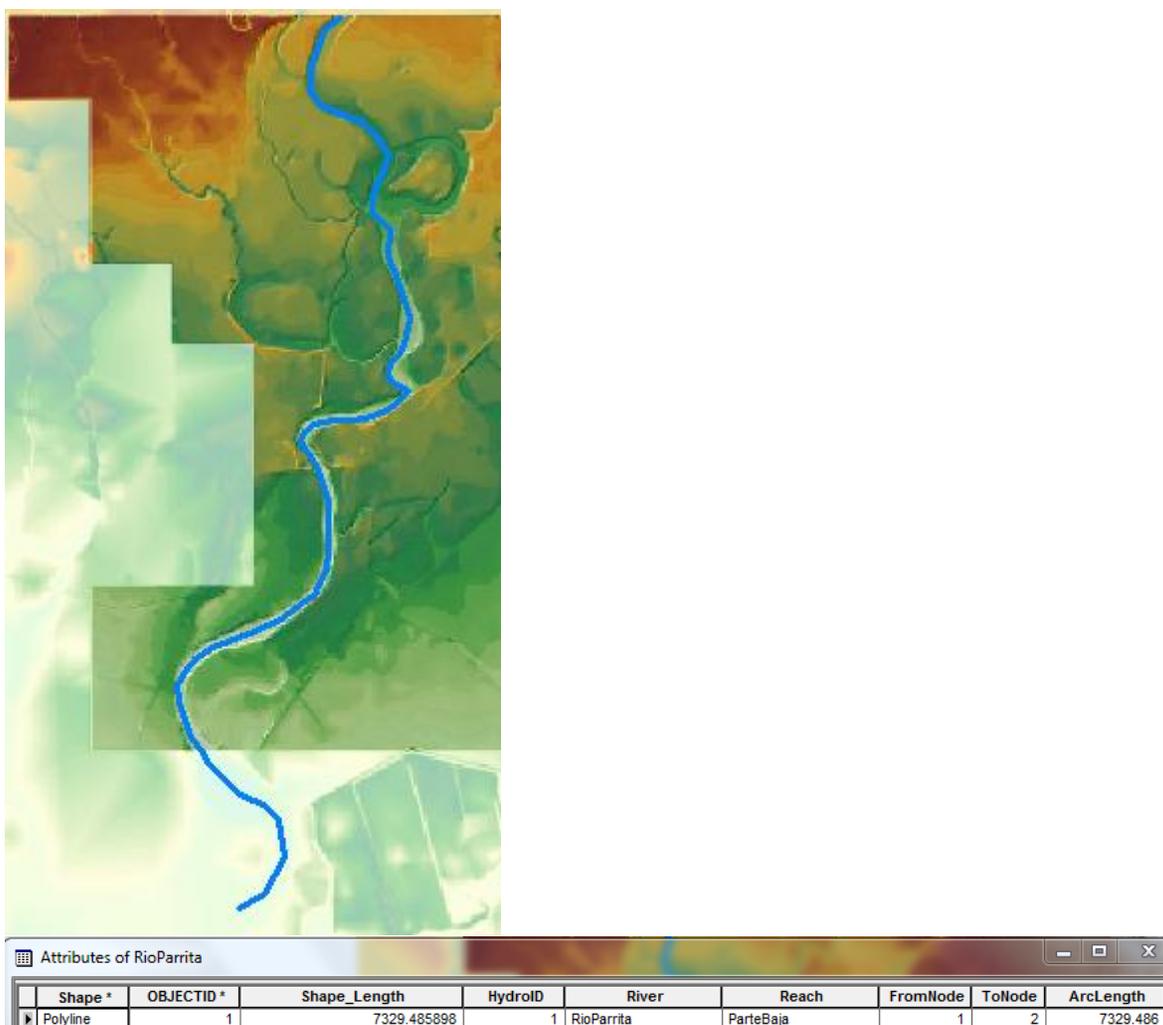
HEC-GeoRas tuvo que ser instalado en el programa ArcGIS y luego se cargó un Modelo de elevación digital de 10 x 10 m para una parte del área, y se genero un MED de 2 x 2 m para el área alrededor del río a modelar. Luego estos dos MED fueron fusionados en uno solo para preservar la precisión del detalle del MED proveniente de la red de puntos de 2 x 2. (ver Figura C2)

Figura C 2. Modelos de elevación de 10 y 2 m utilizados en la modelación.



Se generó la línea del centro del río siguiendo las partes mas profundas del cauce. A esta línea se le calculó sus elevaciones para poder determinar su pendiente. Esta línea del centro del río es lo que se conoce como un “tramo” (reach) en la modelación. (Figura C3). A esa línea se le generaron sus atributos respectivos en una tabla.

Figura C 3. Línea central del Río Parrita para la modelación hidráulica y su respectiva tabla de atributos.



Luego se generaron las líneas de acotamiento o talud del río (banks), en color rojo en la Figura C4. Estas líneas definen el cauce del río durante su régimen de caudal normal y marcan en realidad los límites donde más allá de ellos se considera que comienza la planicie de inundación.

Figura C 4. Líneas de acotamiento o talud del río (Banks)

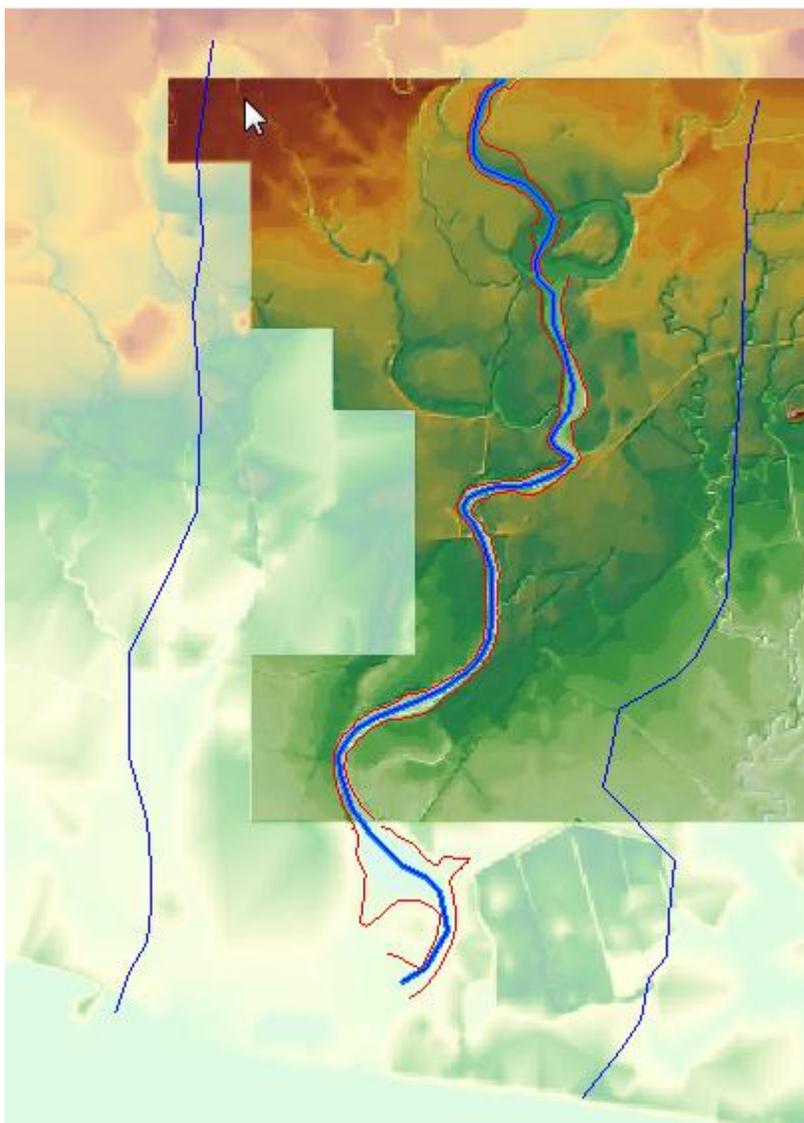


Attributes of BanksParrita

Shape *	OBJECTID *	Shape_Length	HydroID
Polyline	1	1142.354676	4
Polyline	3	2642.602086	6
Polyline	4	1843.26122	7
Polyline	5	1648.100063	8
Polyline	6	486.814683	9
Polyline	7	419.11824	10
Polyline	8	753.36118	11
Polyline	9	207.454908	12
Polyline	11	827.686839	13
Polyline	12	5413.770319	14

Inmediatamente después se delimitó un área que se considera el área de la planicie de inundación (pathflow). Esta área está delimitada por dos líneas a izquierda a derecha que marcan los límites hasta donde serán trazadas las secciones transversales. En lugares montañosos, estas líneas suelen estar bastante cerca de las líneas de acotamiento, pero en el caso de áreas planas como las de estudio se tuvieron que trazar bastante anchas, incluso fuera de los límites de la cuenca del río Parrita. Estas líneas se muestran en color azul en la Figura C5.

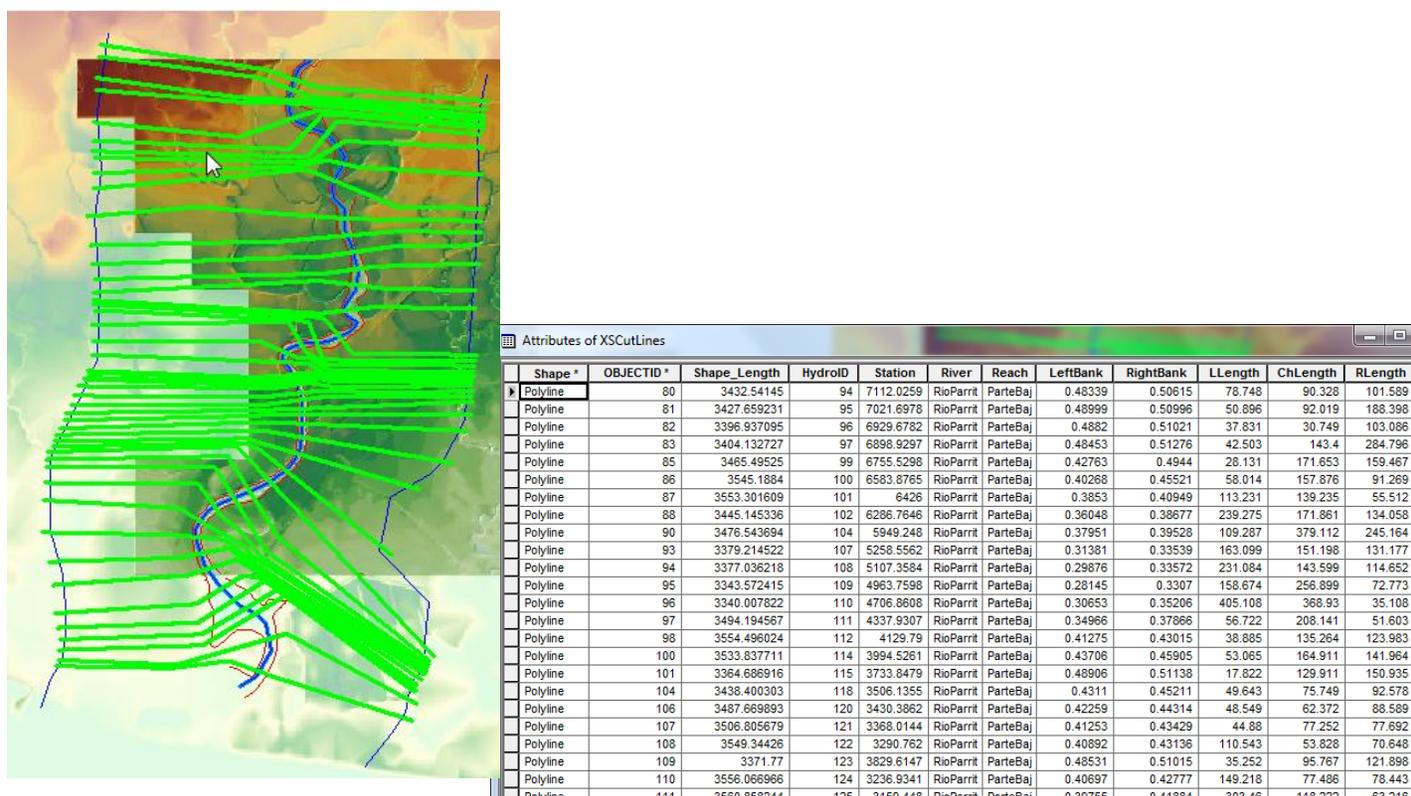
Figura C 5. Límites de la planicie de inundación, tanto derecha como izquierda.



Attributes of Flowpaths				
Shape *	OBJECTID *	Shape_Length	LineType	
Polyline	1	7329.485898	Channel	
Polyline	9	6708.946419	Left	
Polyline	11	6072.859921	Right	

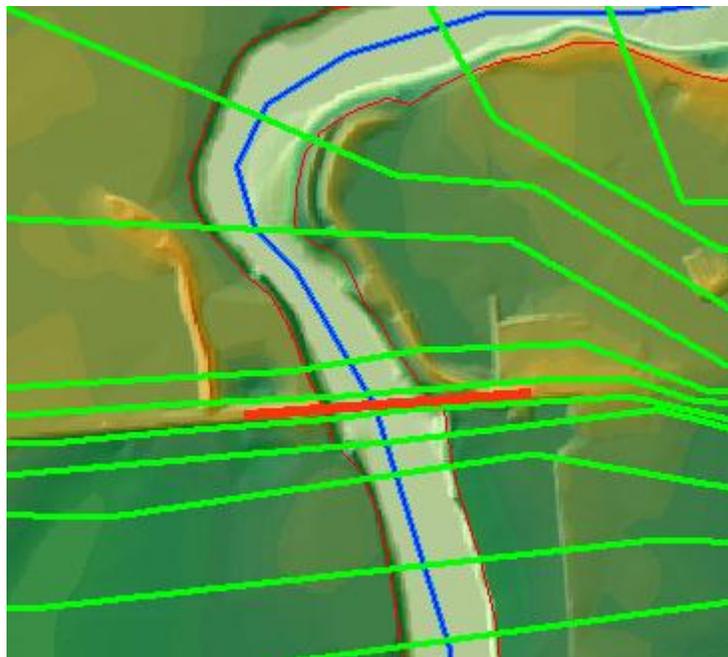
El siguiente paso fue el trazado de las secciones transversales a lo largo del tramo del río a estudiar. Cada una de estas líneas debe de ser trazada de manera perpendicular a los acotamientos y la línea central del río, aunque después pueden no ser necesariamente rectas. Las líneas pueden trazarse de manera equidistante, pero se prefirió por las características meándricas del río trazarlas a criterio del modelador. En la Figura C6 se muestran las secciones transversales trazadas.

Figura C 6. Secciones transversales con su tabla de atributos.



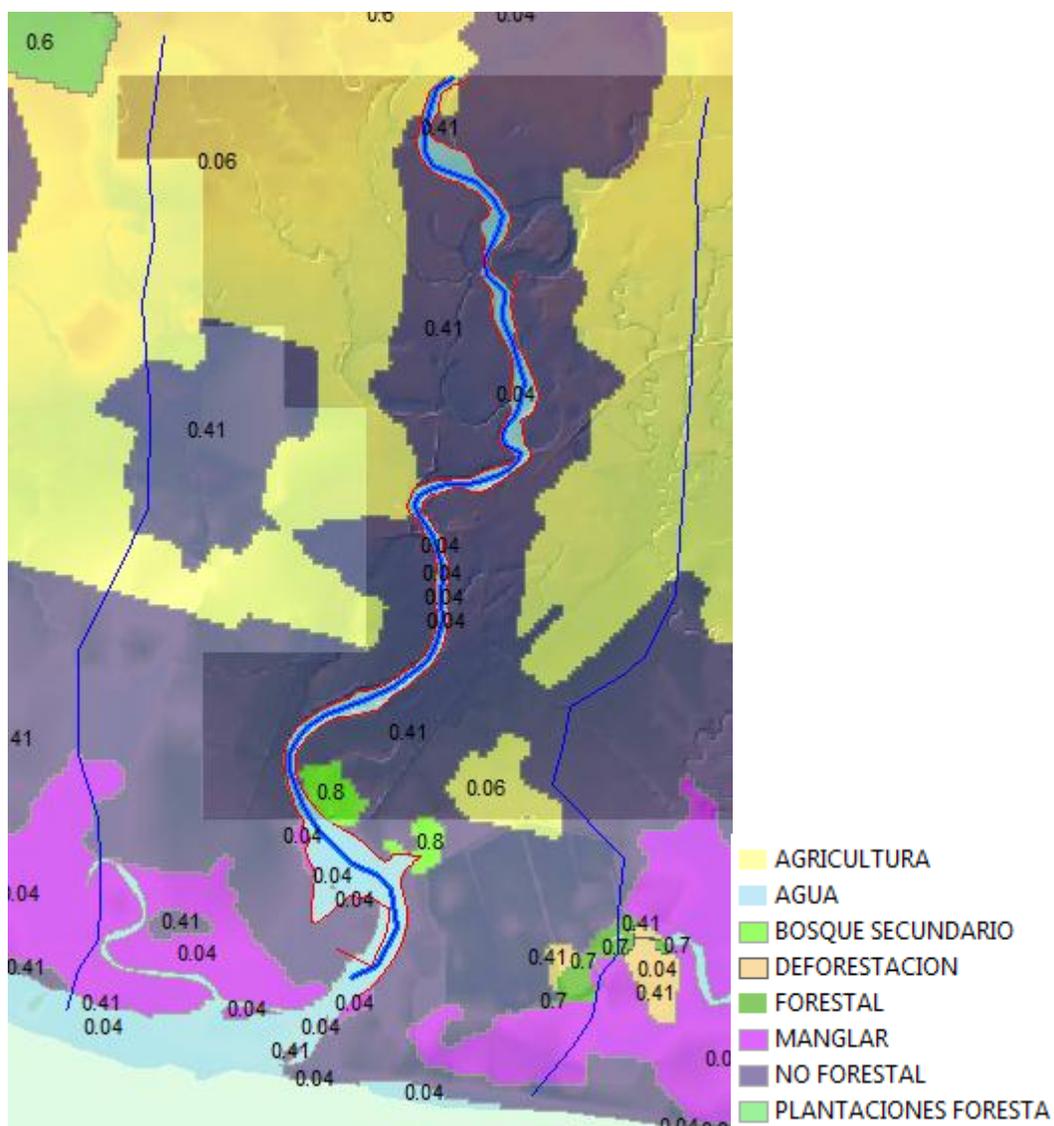
Por último se hizo el trazado del puente de Río Parrita sobre la ruta nacional 34. Es importante modelar el puente, pues es la estructura más importante que se encuentra en el área estudiada y se deseaba saber si en la inundación generada el puente queda sumergido. (Figura C7).

Figura C 7. Puente sobre el río Parrita en la ruta 34.



Luego se hizo también la asignación de los valores de n-Manning (rugosidad) a los diferentes tipos de cobertura del área de estudio, pues este dato es necesario en el proceso de modelación hidráulica. En la Figura C8 se muestran los valores de n-Manning para el área estudiada.

Figura C 8. Valores n-Manning para las diferentes tipos de cobertura en el área de estudio.



3. MODELACIÓN HIDRAULICA CON HEC-RAS

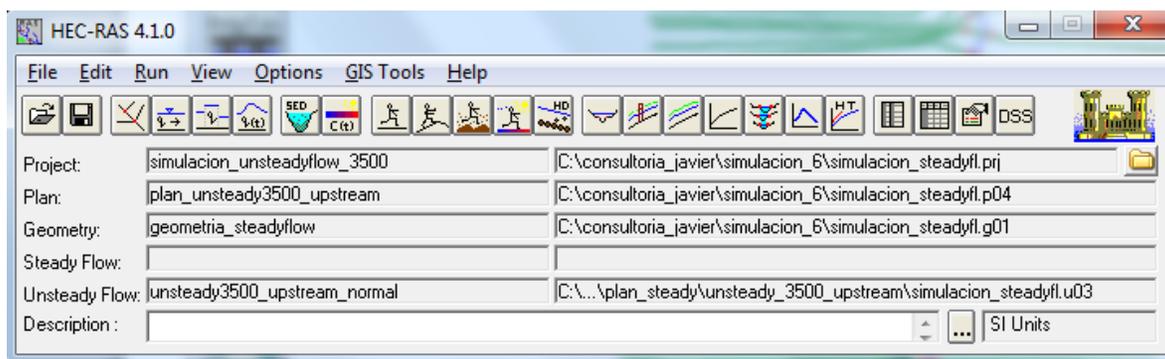
HEC-RAS es un programa con un sistema integrado y diseñado para ser utilizado interactivamente en un ambiente de multiusuario y multitarea. El sistema comprende una interface gráfica del usuario, componentes de análisis hidráulico separados, capacidad de almacenamiento y manejo de datos y facilidad para graficación y reportes.

El sistema HEC-RAS contiene tres componentes unidimensionales (1) cálculo de perfiles para un caudal constante (2) simulación de caudal variable (3) calculo de transporte de sedimentos.

En este reporte únicamente se hizo el análisis tomando como entrada el hidrograma de crecida de la tormenta del 27 al 31 de Mayo de 2008 en la confluencia de los ríos Grande de Candelaria y Pirrís.

Una vez terminado el proceso en HEC-GeoRAS se procedió a exportar el archivo para ser utilizado en el modelo HEC-RAS. Ya dentro del programa HEC-RAS se crea un nuevo proyecto y se importa el archivo generado en el programa ArcGIS para obtener. En la Figura C9 se muestra la pantalla de HEC-RAS con los archivos importados.

Figura C 9. Interface gráfica de HEC-RAS con los archivos generados en ArcGIS importados.



Para poder correr el modelo fue necesario entrar al editor de las secciones transversales (Figura C.9) y realizar las siguientes tareas:

- Visualizar cada una de las secciones transversales para chequear que no contengan más 500 puntos cada una y chequear también la ubicación de los taludes (figura C.10). Cada sección transversal muestra también en la parte superior el índice de rugosidad de Manning para cada tramo.
- Creación del puente del Río Parrita con las medidas de su rodadura y la altura del puente (Figura C12)
- Guardar la geometría de las secciones ya editadas.

Figura C 10. Editor de secciones transversales en HEC-RAS

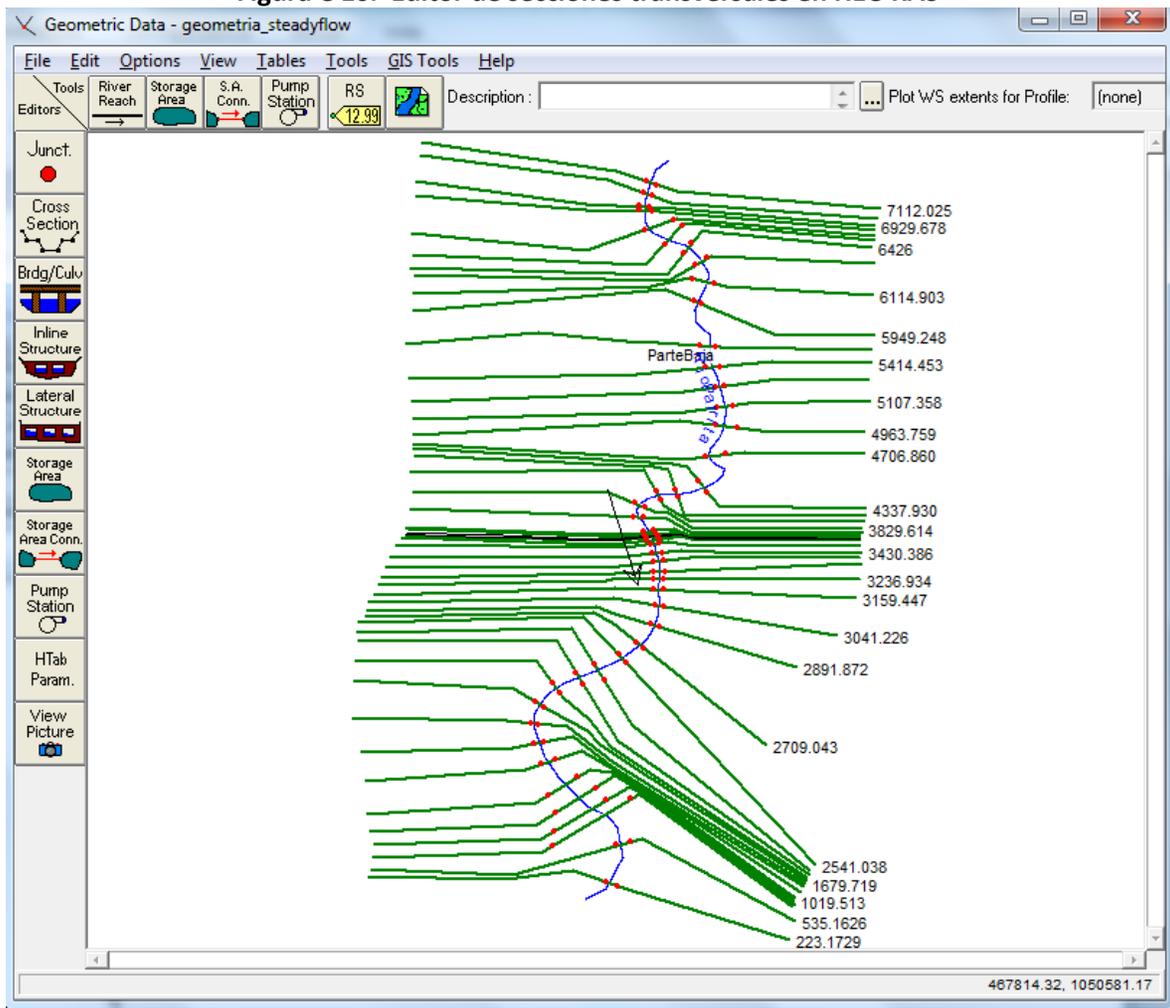


Figura C 11. Sección transversal 7112.025 mostrando la topografía de la sección y la ubicación de los taludes (Banks) como puntos rojos.

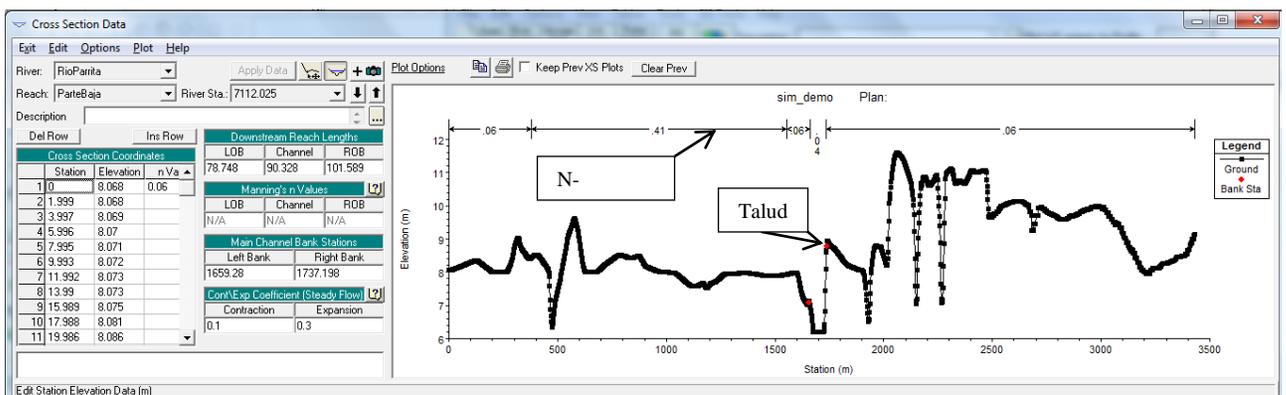
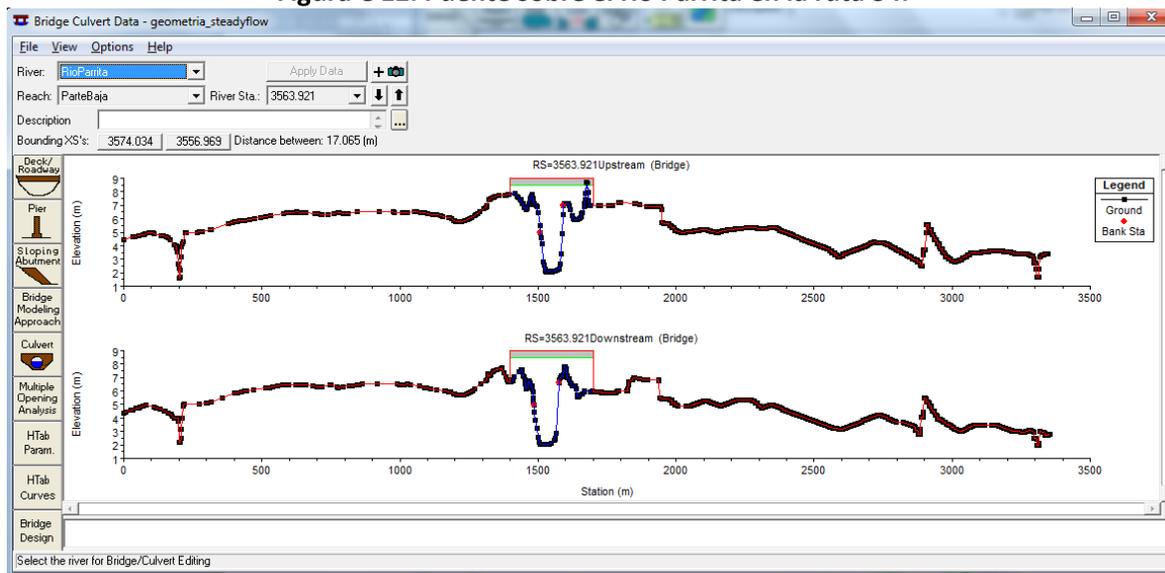
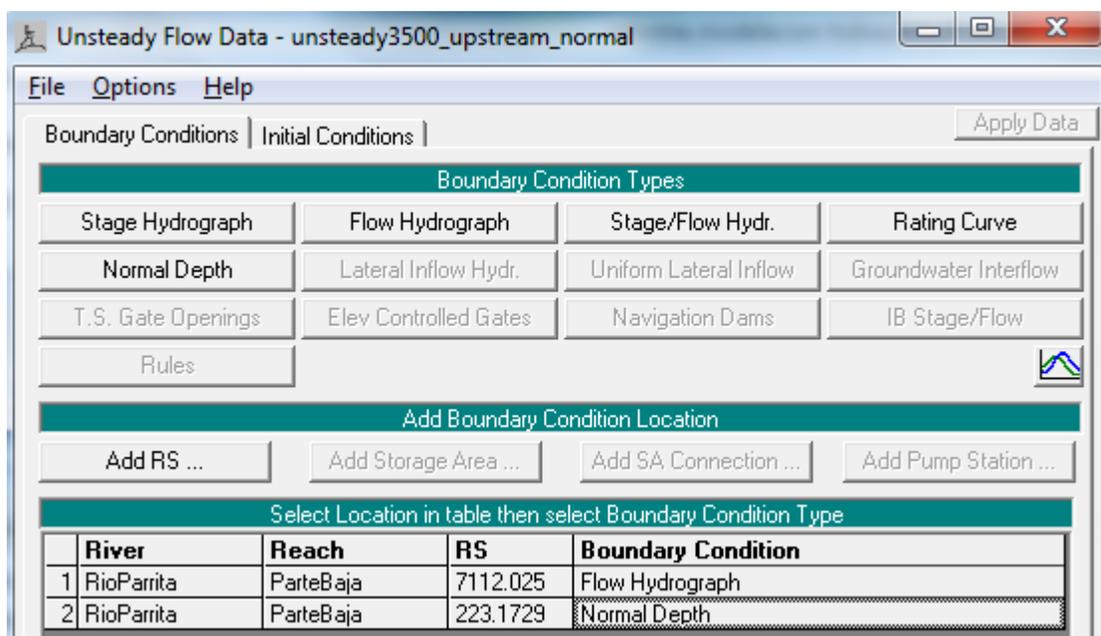


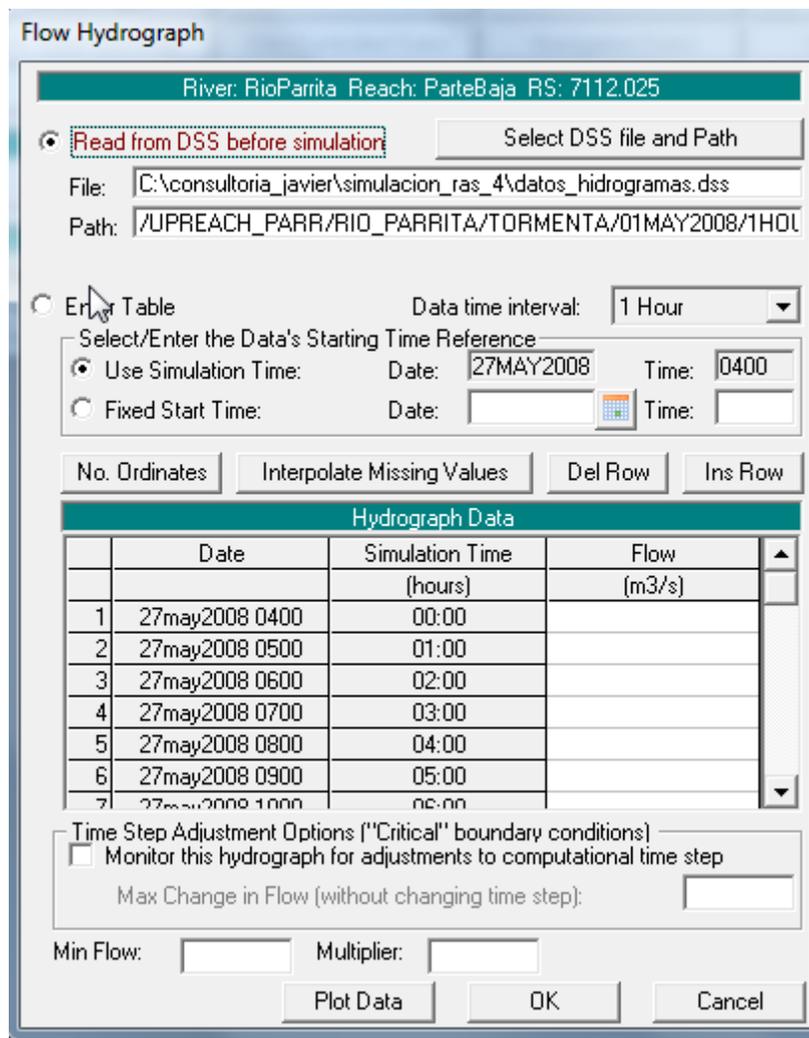
Figura C 12. Puente sobre el río Parrita en la ruta 34.



Introducir los datos correspondientes al hidrograma observado en la sección transversal más aguas arriba (Figura C13). En este caso los datos de hidrograma de flujo se asignaron a la estación aguas arriba del tramo y para la estación aguas abajo se escogió la opción de profundidad normal, es decir la profundidad producida por la crecida agua arriba.

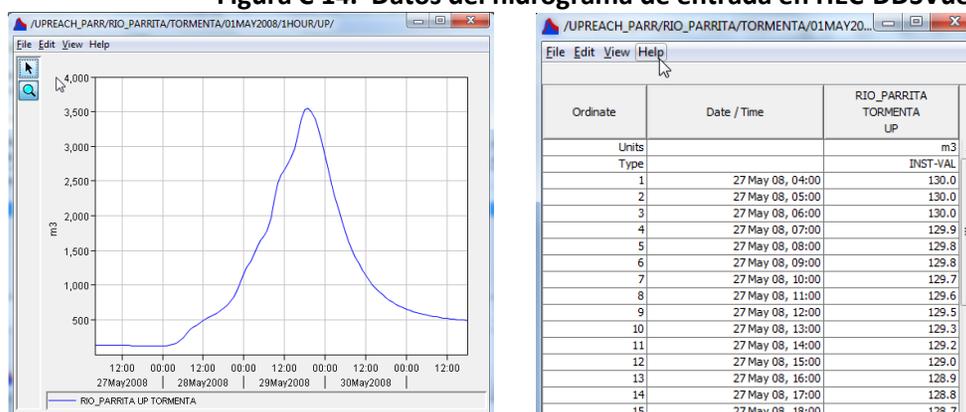
Figura C 13. Hidrograma de entrada





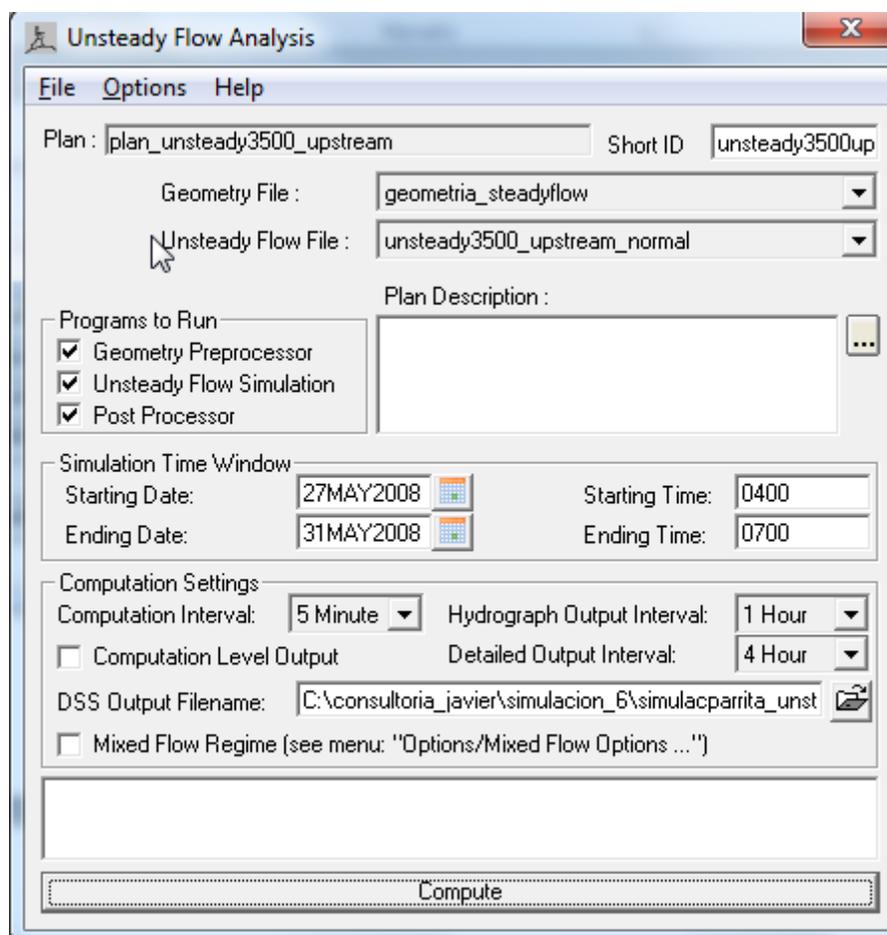
En ese caso los datos fueron leídos desde una tabla preparada en el programa HEC-DDSVue. El hidrograma de entrada se muestra en la figura 13. Los datos son guardados también en una tabla que se exporta y luego se puede leer automáticamente desde HEC-RAS.

Figura C 14. Datos del hidrograma de entrada en HEC-DDSVue



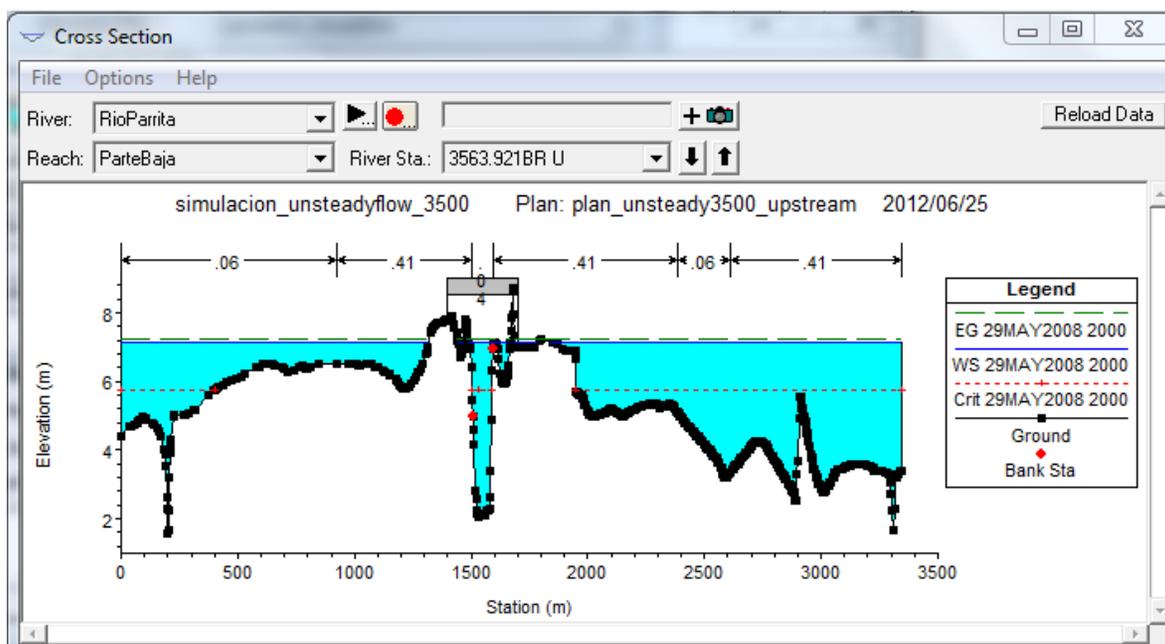
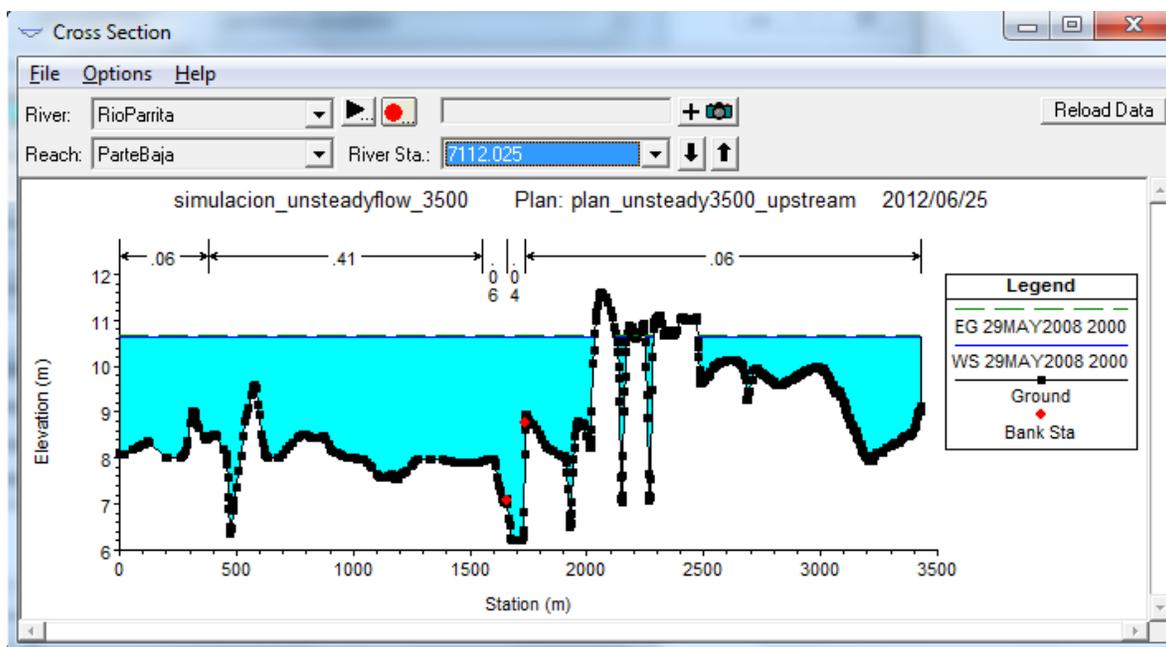
Con los datos completos se corre la simulación de la crecida provocada por ese hidrograma a la entrada del tramo del Río Parrita (Figura C15). El programa genera entonces dependiendo del plan escogido los resultados de la simulación. En nuestro caso se escogió que se simulara la crecida desde las 4 am del 27 de mayo 2008 hasta las 7 am del 31 de mayo del mismo año. Los cálculos del caudal se hicieron cada 5 minutos con hidrogramas con intervalo de salida de 1 hora y con salidas detalladas cada 4 horas (para no hacer demasiado tardada y pesada la simulación).

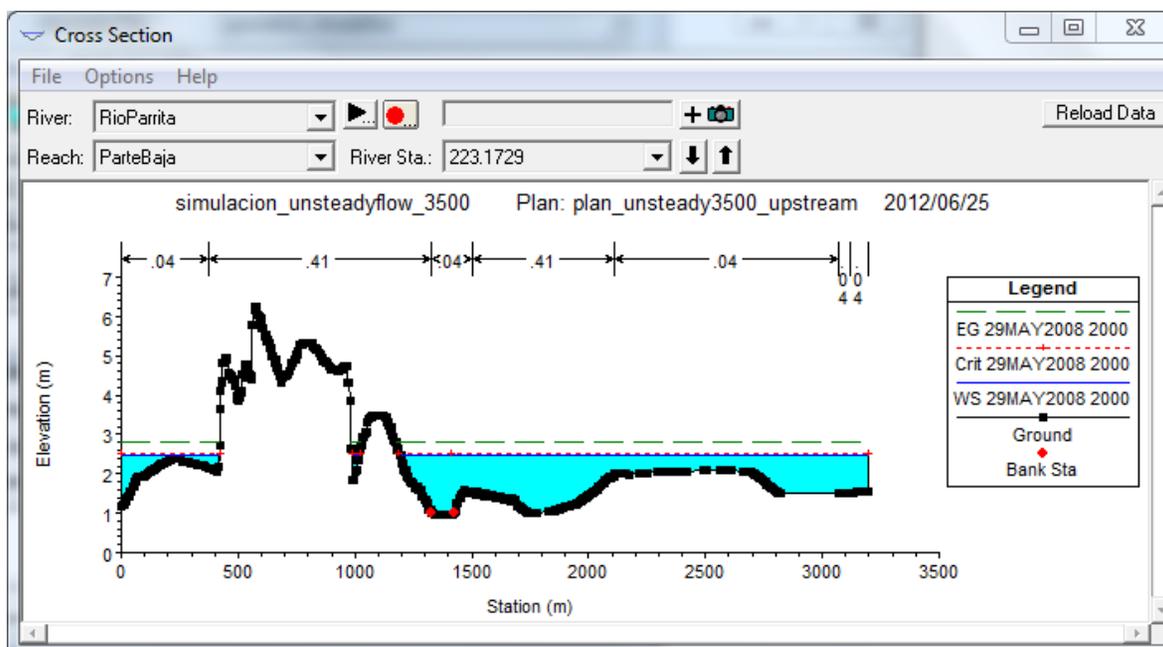
Figura C 15. Análisis de flujo variable del Río Parrita.



Al terminar la simulación se puede observar los resultados en el editor de las secciones transversales. En las Figura C16 se observa la crecida pico en la sección transversal más aguas arriba, la crecida pico en el puente del Río Parrita y por último el pico de la crecida en desembocadura del Río. El pico por estar simulado cada 4 horas ocurrió alrededor de las 8 pm del día 29 de Mayo.

Figura C 16. Crecida pico en las secciones transversales aguas arriba, en el puente y en la sección agua abajo.





La figura de arriba tiene un hipervínculo para poder ver de manera animada todo el proceso de la crecida en esa sección transversal.

Anexo D
Desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana-Continuo Comunitario

Desarrollo de un Sistema de Alerta Temprano- Comunitario

FICHA PROYECTO	
Nombre del proyecto	PROYECTO: Diseño de Medidas de Mitigación de Riesgos Naturales a Nivel de Sub-cuenca Crítica
Componente	Medidas de Mitigación No Estructurales
Sub-componente	Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana a Inundaciones
Ejecutor	Por Definir (Instituciones Involucradas: Ministerio de Salud, Comisión Nacional de Emergencia, Instituto Meteorológico, ICE, MINAE, MIDEPLAN, y sector privado)
Objetivos	General
	<p>Reducir la vulnerabilidad a las inundaciones mediante la implementación de medidas de mitigación no estructurales, como son los Sistemas de Alerta Temprana.</p>
	Específicos
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar la vulnerabilidad considerando participación comunitaria 2. Mejorar la percepción del riesgo. 3. Identificar las alternativas de mitigación 4. Diseñar e instalar sistemas comunitarios de alerta temprana a inundaciones. 5. Crear una red de radios de comunicación que permita se mantenga una un vínculo de apoyo entre las comunidades de la cuenca alta, media y baja. 6. Fortalecer el Comité Locales de Emergencia y el nivel de coordinación con las diferentes instituciones, la CNE y con las comunidades. 7. Organizar y Capacitar a los Comités Comunales de Emergencia. 8. Incrementar las habilidades comunitarias para responder a situaciones de desastres.
Organismo Financiador	BID, Banco Mundial, y la CNE
Área de actuación	Cuenca alta, media y baja de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita
Periodo de ejecución	Año y medio
Mecanismos de ejecución	La Unidad Coordinadora del Programa contrata los servicios de una Asociación local para el desarrollo del Proyecto.
Resultados del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Un sistema de alerta temprana de baja tecnología diseñada, con componentes instalados, mantenidos y operados por voluntarios de las comunidades. • Operadores voluntarios capacitados para la instalación, operación mantenimiento de lo instrumentos de monitoreo (pluviómetros y escalas de nivel de los ríos). • Operadores de los radios de comunicación capacitados en el uso y mantenimiento preventivo de radios. • Tres estaciones telemétricas instaladas y operando. • Personal a cargo de las estaciones telemétricas entrenadas. • Comités de emergencias locales y comunales organizados. • Por lo menos dos talleres para el comité local y ocho talleres para la

	<p>capacitación de miembros de los comités comunales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manual para operación y mantenimiento de instrumento de medición, elaborados. • Un manual para operación y mantenimiento de radios de comunicación, elaborados. • Afiches y trífolios publicados y distribuidos. • Dos documentos técnicos contentivos de la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"> - Resumen ejecutivo. - Memoria del diseño e instalación de sistemas de alerta de inundaciones.
Costo del proyecto	TOTAL PROYECTO US\$ 140.000

Perfil de Proyecto

- a. **Título del proyecto:** Desarrollo de un Sistema de Alerta Temprana Comunitario en las Cuenca de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita
- b. **Objetivo estratégico al que responde.** El objetivo general de este proyecto es reducir de vulnerabilidad de las comunidades afectadas por las inundaciones en las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita, mediante la implementación de un sistema comunitario de alerta temprana (SAT), que brinde la oportunidad y capacidad a las comunidades asentadas en planicie de inundación, para puedan tomar las precauciones mínimas necesarias para enfrentar con una mejor preparación las inundaciones futuras y prevenir las pérdidas de vidas humanas. Adicionalmente al objetivo general podemos mencionar como objetivos específicos los siguientes:
1. Evaluar la vulnerabilidad considerando participación comunitaria
 2. Mejorar la percepción del riesgo.
 3. Identificar las alternativas de mitigación
 4. Diseñar e instalar sistemas comunitarios de alerta temprana a inundaciones.
 5. Crear una red de radios de comunicación que permita se mantenga un vínculo de apoyo entre las comunidades de la cuenca alta, media y baja.
 6. Fortalecer el Comité Locales de Emergencia y el nivel de coordinación con las diferentes instituciones, la CNE y con las comunidades.
 7. Organizar y Capacitar a los Comités Comunales de Emergencia.
 8. Incrementar las habilidades comunitarias para responder a situaciones de desastres.
- c. **Prioridad de implementación.** A partir del segundo año una vez que las estaciones telemétricas inicien su funcionamiento
- d. **Fuente de financiamiento.** CNE y organismos internacionales

e. Antecedentes y justificación del proyecto.

La república de Costa Rica se encuentra ubicada en zona tropical proclive a ser afectado por una variedad de fenómenos naturales. El país y en particular a la región de las cuencas de los ríos Candelaria, Pirrís y Parrita, se ve amenazada permanentemente a la ocurrencia de tormentas tropicales y huracanes; la alta sismicidad, el fenómeno del Niño que tiene un efecto marcado sobre las sequías que se presentan el país, etc.

Con frecuencia los ríos aumentan considerablemente su caudal en la época lluviosa, durante la cual se presentan las tormentas tropicales, huracanes, etc. que combinados con las características socioeconómicas y la situación de degradación de los recursos naturales prevalecientes, lo convierten en un región sumamente vulnerable. Los registros de la CNE establecen que esta región en promedio es afectada por dos eventos de importancia durante el año, sin que estos sean catalogados en la categoría de huracanes.

Por lo tanto, urge la implementación de programas y proyectos orientados a desarrollar las capacidades en la población para manejar y responder en forma adecuada y oportuna a los peligros naturales a los que permanentemente esta expuesta.

La Sección de Sistema de Información para Emergencia de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgo y Atención de Emergencia (CNE), tiene registrado como eventos hidrometeorológicos más destructivos entre 1980 y 1999 los siguientes:

- **El huracán Joan en octubre de 1988.**
- **El Huracán Cesar entre el 27 y 26 de julio de 1996.**
- **El Huracán Mitch ocurrido en octubre de 1998.**
- **El Huracán Floyd en 1999.**
- **La tormenta Alma en 2008**

Muestra de lo anterior son las tormentas que se presentaron en la región en el 2008 producto de un sistema de baja presión. Estas tormentas fueron especialmente destructivas en los valles y las áreas costeras, resaltando la urgente necesidad de impulsar actividades de prevención, mitigación y preparación con una fuerte participación local.

f. Descripción del proyecto.**Ubicación**

Los SAT deben ser diseñados respetando la cuenca hidrográfica como el ámbito necesario para su implementación. Para la ejecución de este proyecto se seleccionaron las cuencas hidrográficas de los ríos Candelaria y Pirrís, así como la cuenca de Parrita, luego de que la confluencia de los ríos Candelaria y Pirrís

Justificación

Desde 1991 la CNE estableció una serie de puestos de vigilancia en la región, los cuales brindan información acerca de los cambios climáticos locales. Esta información es utilizada por la CNE para establecer tendencias climáticas relacionadas con los desastres. Si bien es cierto, no existe un sistema nacional de alerta temprana, se considera que esta información ha sido útil para determinar incrementos de las vulnerabilidades locales y para comunicar advertencias e instrucciones durante una posible emergencia, declarada en base de los pronósticos regionales brindados por el Instituto Meteorológico Nacional.

Los registros de la CNE establecen que esta región en promedio es afectada por un evento de importancia durante el año, sin que estos sean catalogados en la categoría de huracanes. De acuerdo a la clasificación de la CNE, el área de los ríos Candelaria y Pirrís-Parrita está dentro de la categoría con mayor frecuencia a eventos hidrometeorológicos, con la consecuente exposición de un importante sector de la población Costarricense.

Considerando las características físicas de la cuenca (área de la cuenca, longitud y pendiente promedio del río), la frecuencia de las inundaciones, la cantidad de personas en peligro en las comunidades afectadas, se ha establecido la urgente necesidad de instalar un Sistema de Alerta Temprana en esta cuenca.

Metodología

Los SAT serán efectivos, si hay una adecuada coordinación de los diferentes componentes involucrados como ser:

- Diseño, instalación y operación del SAT.
- Análisis participativo de la vulnerabilidad y
- Organización y capacitación para dar respuesta al SAT.

Diseño, Instalación y Operación del SAT

Los sistemas de alerta temprana constituyen un instrumento eficaz frente a situaciones, en donde no se pueda dar solución permanente a la problemática de inundaciones. Además, es el complemento ideal de un plan de emergencia en el cual se alerte a la población local, se organice la evacuación de las personas hacia sitios seguros y se administren las primeras distribuciones de provisiones.

La implementación de un sistemas comunitarios de alerta temprana deben estar enmarcadas en un proceso comunal, partiendo del nivel comunitario, con la participación de líderes de la zona afecta (zona de respuesta), hasta alcanzar el nivel de cuenca como unidad de diseño, con la participación de las autoridades cantonales, del comité de emergencia local y de voluntarios representantes de comunidades y/o asentamientos de la cuenca alta y media (zona de monitoreo de condiciones climáticas de la cuenca).

Diseño del SAT

En el diseño del SAT, el pronóstico de inundaciones en los ríos se efectúa partir de dos indicadores: el volumen de lluvia y el nivel del río. Para utilizar el primer indicador es necesario recolectar los datos de precipitación de las estaciones existente, tales como las del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) y Instituto Meteorológico Nacional (IMN), etc. Para luego realizar el análisis hidrológico, el cual establece el comportamiento acumulado para una tormenta de 24 horas de duración, con un mínimo período de retorno que produzca inundaciones. Cuya condición crítica se presenta cuando la duración de la lluvia se iguala los tiempos de concentración del sitio vulnerable a inundación.

La forma más conocida para derivar áreas inundables, consiste en un análisis hidráulico en los tramos críticos del río, los cuales se seleccionarán sobre la base de registros históricos y repetitivos recientes, sitios de respuesta, etc., en cada uno de los ríos en estudio. Se pretende de esta manera, evaluar niveles máximos que puede alcanzar el agua cuando se presenta una crecida con un período de retorno dado. Para el diseño del Sistema de Alerta Temprana, es necesario tomar el menor período de retorno en el cual se presentará una inundación.

Para el diseño del sistema de alerta, es necesario conocer el caudal que para un determinado período de retorno, pasará por una sección determinada en el cauce de un río (para el caso puntos de control o puntos de monitoreo y sitios de respuesta), y el tiempo que tardará ese caudal en llegar a cada uno de esos sitios, estaciones o secciones dentro del cauce del río y que son potencialmente causantes de inundaciones en zonas vulnerables, principalmente caseríos, aldeas, ciudades, escuelas, etc., en donde se encuentren concentraciones de personas en peligro de perder la vida y los bienes materiales.

Si el promedio de lluvia sobrepasa los límites establecidos, es posible que se produzca una inundación en el sitio en estudio, para el cual se está pronosticando y la certeza de la inundación se obtiene cuando la lectura de los niveles de los ríos, también sobrepasan los parámetros establecidos.

Para la elaboración de los pronósticos se tomarán en consideración los datos que se obtengan tanto de las estaciones manuales operados por los voluntarios, como la información brindada desde las estaciones telemétricas existentes en la cuenca.

Uso de modelos lluvia escorrentía en el diseño del SAT

Los modelos hidrológicos lluvia-escorrentía, tipo HEC-HMS ó similar, permiten conocer la forma cómo responden las diferentes subcuencas, que integran la cuenca total, ante la ocurrencia de tormentas extremas; la cual es una pieza de información muy valiosa para el diseño de Sistemas de Alerta Temprana. Adicionalmente, dichos modelos permiten estimar los niveles de lluvias que producirán hidrogramas con caudales superiores a los umbrales, por encima de los cuales comienzan a producirse daños por inundaciones, en las diferentes localidades de la cuenca que son susceptibles a este tipo de eventos extremos.

El máximo (potencial o teórico) tiempo de alerta varía con la magnitud de la tormenta, la ubicación de su centro de máximas precipitaciones y la humedad antecedente almacenada en el suelo (al comienzo de la tormenta), que a su vez depende de las tormentas ocurridas en días anteriores. Este máximo tiempo de alerta se define como el intervalo de tiempo entre el inicio de la tormenta y el tiempo al cual el nivel de las aguas supera un determinado umbral, a partir del cual se producen los daños, en una determinada localidad. Por lo tanto, dicho tiempo también dependerá de la ubicación relativa de las zonas susceptibles a inundaciones periódicas.

El tiempo de alerta real será menor que el máximo teórico y dependerá de la estructura temporal del hietograma que caracteriza la tormenta y la respuesta de la cuenca a la ocurrencia del mismo. Dado su variabilidad, generalmente, en los sistemas de alerta se define lo que se conoce como valor esperado del tiempo de alerta, el cual se puede estimar utilizando el modelo HEC-HMS calibrado para la cuenca de Banano. Este tipo de análisis permite verificar la operatividad de este tipo de sistemas de alerta.

Para llevar a cabo este análisis es necesario realizar las siguientes actividades:

- Utilizando la información de lluvias en las diferentes estaciones pluviométricas que conforman la red, se debe analizar la variación espacial de las tormentas extremas, a través de planos isoyéticos que permitan ubicar los centros de las mismas y su cobertura espacial. Este análisis, conjuntamente con el uso del modelos HEC-HMS, permitirá conocer la forma como responden las diferentes subcuencas ante la ocurrencia de este tipo de eventos.
- Teniendo la variación espacial de las tormentas se procede a ejecutar dicho modelo para diferentes escenarios de tormentas extremas, que incluyan aquellas asociadas a períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. El resultado de este análisis corresponderá a la estimación de los caudales máximos, asociados a cada período de retorno, que ocurrirán en cada una de las localidades que sufren de inundaciones periódicas.
- Utilizando modelos hidráulicos, tipo FLOODAREA, se estiman los caudales que representan el umbral por encima del cual se producen los diferentes tipos de daños que ocasionarían los diferentes tipos de alerta, que algunos autores (Villagrán - UNICEF, sin fecha) denominan verde, amarilla, naranja y roja.
- Con esta información y los modelos tipo HEC-HMS, se puede estimar el valor esperado de los tiempos de alerta para cada una de las localidades que integran la zona.

Como se puede observar, en párrafos anteriores, lo que se propone es el uso de modelos lluvia esorrentía, para conocer la forma que responden las cuencas, ante la ocurrencia de tormentas extremas, a los fines de estimar los caudales umbrales, en cada localidad, a partir de los cuales, se supera el nivel de daños asociados a diferentes tipos de alerta; las características de la lluvia que los produjo y el tiempo de alerta promedio que puede tener cada localización. Esta información conjuntamente con las posibles regresiones que se puedan establecer con las observaciones de lluvia y niveles de agua, permitirán definir las características operativas de dichos sistemas de alerta.

Dado que lo que se propone son sistemas de alerta comunitarios, simples y de bajo costo, no se incluye la posibilidad de utilizar estos modelos hidrológicos en tiempo real, para realizar pronósticos en línea, ya que para su operación se requiere de personal técnico de alto nivel, durante las veinticuatro horas del día, debido que en estas cuencas los tiempos de respuesta son cortos, en términos de horas.

Instalación del SAT:

Para medir la cantidad de lluvia que cae dentro de la cuenca, se instalarán en lugares abiertos de los patios de las casas de los operadores voluntarios, pluviógrafos electrónicos de fácil lectura que funcionan a base de baterías, respaldados mediante sencillos pluviómetros manuales. Estos serán distribuidos en toda la cuenca y se instalarán respetando las normas de la Organización Meteorológica Mundial. Ambos aparatos deberán instalarse en paralelo, sobre una base de tubería HG de ½ " de Ø y con altura libre mínima de 1.50 m., la cuales deberá colocarse completamente vertical y empotrada en concreto.

Por otro lado, se fijarán en el cauce de los ríos escalas hidrométricas, compuestas con por un sensor que a base de electrodos detecta los cambios de nivel del agua, esta información se transmite a través de un cable multipar hasta la unidad electrónica digital, colocada en la vivienda del operador (elaboradas en el ámbito local). La información obtenida podrá ser respaldada con los niveles que se observen en una escala pintada.

Los datos obtenidos son monitoreados y recolectados por operadores voluntarios, quienes a su vez transmiten la información a través de una red de radio comunicación, a las personas a cargo de elaborar los pronósticos de inundaciones con base en parámetros preestablecidos durante el diseño del SAT y que se irán calibrando a medida se presenten los eventos.

Es conveniente que los pronósticos se elaboren a nivel local. Si el pronóstico obtenido indica la probable ocurrencia de una inundación, el comité local de emergencia en coordinación con las autoridades cantonales y de la CNE, procederan a dar la voz de alerta verde, amarilla o roja según sea el caso, para que los comités comunales de emergencia de cada comunidad, respondan con efectividad y tomen las medidas previstas en sus planes de respuesta y/o de emergencia frente a un potencial peligro.

La red de radio comunicación estará programada en la frecuencia de operación de la CNE. Sin embargo, será necesaria la adquisición e instalación de una estación repetidora, cuyas características se apegen a las exigencias de la CNE. Repetidora para operación en banda de 2 metros, 136 a 174 MHz, rango real de 136 a 150 MHz; salida de potencia de 100wats máxima, espacio entre canales de 12.5 y 25 KHZ. Selección por programación, operación del modo duplex, alimentación de fuente a 110 VAC con conversión 14 VDC, con conexiones de interfase para enlaces, con operación remota vía enlace a 4 hilos, con cargador automático de carga y transferencia de batería, tiempo de cola programable.

Los radios de comunicación que se ubicaran en los sitios de monitoreo de precipitación y nivel del río en la cuenca alta, media y baja, en el sitio donde se harán los pronósticos y en las comunidades donde se dará respuesta a la alerta. Se adquirirán de acuerdo a las características establecidas por la CNE, de la manera siguientes; radios bases de 64 canales, con antena yaqui, fuente de poder o set de energía solar de 75 wats según sea el caso, con batería libre de mantenimiento y todos los accesorios de instalación. Por último, se adquirirán radios portátiles tipo walkie talkie, banda de 2 metros VHF, frecuencia de operación 136-154 MHZ, capacidad de canales no menor de 60, para ser utilizados por miembros del comité local de emergencia y autoridades cantónales. En el cuadro No. 1 se muestra la distribución y el equipo mínimo para implementar el sistema de alerta temprana en la cuenca hidrográfica seleccionada.

El sistema comunitario de alerta temprana, deberá ser respaldado con la instalación y operación en las cuencas, de tres estaciones telemétricas que brinden datos en tiempo real, en base a un circuito cerrado de transmisión de datos.

Estas estaciones serán compatibles y formaran parte del sistema automatizado de recolección de datos de lluvia y nivel del río, de la organización que la CNE designe.

El consultor deberá proveer e instalar los equipos automatizados para la lectura de datos de lluvia y nivel del río, para la trasmisión de datos, para el almacenamiento y procesamiento de los datos adquiridos con intervalos de 15 minutos; además los manuales de operación y el software para el análisis de los datos en tiempo real. También deberá brindar el entrenamiento al personal necesario, para operar y mantener las estaciones. La ubicación e instalación de estas estaciones se hará en coordinación con la CNE y con la institución que ellos designen para que quede a cargo de las mismas.

Distribución del Equipo en las Cuenca del los Rio Candelaria, Pirrís y Parrita

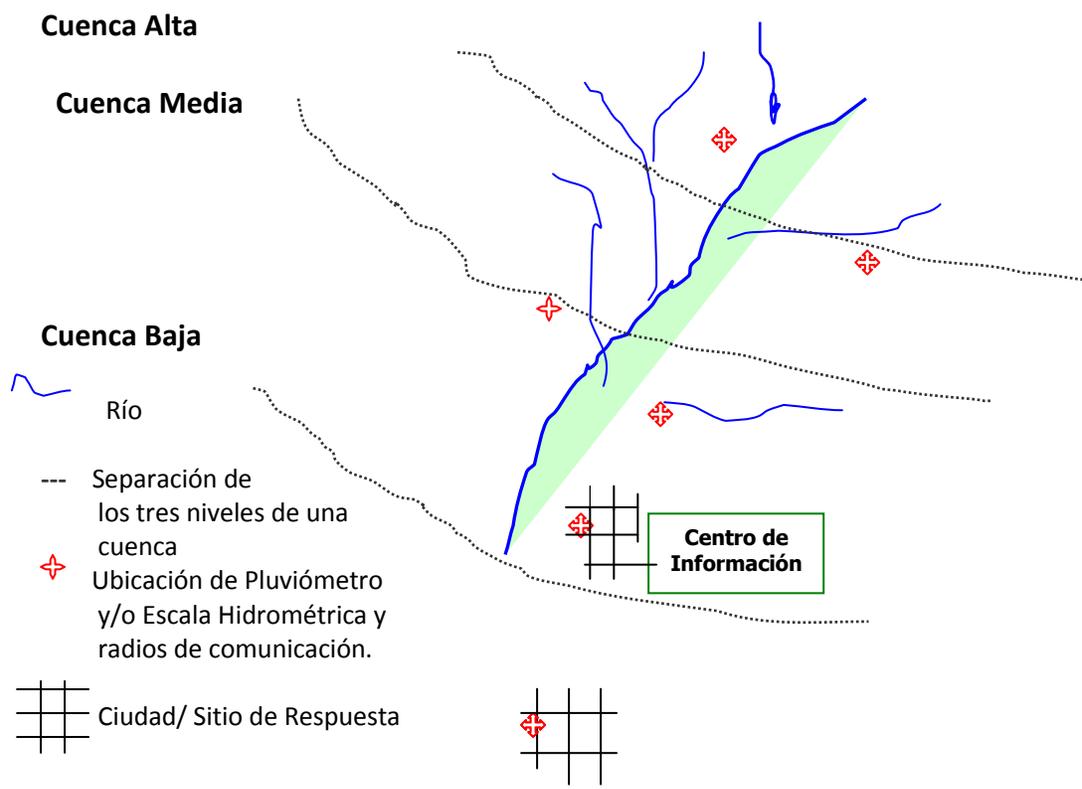
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Pluviógrafo	6
Pluviómetro	6
Escala de sensor	3
Escala pintada	3
Radios bases	9
Radios portátiles	3
Estaciones Telemétricas	3

Operación del SAT

Los sistemas que se proponen son operados por voluntarios en el ámbito local, utilizando una serie de instrumentos sencillos de monitoreo de amenazas (pluviómetros y escalas) distribuidos en toda la cuenca hidrográfica, los operadores voluntarios toman los datos lluvia y nivel del río. Estos datos son enviados a través de una red de radiocomunicación a un centro de información (centro de información y/o operaciones o en su lugar una oficina cantonal-municipal), donde la recibe la persona(s) encargada de procesar la información y elaborar el pronóstico, esta persona puede ser miembro del comité local, de las organizaciones de socorro o empleado del cantón, según sea más conveniente.

Si el pronóstico indica que existe el peligro de una inundación el Comité Local de Emergencia en coordinación con la CNE, envía a través de la red de radios, la voz de alerta, para que los Comités Comunitarios de Emergencia pongan en práctica los planes de respuesta. Los SAT son sustentados por capacidades locales de organización, planificación y gestión, son una forma efectiva de evitar la pérdida de vidas durante las inundaciones. Un esquema de esto se muestra a continuación.

MODELO DEL SAT



Análisis Participativo de Vulnerabilidad

Para establecer los SAT se debe hacer la verificación de la amenaza, el análisis de la vulnerabilidad y determinación de los riesgos en el ámbito comunal. Considerando como unidad espacial la cuenca, se desarrollarán jornadas participativas con el propósito de que los miembros de los comités y líderes comunitarios, tengan claros los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. Durante este proceso, se verificará la amenaza, se analizará la vulnerabilidad y se incrementará la percepción del riesgo de los participantes. Esto facilitará la visión de medidas de mitigación y su implementación, como parte integral de la gestión comunitaria y del desarrollo local. Estas jornadas apoyarán el proceso de elaboración de los mapas de amenazas y de selección de las zonas prioritarias para brindar la alerta temprana.

Organización y Capacitación

Para la incorporación de los sistemas de alerta en los planes de emergencias locales, es necesario un proceso de fortalecimiento organizativo, sensibilización y capacitación local y comunal. El componente de organización y capacitación, va dirigido hacia todos los grupos que integran el SAT.

En las cuencas, se desarrollarán un seminario taller dirigido a grupos de 30 operadores voluntarios y/o sus familiares, acerca del funcionamiento de los SAT, y de la instalación, operación y mantenimiento de los instrumentos de medición (pluviómetros, pluviógrafos y escalas hidrométricas, etc.). También se les brindará un taller para la cuenca, acerca de la operación y mantenimiento de los radios de comunicación, a los operadores voluntarios y a los miembros de los comités comunales encargados de la comunicación.

Se brindará capacitación mediante un seminario taller de 30 personas, a los miembros de los comités locales de emergencia (CLE) y a las personas encargadas de los pronósticos (estos que pueden ser miembros de los bomberos, autoridades cantónales, miembros de los CLE, etc.) acerca de la operativización de los SAT y elaboración de pronósticos, elaboración de planes locales de emergencia, ejecución y evaluación de simulaciones y simulacros, etc.

Para la capacitación de los comités comunales se harán al menos 8 talleres de capacitación de temas tales como, los roles y deberes de los miembros de los comités de emergencia, elaboración de mapas de amenazas e identificación de los recursos de la comunidad, operativización y seguimiento de los SAT, preparación de los planes comunales de respuesta a los SAT, primeros auxilios, procesos y técnicas de evacuación, manejo de albergues, ejecución y evaluación de simulacros, etc.

Cada taller estará dirigido para un promedio de 30 líderes comunitarios que formen parte de las comunidades afectadas por las inundaciones. Durante los talleres se asignarán tareas, para lograr el efecto multiplicador en las comunidades, durante este proceso el

consultor, a través de promotores sociales con presencia permanente en la zona del proyecto, dará seguimiento a las actividades que realicen los comités. Todo este se hará con el propósito que el sistema quede funcionando en torno a las comunidades, esto permitirá que la población se apropie de los sistemas y se descentralicen el proceso de respuesta a las emergencias.

Actividades por Desarrollar

Se deberán llevar a cabo las actividades necesarias para realizar el diseño, instalación y operación de los sistemas de alerta, en coordinación con las instituciones nacionales y/o locales responsables del manejo de la información hidrometeorológica, atención de emergencias y los Gobiernos Locales.

Las actividades del proyecto incluyen los siguientes elementos principales:

1. Diseño e instalación en la cuenca del río Banano del sistema de alerta temprana de baja tecnología. Se realizarán las siguientes actividades:
 - Visitas de campo para identificación de operadores voluntarios.
 - Recopilación de la información y análisis de datos hidrometeorológicos.
 - Investigación de las características de eventos históricos y determinación de períodos de retorno.
 - Diseño del sistema de alerta, determinación de la ubicación de los instrumentos y análisis de parámetros de inundación.
 - Instalación del sistema comunitario de alerta temprana, lo cual incluye la instalación de los pluviómetros, escalas hidrográficas y radios de comunicación.
 - Instalación de dos estaciones telemétricas.
 - Capacitación para el manejo y operación de las estaciones telemétricas.
 - Elaboración de pronósticos de inundaciones, considerando lo siguiente:
 - Precipitación observada por la comunidad en los puntos de control.
 - Altura del nivel del agua observada por los operadores voluntarios en la sección de control.
 - Tiempo de Concentración entre puntos de control.
 - Información lluvia y nivel del agua en el río recaba y procesada por la institución a cargo de la estaciones telemétricas.
 - Plan para difusión e la alerta temprana.
2. Jornadas participativas para la verificación de la amenaza, el análisis de la vulnerabilidad y determinación de los riesgos en el ámbito comunal.
3. Elaboración y/o actualización de los mapas comunitarios de amenazas y recursos, de las comunidades afectas dentro del área de trabajo.
4. Previo al diagnóstico correspondiente, debe propiciarse la organización y/o reorganización del comité local y de comités comunitarios de emergencia.

5. Instruir a los miembros de los comités acerca de sus roles y responsabilidades durante la preparación, prevención y mitigación de las inundaciones. Fortalecerles para que puedan responder eficientemente durante una emergencia y respuesta a las inundaciones.

6. Capacitar al mayor número de personas de diferentes sectores de la comunidad, para que contribuyan de forma eficiente a operar los sistemas de alerta y manejar una situación de emergencia. Desarrollar temas tales como:

- Funcionamiento general de los sistemas de alerta temprana.
- Entrenamiento para instalación, operación y mantenimiento de los instrumentos de medición (pluviómetros y escalas de nivel de los ríos).
- Operación y mantenimiento básico de radios de comunicación
- Pronósticos de inundaciones y procedimientos de alertas.
- Elaboración o actualización de los planes locales de emergencia.
- Elaboración de planes de respuesta ante las alertas y procesos de evacuación.
- Socialización del procedimiento de respuesta.
- Primeros auxilios.
- Procedimientos y técnicas de evacuación y rescate.
- Manejo de albergues.
- Ejecución y evaluación de simulacros.

7. Elaboración, publicación y distribución de afiches y trípticos que contribuyan a formar conciencia en la población en la prevención, mitigación y preparación, ante las emergencias de esta naturaleza.

8. Redacción de informes de avances, documentos técnicos y manuales de operación:

- Documento con la memoria de cálculo del análisis hidrológico-hidráulico, diseño de los sistemas de alerta y determinación de los parámetros básicos para la elaboración de pronósticos.
- Manual sencillos, para el uso y mantenimiento sus instrumentos de medición incluyendo formularios de monitoreo.
- Manual de operación y mantenimiento básico de radios de comunicación.
- Planes de emergencia y de respuesta a las alertas.

Productos Esperados

De las actividades en la cuenca se esperan obtener los siguientes resultados y productos:

- Mapas de peligro de inundaciones y de recursos elaborados por cada una de las comunidades afectadas, esto ya se ha adelantado
- Un sistema de alerta temprana de baja tecnología diseñado, con componentes instalados, mantenidos y operados por voluntarios de las comunidades.
- Operadores voluntarios capacitados para la instalación, operación mantenimiento de los instrumentos de monitoreo (pluviómetros y escalas de nivel de los ríos).

- Operadores de los radios de comunicación capacitados en el uso y mantenimiento preventivo de radios.
- Dos estaciones telemétricas instaladas y operando.
- Personal a cargo de las estaciones telemétricas entrenadas.
- Comités de emergencias locales y comunales organizados.
- Por lo menos dos talleres para el comité local y ocho talleres para la capacitación de miembros de los comités comunales.
- Manual para operación y mantenimiento de instrumento de medición, elaborados.
- Un manual para operación y mantenimiento de radios de comunicación, elaborados.
- Afiches y trífolios publicados y distribuidos.
- Dos documentos técnicos contentivos de la siguiente información:
 - Resumen ejecutivo.
 - Memoria del diseño e instalación de sistemas de alerta de inundaciones.

g. Beneficiarios del proyecto. Este proyecto ha sido concebido para trabajar directamente con los Comités Locales y Comunales de Emergencia, con el fin de que las decisiones y acciones que ellos tomen durante una emergencia beneficien directamente a las personas que habitan las zonas de alto riesgo. Entre las comunidades habitualmente afectadas por las inundaciones y que posiblemente recibirán una voz de alerta en la cuenca La Julieta, Parrita, Pueblo Nuevo y otras. **En Mayo del 2008 se presentó la necesidad de evacuar alrededor 500 personas en estas comunidades.**

h. Mecanismo de ejecución propuesto. El mecanismo de ejecución de este proyecto debe ser definido con la participación de JAPDEVA, la Comisión Nacional de Emergencia y el Instituto Meteorológico, ICE, MINAE y MIDEPLAN.

i. Mecanismos de sostenibilidad. El programa financiará el costo de las estaciones. El mecanismo de sostenibilidad será diseñado durante la 1era etapa de ejecución del programa con la participación de las instituciones ejecutoras, los municipios y pobladores en las áreas críticas de inundación. Este mecanismo tendrá en cuenta los siguientes aspectos: 1) responsabilidad técnica, 2) responsabilidad de ejecución para garantizar el alcance de los objetivos del proyecto, 3) responsabilidad administrativa del sistema, 4) responsabilidad de financiamiento, 5) acuerdos interinstitucionales.

j. Costo del proyecto.

Aspecto	Unidad	Cantidad	Precio unitario \$	Precio Total \$
Organización Comunitaria				290.00
Jornadas para la organización Comités Comunitarios	Jornadas	6	40.00	240.00
Reorganización/ Conformación Comités Locales	Jornadas	1	50.00	50.00
Capacitación de Comités y operadores				12,180.00
Capacitación acerca del roles y responsabilidades de los comites comunitarios (1 día)	Jornadas	1	360.00	360.00
Capacitación para los comités comunitarios acerca del funcionamiento de los SAT (1 día)	Jornadas	1	360.00	360.00
Capacitación para los comités comunitarios para la elaboración de planes de respuestas y procedimientos de evacuación (2 días)	Jornadas	1	720.00	720.00
Capacitación para los comites comunitarios para la ejecución y evaluación de simulacros (2 días)	Jornadas	1	720.00	720.00
Capacitación para los comités comunitarios acerca primeros auxilios (3 días)	Jornadas	1	1,100.00	1,100.00
Capacitación para los comités comunitarios acerca procedimieto y técnicas de evacuación (3 días)	Jornadas	1	1,100.00	1,100.00
Capacitación para los comités comunitarios acerca el manejo de albergues (2 días)	Jornadas	1	720.00	720.00
Jornada para la actualización de los planes de emergencia local (2 días)	Jornadas	1	1,000.00	1,000.00
Capacitación del Comité Local de Emergencia para la operativización y pronósticos de los SAT y ejecución de simulacros(2 días)	Jornadas	1	1,000.00	1,000.00
Capacitación para operar las escalas, los pluviómetros y pluviógrafos (2 días)	Jornadas	1	1,700.00	1,700.00
Capacitación para operación de radios de comunicación (4 días)	Jornadas	1	3,400.00	3,400.00
Análisis de Vulnerabilidad				1,080.00
Jornada para el análisis de vulnerabilidad con participación comunitaria (1 día)	Jornadas	1	360.00	360.00
Capacitación para la elaboración de mapas de amenazas y recursos (2 días)	Jornadas	1	720.00	720.00
Instrumentación e instalación de los SAT				28,680.00
Escalas hidrométricas con sensores electrónicos incorporados y escalas pintadas	Unidades	3	700.00	2,100.00
Pluviógrafos electrónicos y pluviómetros manuales	Unidades	7	170.00	1,190.00
Radios bases de comunicación con sus accesorios	Unidades	9	1,000.00	9,000.00
Radios portátiles	Unidades	3	330.00	990.00
Set de energía solar	Unidades	4	1,100.00	4,400.00
Antena repetidora	Unidades	1	11,000.00	11,000.00
Seguimiento				1,660.00
Jornadas seguimiento para la elaboración de planes de emergencia y de respuesta	Jornadas	7	100.00	700.00
Jornadas seguimiento a los mapas de riesgo	Jornadas	6	100.00	600.00
Elaboración Mapas	Unidades	6	60.00	360.00
Simulacros				500.00
Ejecución y evaluación de simulacros por cuenca	Jornadas	1	500.00	500.00
Personal de Apoyo para el seguimiento y ejecución del proyecto				15,000.00
Facilitadores Locales	mes	18	600.00	10,800.00
Asistente para la ubicación de los sitios de monitoreo	mes	4	600.00	2,400.00
Transporte y Manutención	mes	18	100.00	1,800.00
Personal Técnico Especializado				49,850.00
Coordinador del proyecto	día/consultor	250	150.00	37,500.00
Consultores Técnicos Especializados	día/consultor	95	130.00	12,350.00
Logística y Apoyo				22,610.00
Transporte	Mes	18	825.00	14,850.00
Combustible	Mes	18	150.00	2,700.00
Viaticos	días	40	50.00	2,000.00
Oficina	Mes	18	100.00	1,800.00
Equipo didactico	Mes	18	30.00	540.00
Comunicación	Mes	18	40.00	720.00
Publicaciones y Documentos				2,960.00
Informes de Avance	Documento	3	50.00	150.00
Elaboración y reproducción de 2 manuales	Ejemplares	70	3.00	210.00
Elaboración, publicación y distribución de afiches y trífolios	Unidades	100	17.00	1,700.00
Informe Ejecutivo	Documento	1	400.00	400.00
Memoria técnica acerca diseño del SAT	Documento	1	500.00	500.00
Costo Total				134,810.00