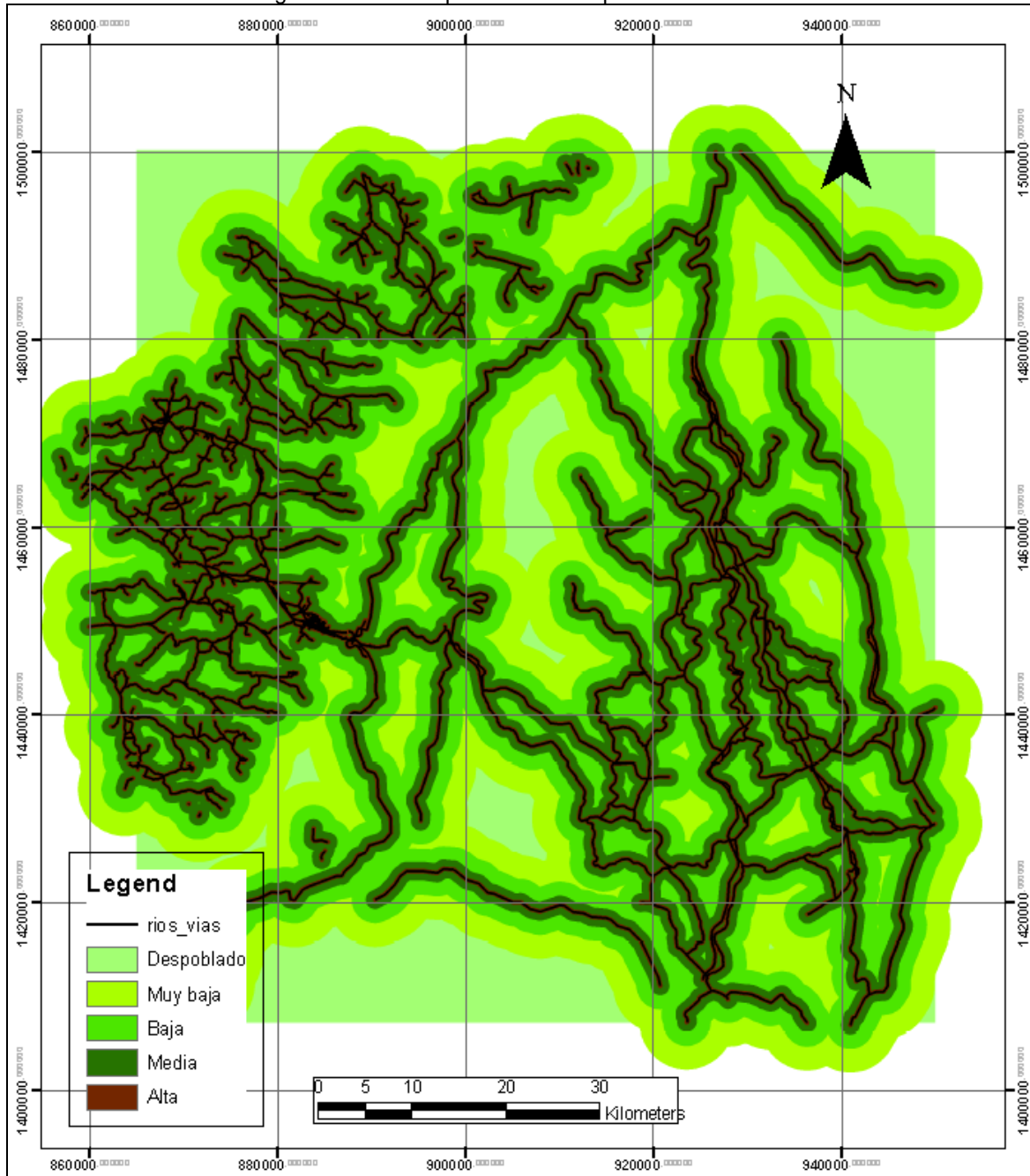


Figura No 7.50. Mapa densidad de población

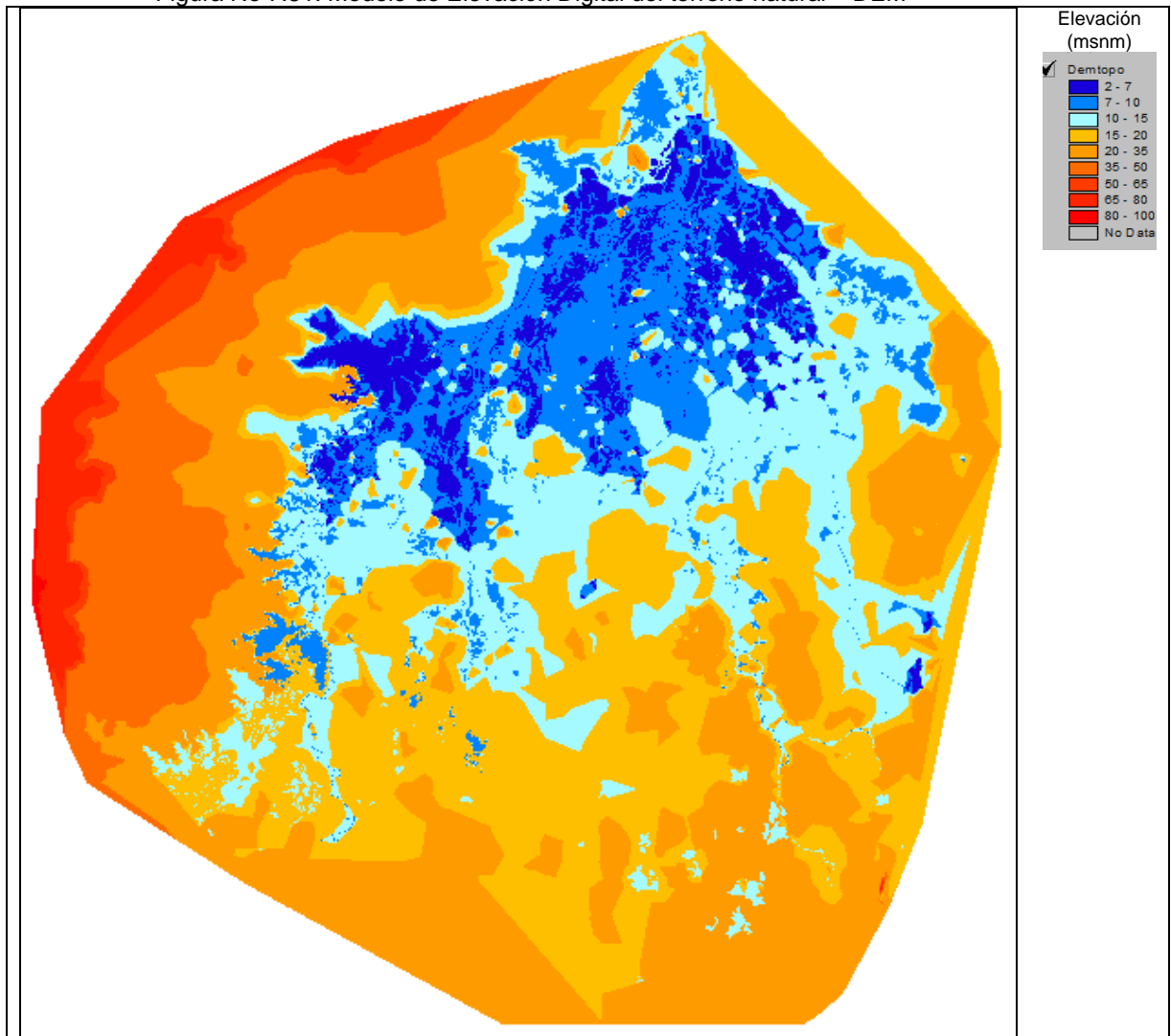


## 7.5 MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL DEL TERRENO

Aplicando la metodología descrita en el capítulo 5.3.1 se construyó un modelo de elevación digital del terreno con celdas de 20 x 20 m (ver Figura No 7.51).

Para la construcción del DEM se utilizó toda la información disponible, garantizando así la mayor precisión posible, teniendo en cuenta que la información cartográfica es escasa y fue generada en distintas fechas y por métodos diferentes, se aumenta significativamente el margen de error. No obstante para los fines de esta investigación la información obtenida corresponde con los alcances.

Figura No 7.51. Modelo de Elevación Digital del terreno natural – DEM



Este modelo de elevación digital fue utilizado en la generación de manchas de inundación, las cuales a su vez dieron lugar a los mapas de probabilidad de inundación que se incorporaron al Automata Celular.

## 7.6 HIDRODINÁMICA Y PROBABILIDAD DE INUNDACIÓN EN LA MOJANA

### 7.6.1 Descripción del sistema físico

En capítulos anteriores se afirmó que la Mojana, constituye un complejo sistema hídrico del cual hacen parte los ríos San Jorge, Cauca, el brazo de Loba del río Magdalena, y un sin número de caños y ciénagas. La Mojana está ubicada en el centro de las llanuras del Caribe, está delimitada geográficamente por el río Cauca al oriente, el río San Jorge y la ciénaga de Ayapel al occidente, el brazo de Loba del río Magdalena al nororiente, y la Serranía de Ayapel al sur. Con un área de 6.000 km<sup>2</sup> (600.000 hectáreas), hace parte de la denominada Depresión Momposina, y se comporta como un delta aluvial interno de tierra baja e inundable con cotas entre los 36 msnm y los 16 msnm.

En la región se identifica una fuerte interrelación entre los cuerpos de agua superficiales (ríos, caños y ciénagas) y el sistema de agua subterránea, con un nivel freático variable, gran

cantidad de aljibes y pozos de poca profundidad y cauces superficiales cuyo caudal provienen en gran medida de aguas subterráneas.

Aguas abajo, el control hidráulico del sistema es impuesto por el río Magdalena, el cual tiene la capacidad para restringir las descargas del río San Jorge y del sistema de ciénagas, los cuales responden con reflujos, almacenamiento de excesos y amortiguación de crecientes, siendo frecuente observar que literalmente *“el agua corre hacia arriba”*.

Hidrológicamente se presenta un pulso de inundación, que es responsable de la existencia, productividad e interacciones de la biota. El período de inundación llega a 8 meses (abril a noviembre), mientras el período seco se extiende 4 meses (diciembre a marzo). Durante la época de aguas altas el espejo de agua alcanza 278.460 ha, y durante aguas bajas sólo llega a 36.000 ha (Aguilar, 2004).

#### 7.6.1.1 Procesos hidrológicos

En la región se pueden identificar los siguientes procesos hidrológicos:

1. Aguas abajo, el control hidráulico del sistema es impuesto por el río Magdalena, ocasionando:

- Restricción de las descargas del río San Jorge y del sistema de ciénagas
- Reflujo hacia aguas arriba del río San Jorge
- Almacenamiento de excesos de caudal por varios meses los cuales son desaguados lentamente
- Amortiguación de crecientes
- Pérdida del curso de río San Jorge en medio de ciénagas de gran extensión

2. El cauce del río Cauca se encuentra más elevado que el del río San Jorge, ocasionando:

- Desbordamiento del río Cauca hacia La Mojana (máximas crecientes históricas)
- Conformación de un delta aluvial interno (Caños Mojana, Pancegúita y Rabón)
- Aumento de caudales
- Flujo de agua subterránea del Cauca hacia el San Jorge, aumentando el caudal base de algunos caños (caño Mojana)

3. Al río San Jorge confluyen por la margen izquierda varios arroyos, los cuales aportan caudal base, flujo de escorrentía, sedimentos e incluso aguas residuales.

4. Comunicación entre los cuerpos de agua superficiales y el sistema de agua subterránea.

5. Nivel freático alto, con gran cantidad de aljibes y pozos de poca profundidad.

6. Cauces superficiales con alto aporte de caudal de aguas subterráneas, como es el caso del caño Mojana que recibe aportes desde la cuenca del río Cauca.

7. La presencia de un gran espejo de agua almacenado durante varios meses y la cobertura vegetal ocasionan una evapotranspiración considerable.

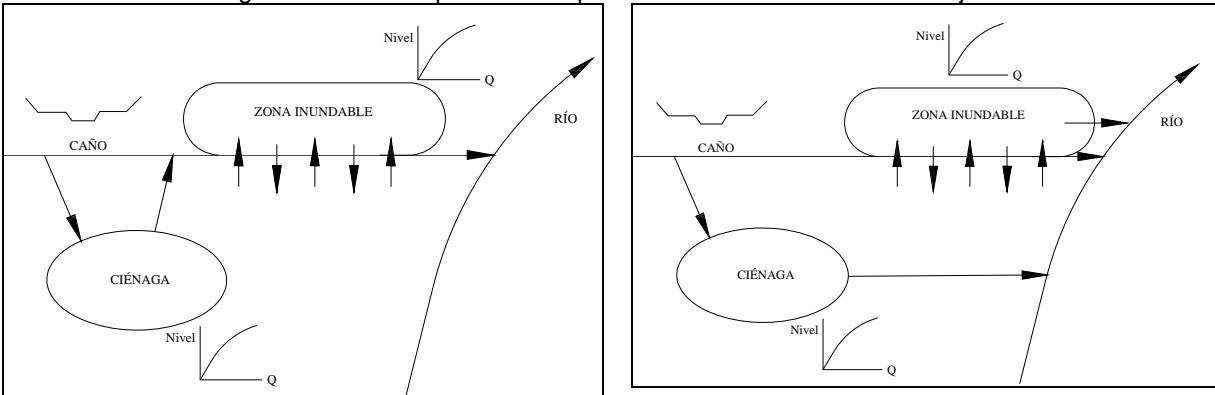
8. La precipitación tiene variaciones a nivel espacial, y por las condiciones particulares de la región es necesario considerar los siguientes fenómenos:

- La precipitación es interceptada por la vegetación (bosques y cultivos)
- Rápido encharcamiento por baja pendiente y alta humedad.
- Precipitación directa sobre cuerpos de agua.

9. La baja pendiente de los cauces y el almacenamiento de excesos de caudal en las ciénagas se traduce en retención de sedimentos, con lo cual los cuerpos de agua pierden continuamente capacidad de almacenamiento.

10. Continua interrelación entre los cuerpos de agua superficiales (ríos, caños y ciénagas).

Figura No 7.52. Esquema conceptual del sistema hídrico de La Mojana

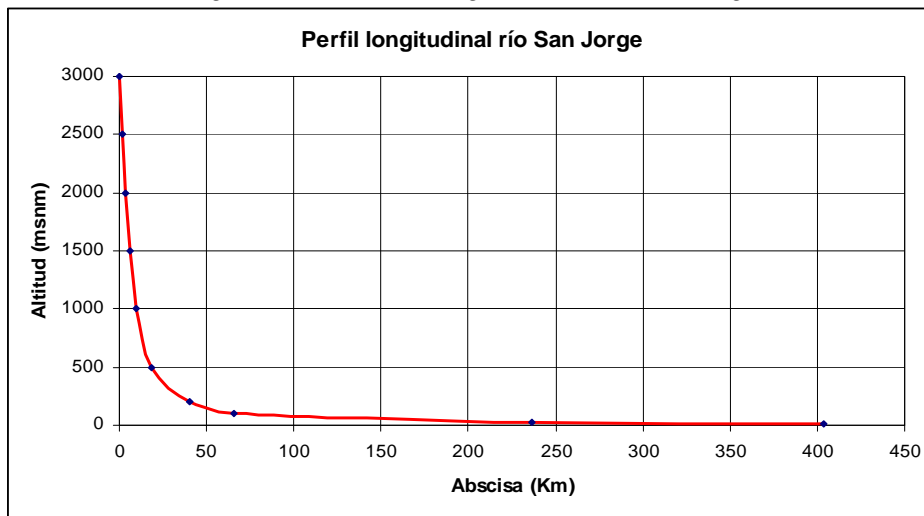


7.6.1.2 Síntesis fisiografía, geomorfología y dinámica fluvial de la cuenca del Río San Jorge

Durante el segundo semestre de 2008, en el curso “Geomorfología y Dinámica Fluvial” el investigador realizó una caracterización de la cuenca del río San Jorge, utilizando como insumos cartografía del IGAC, fotografías aéreas, e información secundaria sobre hidrología y geología. El objeto del trabajo fue conocer las características y dinámica del río San Jorge, con el objeto de dar soporte físico a la modelación hidrodinámica de la región. A continuación se presentan brevemente los resultados de este análisis.

La cuenca del río San Jorge tiene un área total de 17.749 km<sup>2</sup>, su forma es alargada y la pendiente en la cuenca baja alcanza el 0,126% (ver Figura No 7.53).

Figura No 7.53. Perfil longitudinal del río San Jorge



Fuente: Franco A, 2008

Tabla No 7-56. Cálculo de la pendiente de Taylor - Río San Jorge

Altura inicial (m)	Altura final (m)	Longitud L <sub>i</sub> (m)	Pendiente S <sub>i</sub>	L/(S <sub>i</sub> ) <sup>1/2</sup>
3000	2500	1470	0.3401	2520.52
2500	2000	2070	0.2415	4211.83
2000	1500	2666	0.1875	6156.09
1500	1000	3407	0.1468	8893.51
1000	500	8631	0.0579	35859.90
500	16	385176	0.00126	10865911.10
	Σ L <sub>i</sub>		Σ L/(S <sub>i</sub> ) <sup>1/2</sup>	10923552.95

$$S_r = \left( \frac{403420.00 \text{ m}}{10923552.95 \text{ m}} \right)^2 = 0.00136 = 0.136\%$$

Fuente: Franco A, 2008

El tiempo de concentración de la cuenca del río San Jorge es del orden de 100 horas.

Ecuación de Ramser – Kirpich

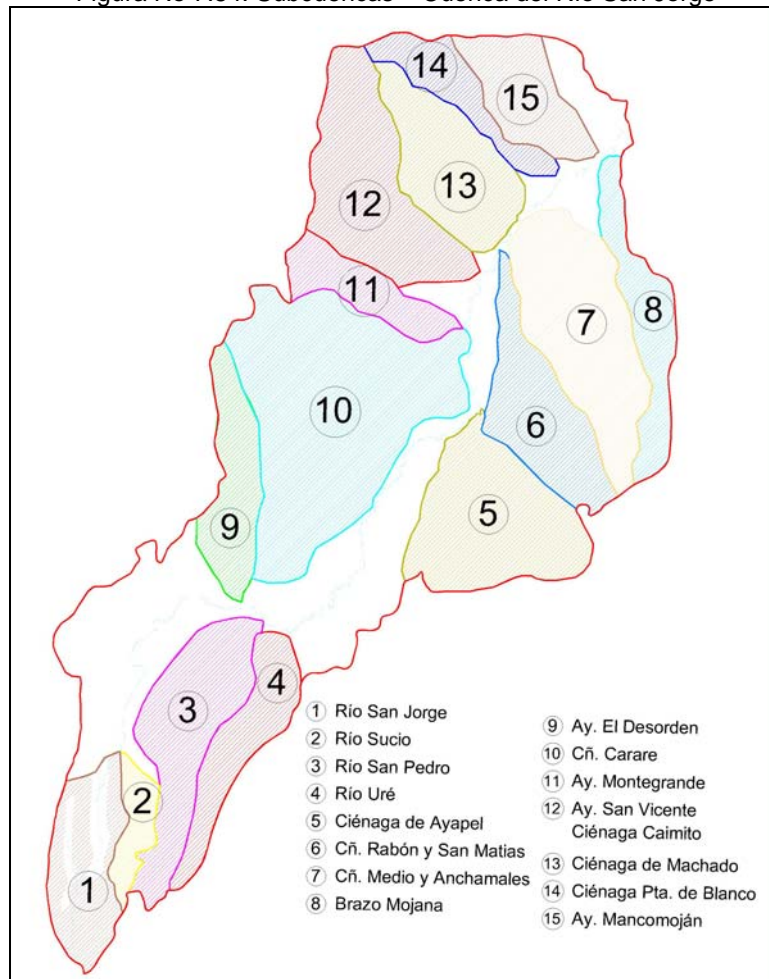
$$t_c = 85h \ 35,4 \text{ min}$$

Expresión de Guaire.

$$t_c = 109h \ 20,1 \text{ min}$$

La densidad de drenaje de la cuenca es de  $0.243 \text{ km/km}^2$ , que corresponde a una cuenca mal drenada.

Figura No 7.54. Subcuenclas – Cuenca del Río San Jorge



Fuente: Franco A, 2008

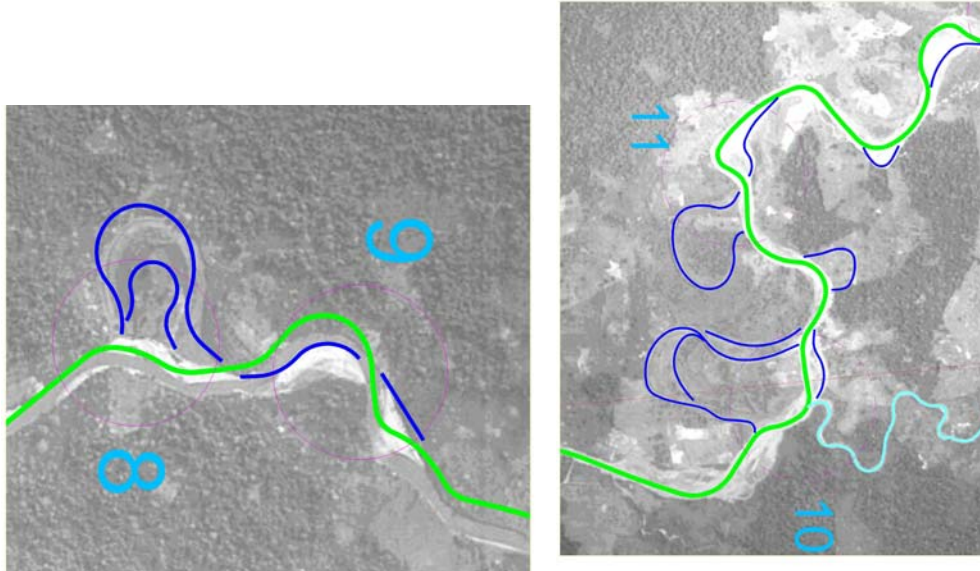
La caracterización fisiográfica de la cuenca del río San Jorge, particularmente el perfil longitudinal del cauce, la forma de la cuenca, el tiempo de concentración y la pendiente, son indicadores de una cuenca en la que predomina la sedimentación de partículas de diámetro pequeño (arenas y limos) a baja velocidad.

El proceso de evolución geológica muestra a la cuenca del río San Jorge como una cuenca de sedimentación fluvial y deltaíco, que en algún momento de la historia constituyó un paleocañon muy profundo, fue producto del basculamiento de la plataforma continental en sentido oriente-occidente y de los esfuerzos de compresión lateral que sufrió el cinturón de San Jacinto (Franco, 2008 cita a INGEOMINAS, 1978).

La forma y comportamiento de la cuenca del río San Jorge está definida por elementos geológicos y estructurales, especialmente la falla o alineamiento de Romeral que coincide con el cauce del río San Jorge (Franco, 2008 cita a INGEOMINAS, 1978).

El comportamiento del río San Jorge en su cuenca media, a la luz del análisis con fotografías aéreas muestra una cuenca muy dinámica con desplazamientos laterales en una franja de aproximadamente 2,0 km, en la cual acorta y prolonga escalonadamente la longitud de su cauce mediante procesos de avulsión y corte de meandros. Este comportamiento corresponde adecuadamente con lo esperado de acuerdo al perfil del cauce y a las características de la cuenca, consistente en desplazamientos laterales con el objeto de depositar sedimentos en sus orillas y ajustar su capacidad de transporte, compensando de esta manera el fuerte cambio de pendiente entre la cuenca media y baja.

Figura No 7.55. Dinámica fluvial del río San Jorge. Composición fotografías aéreas 23701 a 23694 – Vuelo M-1220 – Sobre 1429 (Agosto de 1962)



El análisis geomorfológico permite afirmar que la cuenca del río San Jorge en esencia se comporta como una cuenca de sedimentación fluvial y deltaica, similar a una batea a la cual confluyen numerosos cauces de manera lenta, y cuyos caudales son almacenados y evacuados con lentitud.

### 7.6.2 Aportes de la modelación hidrodinámica

La modelación hidrodinámica de un sistema como el de La Mojana debe perseguir por lo menos dos objetivos:

1. La generación de manchas de inundación asociadas a una probabilidad de ocurrencia.
2. El conocimiento de la dinámica hidráulica de la región:
  - Analizar respuesta ante cambios morfológicos en el sistema de drenaje
  - Comparar zonas de inundación para distintas alternativas de configuración de la red de drenaje

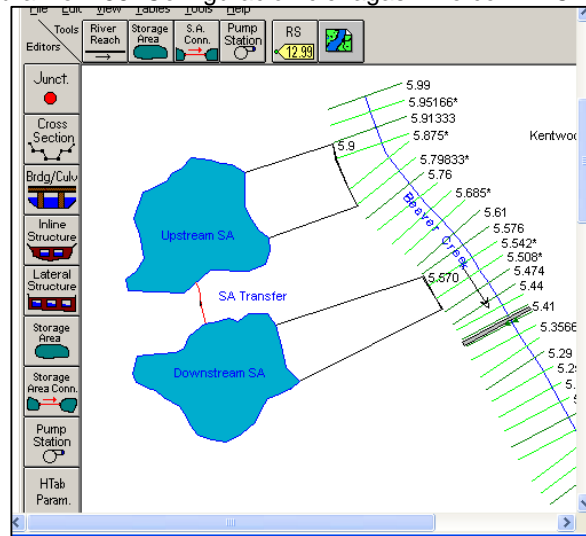
Teniendo en cuenta la poca disponibilidad de información y la complejidad del sistema hídrico, está investigación se limitó a la generación de manchas de inundación, producto de la superposición de modelos de elevación digital en ArcView. No obstante para el futuro desarrollo de un modelo computacional que represente la hidrodinámica de la región se avanzó en el análisis de posibles herramientas de modelación, identificando sus antecedentes, ventajas y desventajas.

#### Software HEC – RAS (USACE)

Permite estimar perfiles hidráulicos a través de canales, estructuras laterales (vertederos laterales) y embalses, para flujo uniforme y flujo gradualmente variado, para lo cual resuelve las

ecuaciones diferenciales de la continuidad y del momento en pasos discretos del espacio y tiempo. Como resultado para cada componente del modelo se obtiene la variación del caudal y del nivel del flujo en función del tiempo, y con ayuda de la herramienta HEC-GeoRAS las manchas de inundación se exportan directamente a ArcView.

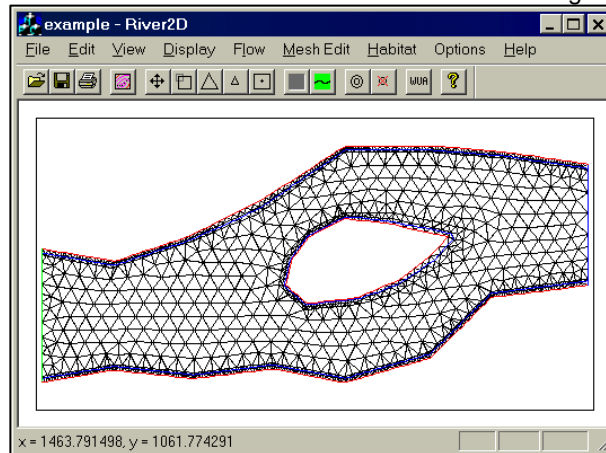
Figura No 7.56. Configuración ciénagas – río con HEC - RAS



### Software River 2D

Es un modelo bidimensional de elementos finitos de profundidad promedio desarrollado por la Universidad de Alberta (Canadá, 2002). Este software permite gran flexibilidad geométrica, simula condiciones de flujo uniforme y transientes aplicando conservación de la masa y los dos componentes (horizontales) de la conservación del momento, siendo ideal para simular procesos de desborde e inundación. Como resultado se obtiene la geometría de la superficie de agua y las características del flujo (caudal, profundidad, velocidad y gradiente)

Figura No 7.57. Geometría de cauce en River 2D: Red triangular irregular

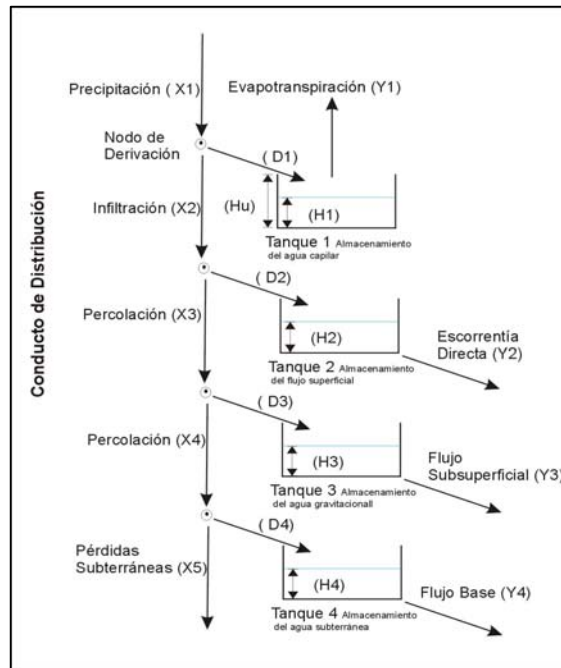


### Modelo de tanques

Este software representa el ciclo hidrológico por medio de un sistema de cuatro tanques interconectados entre sí:

- Tanque1: Almacenamiento Capilar en el Suelo
- Tanque 2: Almacenamiento del flujo superficial
- Tanque 3: Almacenamiento de agua gravitacional en la capa superior del suelo
- Tanque 4: Almacenamiento subterráneo

Figura No 7.58. Esquema de configuración hidrológica del modelo de tanques



Los principios utilizados para evaluar transferencia de agua entre elementos (horizontal y vertical) son:

- Conservación de la masa
- Conservación cantidad de movimiento
- Relaciones empíricas

Como experiencia previa, en el año 2006, en la Sede Medellín de la Universidad Nacional se implementó un modelo de tanques para simular el comportamiento del complejo lagunar del Bajo Sinú (Correa P, et al, 2006).

### Mike She

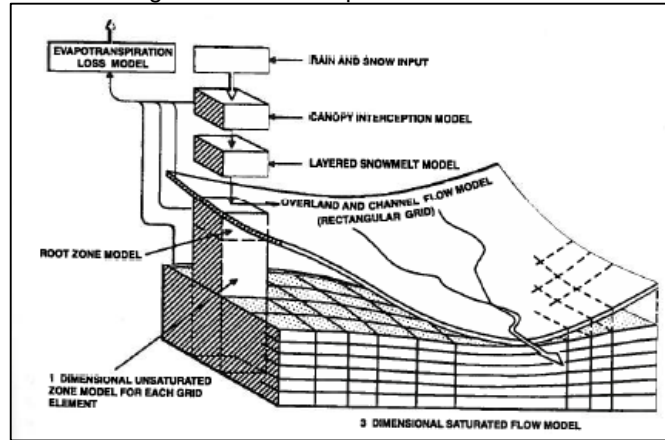
Mike She es un sistema de modelación comprensivo, determinístico, distribuido y físicamente basado para simular la mayor parte de los procesos hidrológicos: flujo de agua en sistemas superficiales y subterráneos, calidad de agua y transporte del sedimento.

Mike She resuelve ecuaciones diferenciales parciales con métodos numéricos de diferencias finitas en procesos separados que son acoplados por componentes (Descripción integrada), permitiendo utilizar escalas temporales para cada proceso.

En el componente de flujo superficial tiene en cuenta el flujo por precipitación y por alto nivel freático (intercambio acuífero - río), calcula temporal y espacialmente la profundidad y caudal sobre la superficie del terreno y sobre el sistema de canales, aplicando las ecuaciones continuidad y conservación del momentum en dos direcciones horizontales (ecuaciones de Saint Venant).

Mike She, es la herramienta ideal para modelar la dinámica de un sistema físico como La Mojana, aunque para generar resultados confiables requiere gran cantidad de parámetros y datos de entrada.

Figura No 7.59. Esquema de Mike She



Balace hídrico

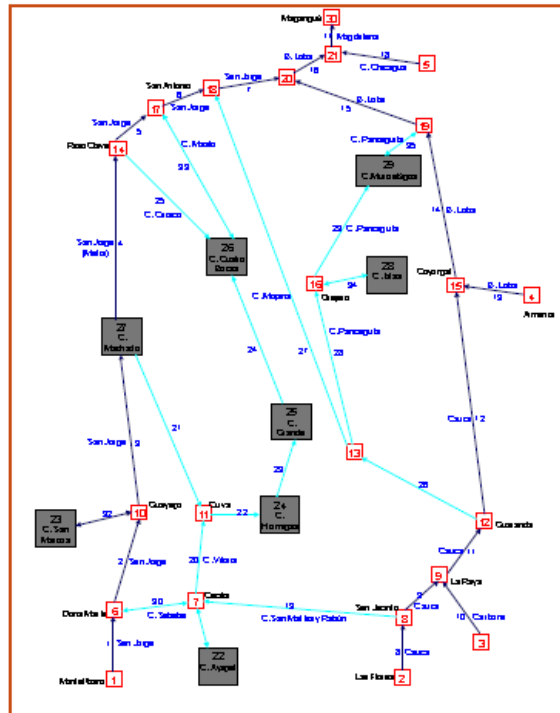
La modelación está basada en la ecuación de continuidad y en el comportamiento hidráulico de las conexiones. Los balances hídricos de las ciénagas permiten identificar las direcciones principales de comunicación entre los distintos cuerpos de agua y la magnitud de los volúmenes de intercambio resultantes.

El modelo se compone de elementos que interactúan entre sí, como son las subcuencas, los ríos, ciénagas y canales de conexión bidireccional.

En la ecuación de continuidad se considera el almacenamiento en la ciénaga, la escorrentía directa a la ciénaga, la evapotranspiración desde la ciénaga y el intercambio de caudal entre ríos y ciénagas.

Este tipo de modelo fue utilizado por Mario Días Granados y Luís Alejandro Camacho para la modelación de balances hídricos de ciénagas fluviales en la región de La Mojana.

Figura No 7.60. Esquema de modelo de balance hídrico de la región de La Mojana



### Niveles medios medidos

A partir de datos de niveles medios diarios se construye una superficie de la lámina de agua (interpolando), la cual se superpone y corta en ArcView con la superficie del terreno, generando las manchas de zonas inundadas o cubiertas por agua.

Entre las ventajas de esta metodología se tienen:

- Existen registros de niveles medios medidos por varias estaciones
- Los niveles condensan la totalidad de los procesos hidrológicos que se presentan en la región
- Se elimina la suposición de parámetros del modelo
- Los posibles errores se limitan a:
  - Errores de medición
  - Exactitud en el modelo de elevación de la superficie del terreno
  - Errores por interpolación de niveles

La principal limitación de esta metodología radica en que no es posible conocer la respuesta del sistema ante cambios en la red de drenaje y los usos del suelo en la cuenca.

### Selección alternativa de modelación de la dinámica hídrica

Simultáneamente se está avanzando en la modelación de La Mojana utilizando el software River 2D, con el objeto de identificar los parámetros que deben ser medidos y sistematizados para lograr en el futuro modelar de manera efectiva la dinámica hídrica de la región.

#### **7.6.3 Periodo de modelación**

Se elaboraron manchas de inundación diarias para el período comprendido entre 1994 y 1996 a partir de series diarias de nivel.

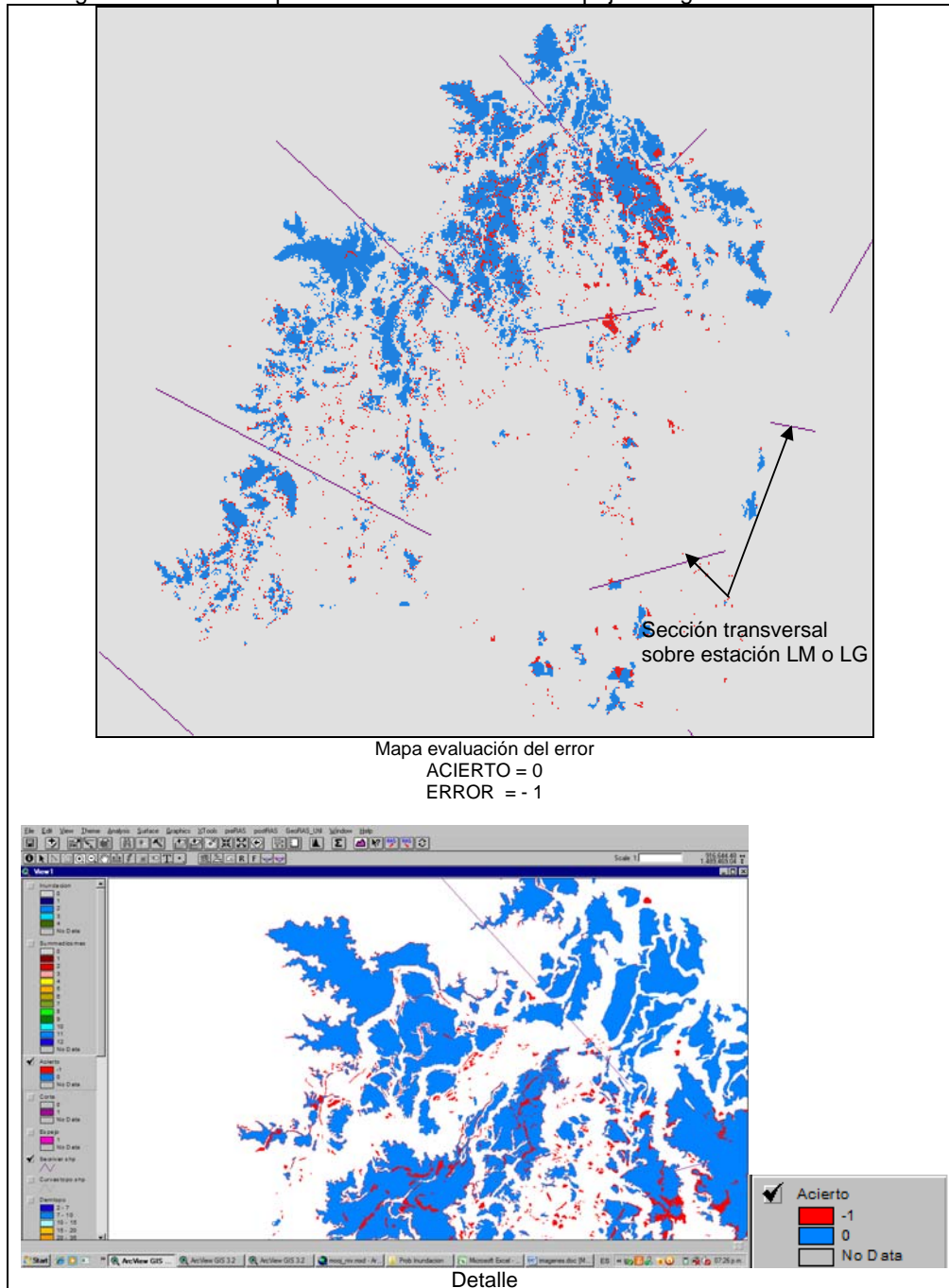
#### **7.6.4 Validación de la metodología propuesta**

##### Comparación celda a celda del espejo de agua

Al comparar celda a celda el espejo de agua del mes de marzo generado en ArcGIS con el mapa de ciénagas de Corpomojana, se encontró un acierto en 1'728.335 celdas que representan el 83,3%, es decir que existe alta coincidencia entre los dos mapas.

Si se observa el detalle mostrado en la Figura No 7.61 se encontrará que varias de las celdas que reportan error (celdas en las cuales no coincide la lámina de agua de los dos mapas) se encuentran dentro de los cuerpos de agua, correspondiendo con islas o zonas elevadas dentro de las ciénagas que no fueron plasmados en el DEM del terreno natural, lo cual no es considerado como un error significativo.

Figura No 7.61. Comparación celda a celda del espejo de agua del mes de marzo



Comparación visual de manchas de inundación con imágenes satelitales

Al comparar las manchas de inundación de los meses de enero, marzo, junio, julio y noviembre con imágenes satelitales Landsat ETM del mismo mes (ver Figura No 7.62) se puede observar alta correspondencia entre las dos imágenes, coincidiendo la textura y forma de las manchas de ArcGis con las imágenes satelitales, el único mes en que se aprecia que la mancha generada en ArcGis tiene mayor extensión es en el mes de julio.

De acuerdo con los resultados mostrados se puede afirmar que la metodología diseñada para construir las manchas de inundación es valida y arroja resultados aceptables, logrando captar la forma, textura de las inundaciones con un error menor al 20%.

Figura No 7.62. Comparación de las manchas de inundación con imágenes satelitales

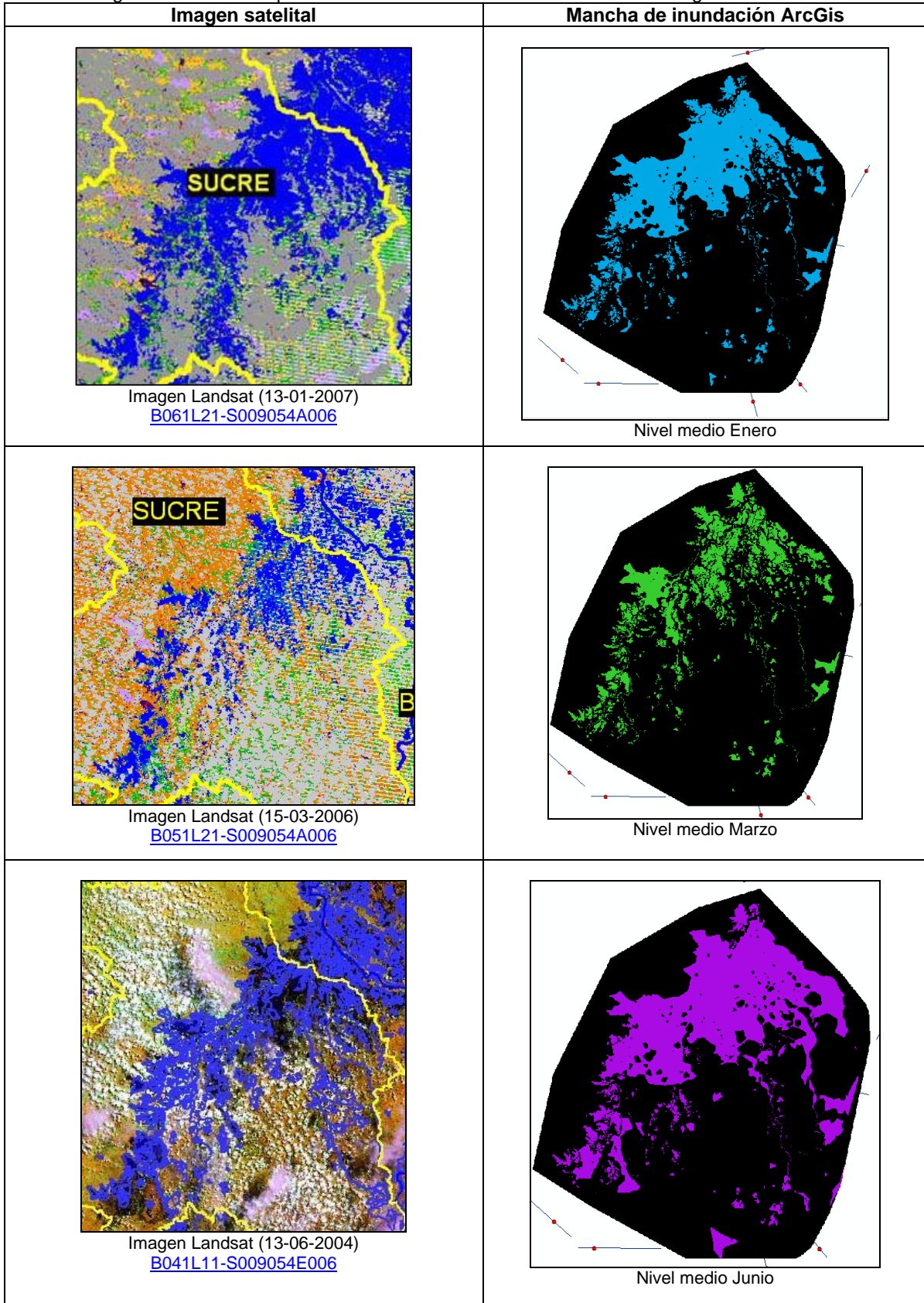
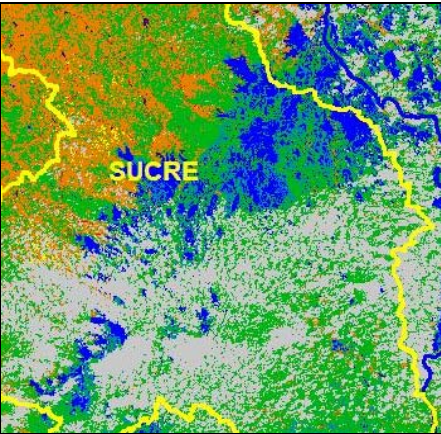
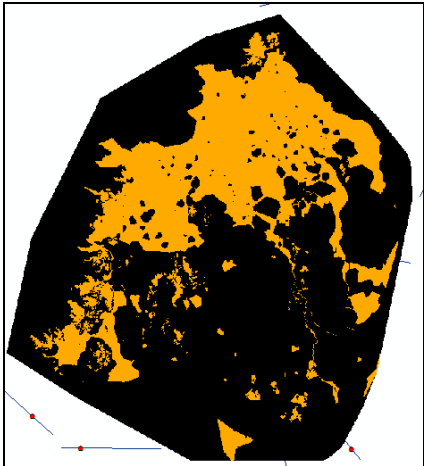

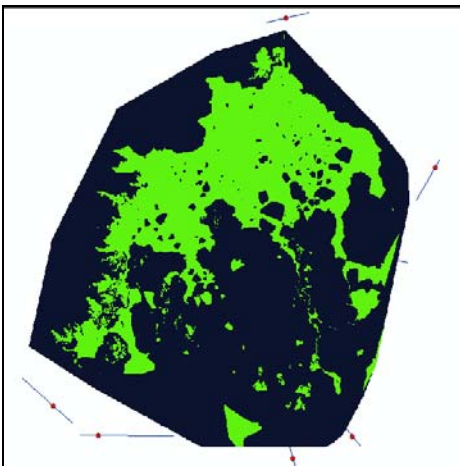


Imagen satelital	Mancha de inundación ArcGis
 <p data-bbox="375 665 673 716">Imagen Landsat (26-07-2002) <a href="#">B021L21-S009054A006</a></p>	 <p data-bbox="1031 697 1203 722">Nivel medio Julio</p>
 <p data-bbox="375 1205 673 1255">Imagen Landsat (29-11-2007) <a href="#">B071L21-S009054A006</a></p>	 <p data-bbox="1000 1236 1230 1262">Nivel medio Noviembre</p>

## 7.6.5 Construcción de series diarias de nivel

### 7.6.5.1 Correlación entre estaciones y estimación de datos faltantes

La generación sintética de niveles se realizó con las siguientes combinaciones de estaciones:

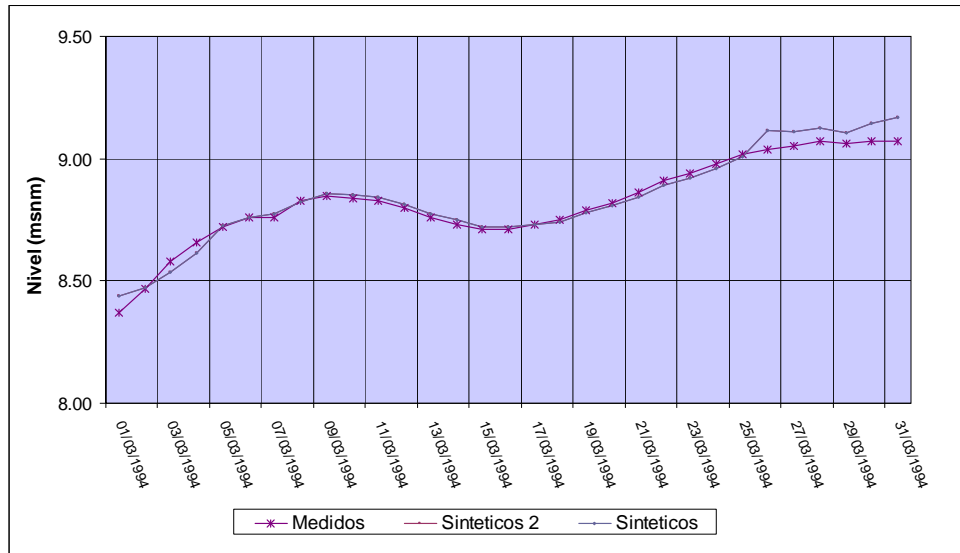
- Estación San Antonio: correlacionada con las estaciones Jegua y Sitio Nuevo
- Estación Jegua: correlacionada con la estación San Antonio
- Estación Marralu: correlacionada con las estaciones Jegua, San Marcos, y Beirut
- Estación Armenia: correlacionada con las estaciones Magangue – Esperanza y Sitio Nuevo
- Estación Sitio Nuevo: correlacionada con la estación San Jorge
- Estación Magangue – Esperanza: correlacionada con las estaciones San Antonio y Sitio Nuevo
- Estación Galindo: correlacionada con las estaciones San Jacinto y Tres Cruces
- Estación Majagual: correlacionada con las estaciones Sucre y San Jacinto
- Estación Orejero: correlacionada con las estaciones Magangue, Sitio Nuevo, Jegua y San Antonio
- Estación Sucre: correlacionada con las estaciones Orejero, Majagual, Jegua y San Antonio

- Estación San Marcos: correlacionada con la estación Beirut
- Estación Beirut: correlacionada con las estaciones San Marcos y Jegua

A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos al correlacionar los datos diarios de nivel de distintas estaciones.

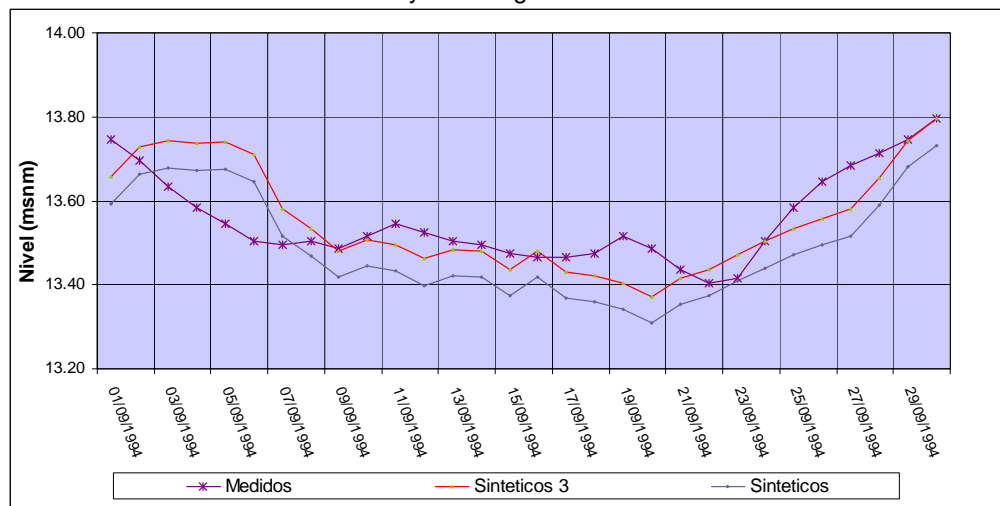
Los niveles de la estación San Antonio se correlacionaron con los datos de las estaciones Jegua (río San Jorge) y Sitio Nuevo (río Magdalena), con un error máximo del 4,2% (ver Figura No 7.63).

Figura No 7.63. Niveles medios diarios estación San Antonio (Río San Jorge) – Marzo 1994. Correlación entre niveles medidos y niveles generados con datos de estaciones vecinas



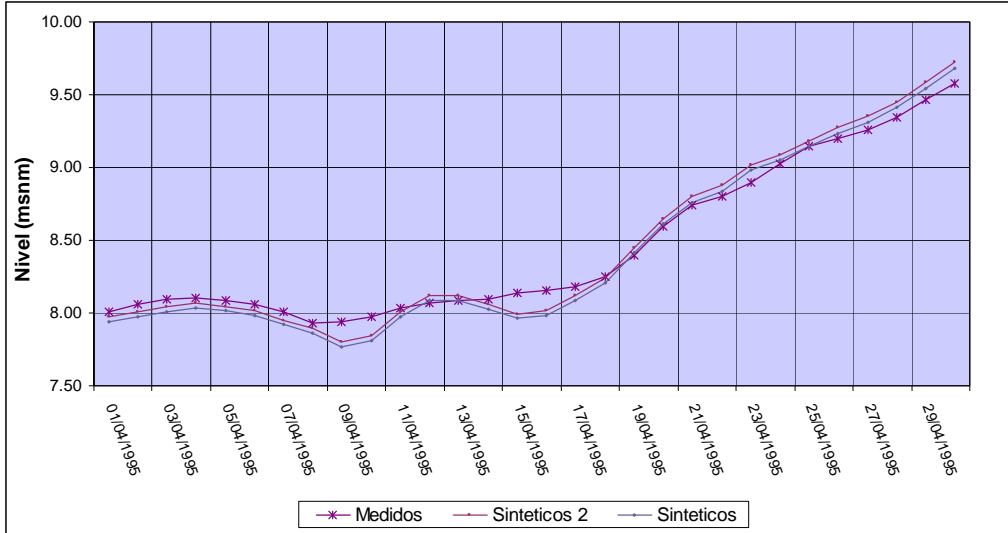
Los niveles de la estación Majagual se correlacionaron con los datos de las estaciones Sucre (caño Mojana) y San Jacinto (río Cauca), con un error máximo del 10% (ver Figura No 7.64).

Figura No 7.64. Niveles medios diarios estación Majagual (Caño Mojana) – Septiembre 1994. Correlación entre niveles medidos y niveles generados con datos de estaciones vecinas



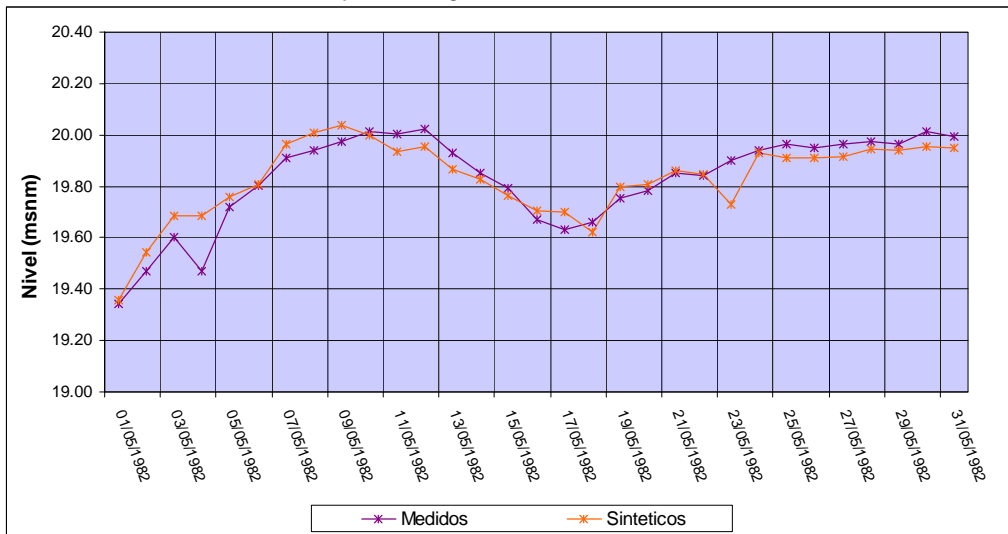
Los niveles de la estación Magangue - Esperanza se correlacionaron con los datos de las estaciones San Antonio (río San Jorge) y Sitio Nuevo (río Magdalena), con un error máximo del 7,8% (ver Figura No 7.65).

Figura No 7.65. Niveles medios diarios estación Magangue - Esperanza (río Magdalena) Abril 1995. Correlación entre niveles medidos y niveles generados con datos de estaciones vecinas



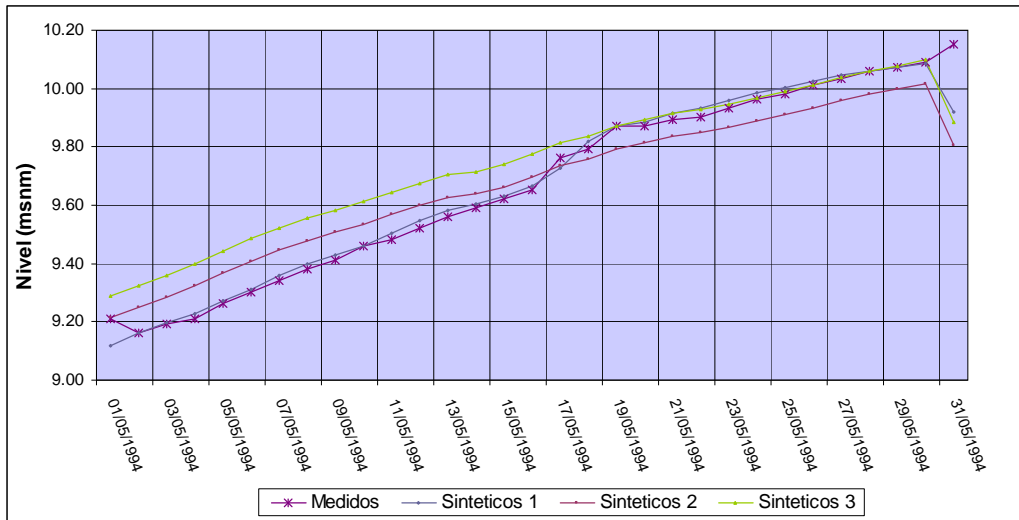
Los niveles de la estación Galindo se correlacionaron con los datos de las estaciones San Jacinto y Tres Cruces (río Cauca), con un error máximo del 4,4% (ver Figura No 7.66).

Figura No 7.66. Niveles medios diarios estación Galindo (río Cauca) Mayo 1982. Correlación entre niveles medidos y niveles generados con datos de estaciones vecinas



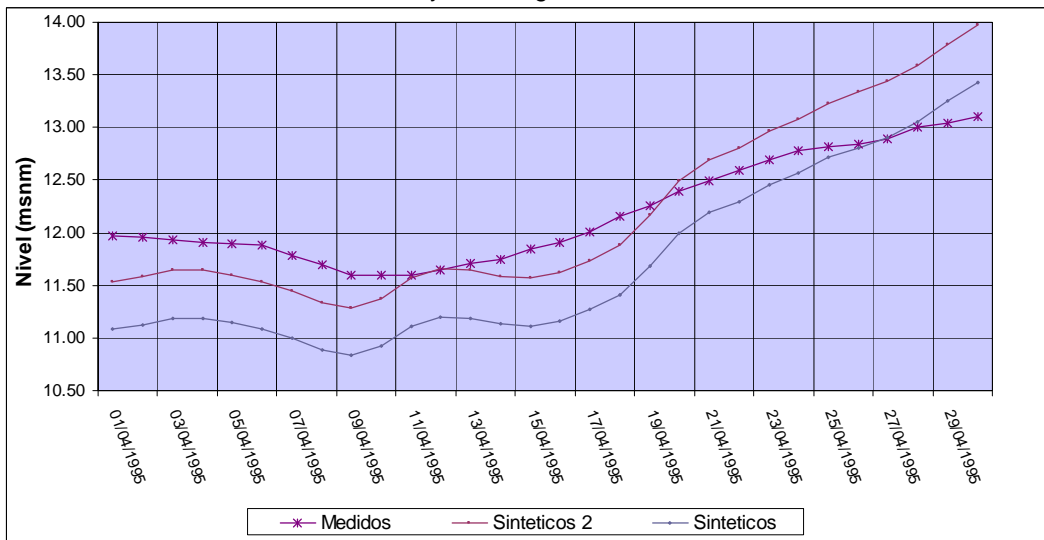
Los niveles de la estación Orejero se correlacionaron con los datos de las estaciones San Antonio, Jegua, Sitio Nuevo y Magangue - Esperanza, con un error máximo del 10,4% (ver Figura No 7.67).

Figura No 7.67. Niveles medios diarios estación Orejero (caño Panceguita) Mayo 1994. Correlación entre niveles medidos y niveles generados con datos de estaciones vecinas



Los niveles de la estación Armenia se correlacionaron con los datos de las estaciones Sitio Nuevo y Magangué – Esperanza (río Magdalena), con un error máximo del 14,5% (ver Figura No 7.68).

Figura No 7.68. Niveles medios diarios estación Armenia (río Magdalena) Abril 1995. Correlación entre niveles medidos y niveles generados con datos de estaciones vecinas



Los resultados obtenidos, con errores máximos del 15%, indican que la metodología adoptada para completar las series de niveles medios diarios de cada una de las estaciones es adecuada.





Figura No 7.71. Series de niveles medios diarios – Río Magdalena



Figura No 7.72. Series de niveles medios diarios – Río Cauca

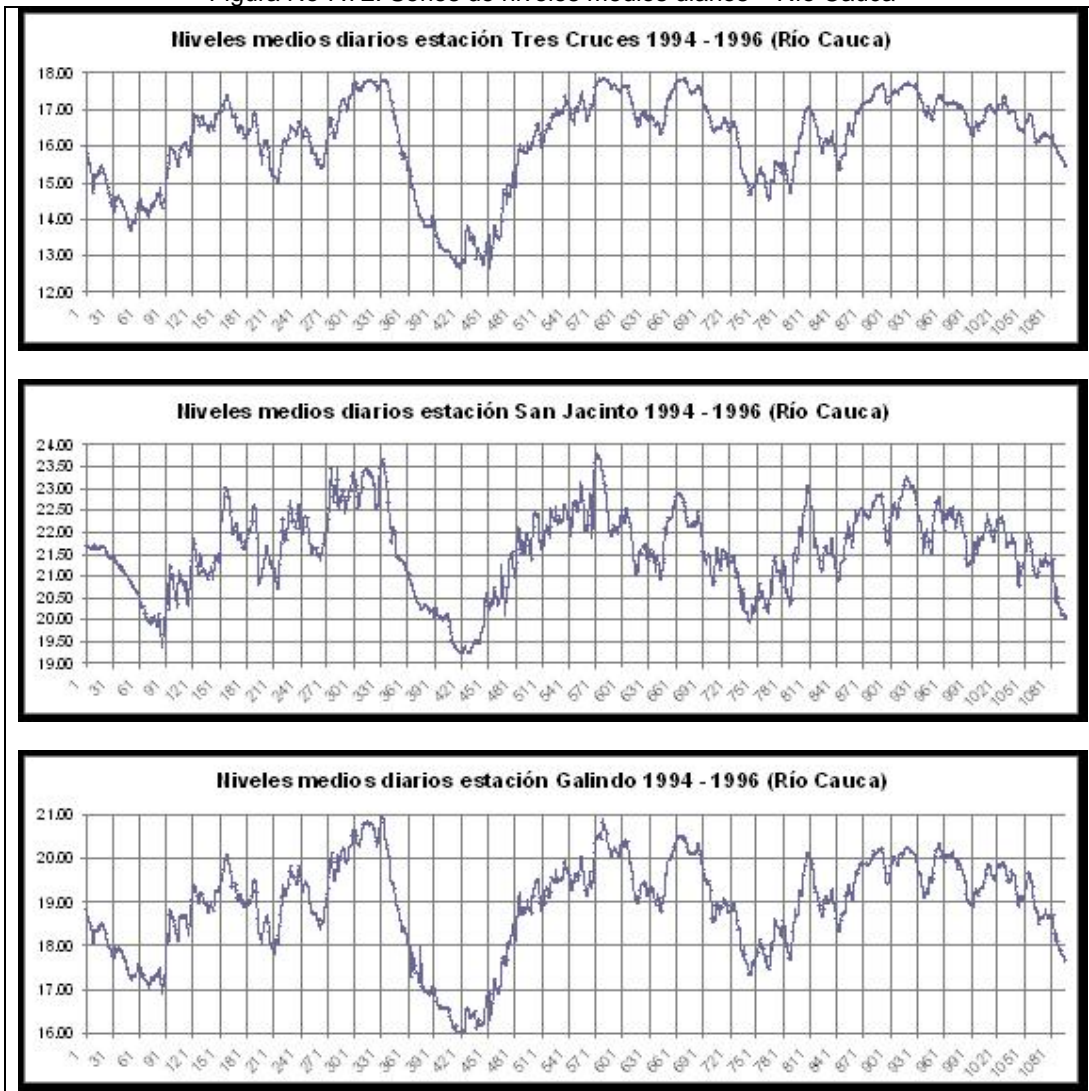
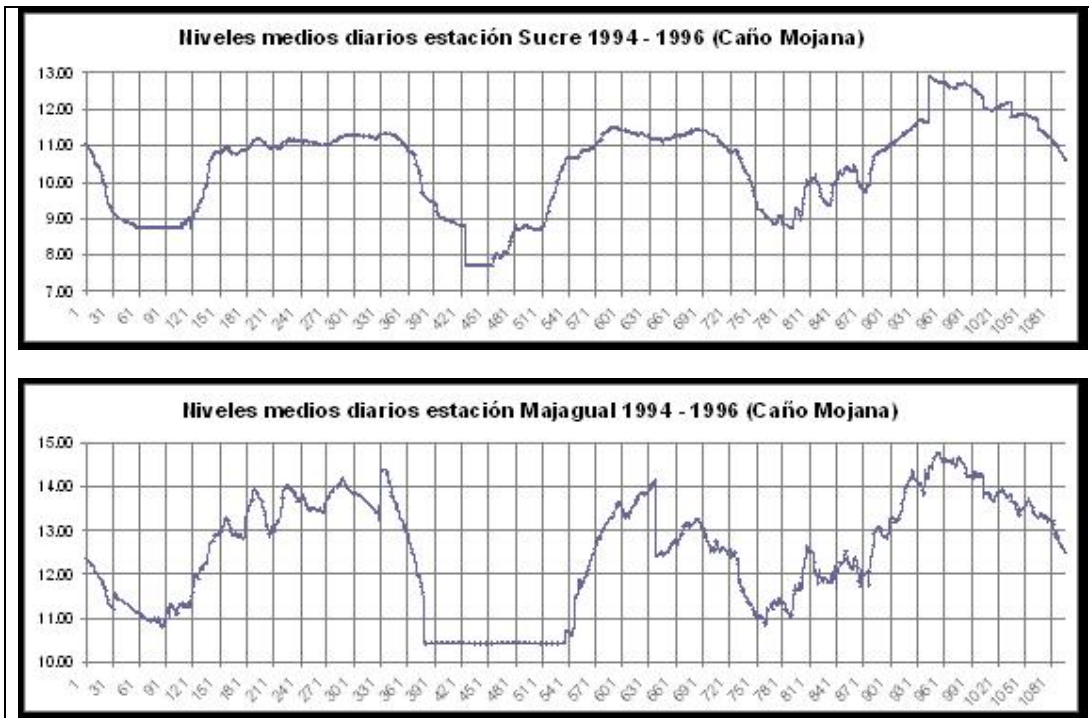


Figura No 7.73. Series de niveles medios diarios – Caños Mojana y Panceguita





### 7.6.6 Construcción de manchas de inundación

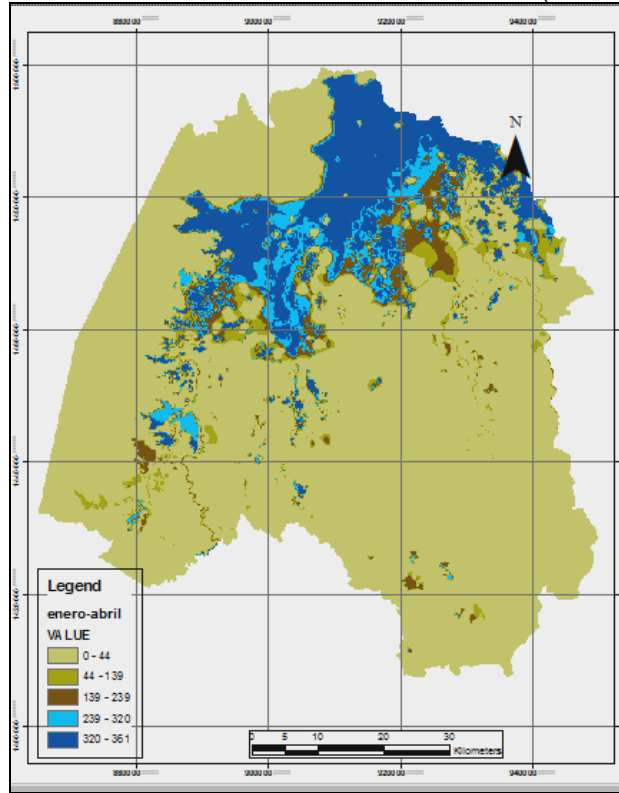
Las manchas de inundación de cada mes se sumaron, de acuerdo a la segmentación que se hizo del año en función de las actividades productivas (ver Figura No 7.22):

- ENERO a ABRIL
- MAYO a AGOSTO
- SEPTIEMBRE a DICIEMBRE

Con la segmentación del año en estos tres períodos se diferencian las etapas del ciclo hidrológico y los requerimientos de las tres principales actividades productivas en La Mojana y el Bajo San Jorge.

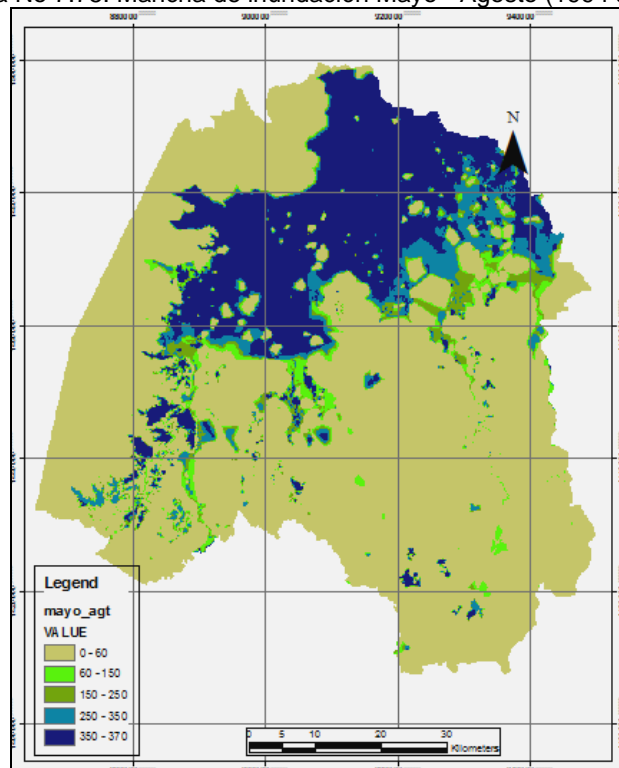
En la Figura No 7.74 se muestra el mapa de manchas de inundación correspondiente a los meses enero, febrero, marzo y abril de los años 1994 a 1996.

Figura No 7.74. Manchas de inundación Enero - Abril (1994 a 1996)



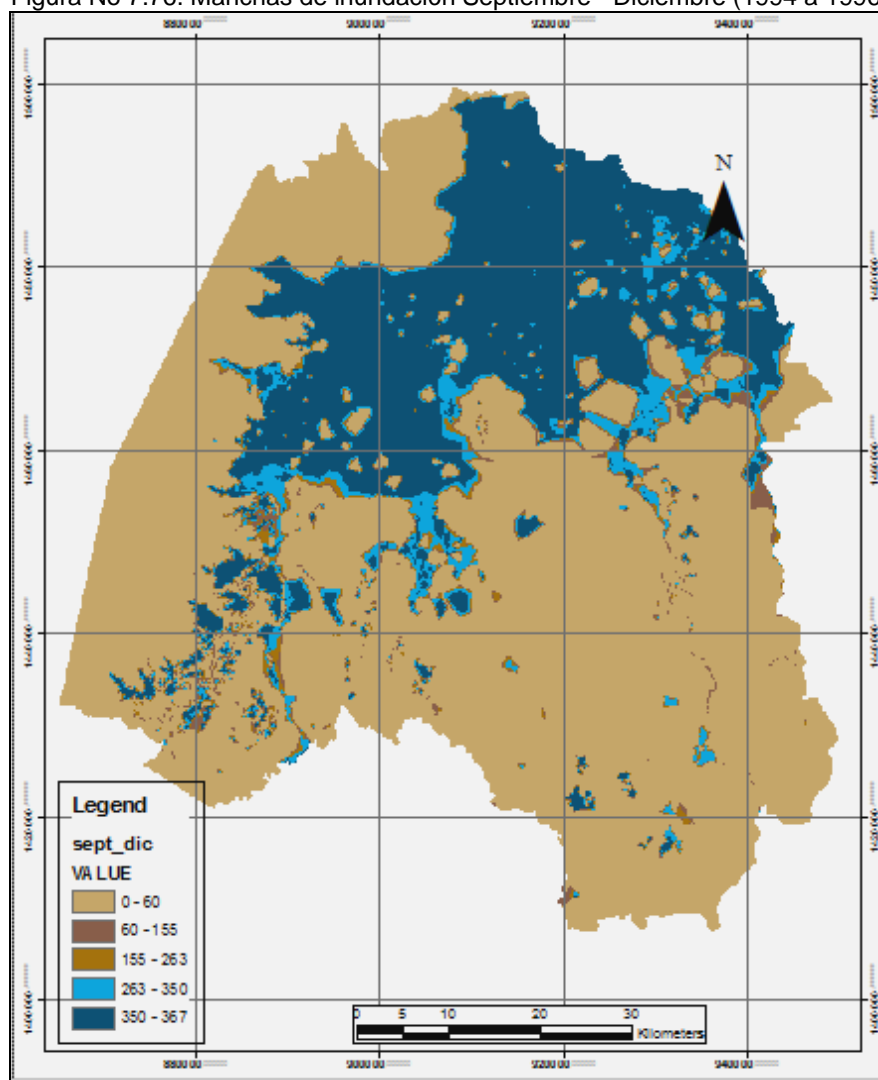
En la Figura No 7.75 se muestra el mapa de manchas de inundación correspondiente a los meses mayo, junio, julio y agosto de los años 1994 a 1996.

Figura No 7.75. Mancha de inundación Mayo - Agosto (1994 a 1996)



En la Figura No 7.76 se muestra el mapa de manchas de inundación correspondiente a los meses septiembre, octubre, noviembre y diciembre de los años 1994 a 1996.

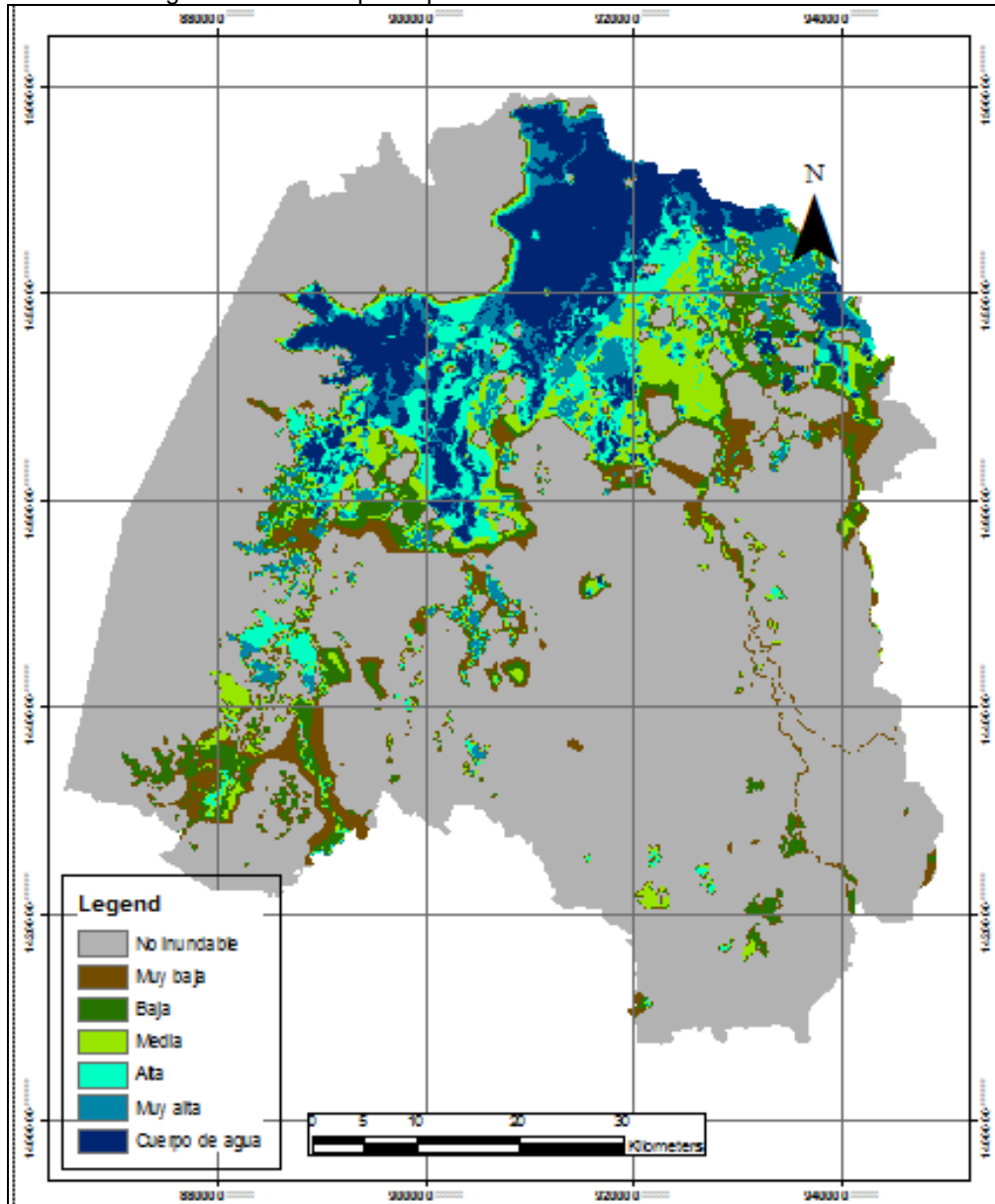
Figura No 7.76. Manchas de inundación Septiembre - Diciembre (1994 a 1996)



### 7.6.7 Probabilidad de inundación

En la Figura No 7.77 se muestra el mapa de Probabilidad de Inundación para los meses de enero a abril, este mapa se encuentra en formato raster con celdas de 20 x 20 metros de manera que tenga la misma escala de los mapas de usos del suelo y que conserve la longitud característica del modelo (20 m de ancho de los ríos en la época de estiaje).

Figura No 7.77. Mapa de probabilidad de inundación Enero - Abril



En la Tabla No 7-57 se muestra la reclasificación del mapa de inundaciones de Enero a Abril realizada para construir el mapa de probabilidad de inundación correspondiente.

Tabla No 7-57. Reclasificación para definir categorías de inundación Enero a Abril

Probabilidad de inundación	Rango (No días)	No celdas	% datos
Terreno no inundable	0		
Muy baja	1, 21	591,169	14.75
Baja	22, 86	603,401	15.05
Media	87, 225	599,522	14.96
Alta	226, 321	591,007	14.74
Muy alta	322, 360	613,471	15.30
Cuerpo de agua	361	1,010,198	25.20
<b>SUMA</b>		<b>4,008,768</b>	

De igual forma en la Figura No 7.78 se muestra el mapa de probabilidad de inundación para el período Mayo a Agosto.

Figura No 7.78. Mapa de probabilidad de inundación Mayo - Agosto

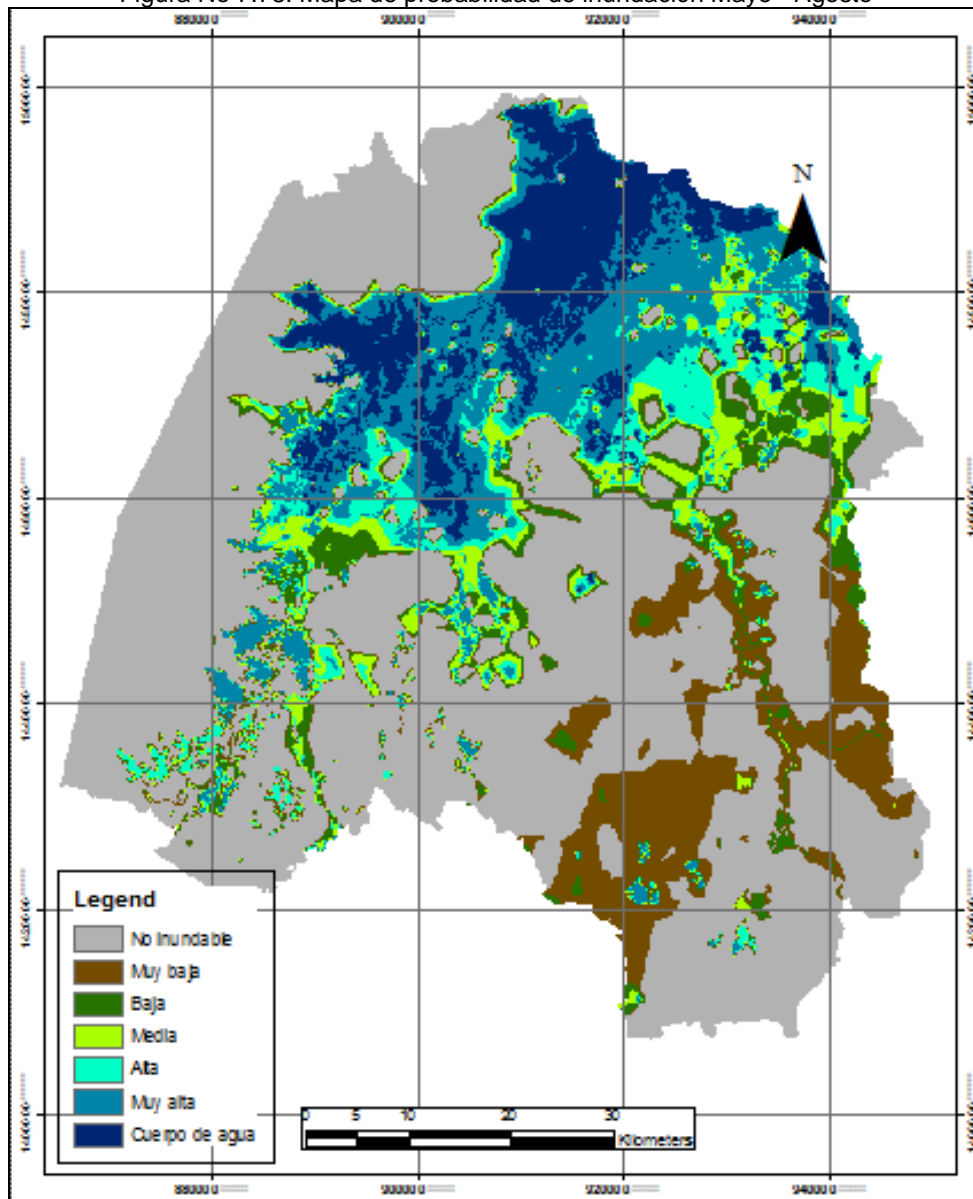


Tabla No 7-58. Reclasificación para definir categorías de inundación Mayo - Agosto

Probabilidad de inundación	Rango (No días)	No celdas	% datos
Terreno no inundable	0		
Muy baja	1	1,049,993	18.92
Baja	2, 109	661,006	11.91
Media	110, 288	656,763	11.83
Alta	289, 367	648,732	11.69
Muy alta	368, 369	1,525,090	27.47
Cuerpo de agua	370	1,009,351	18.18
<b>SUMA</b>		<b>5,550,935</b>	

En la Figura No 7.79 se muestra el mapa de probabilidad de inundación para el período Septiembre a Diciembre.

Figura No 7.79. Mapa de probabilidad de inundación Septiembre - Diciembre

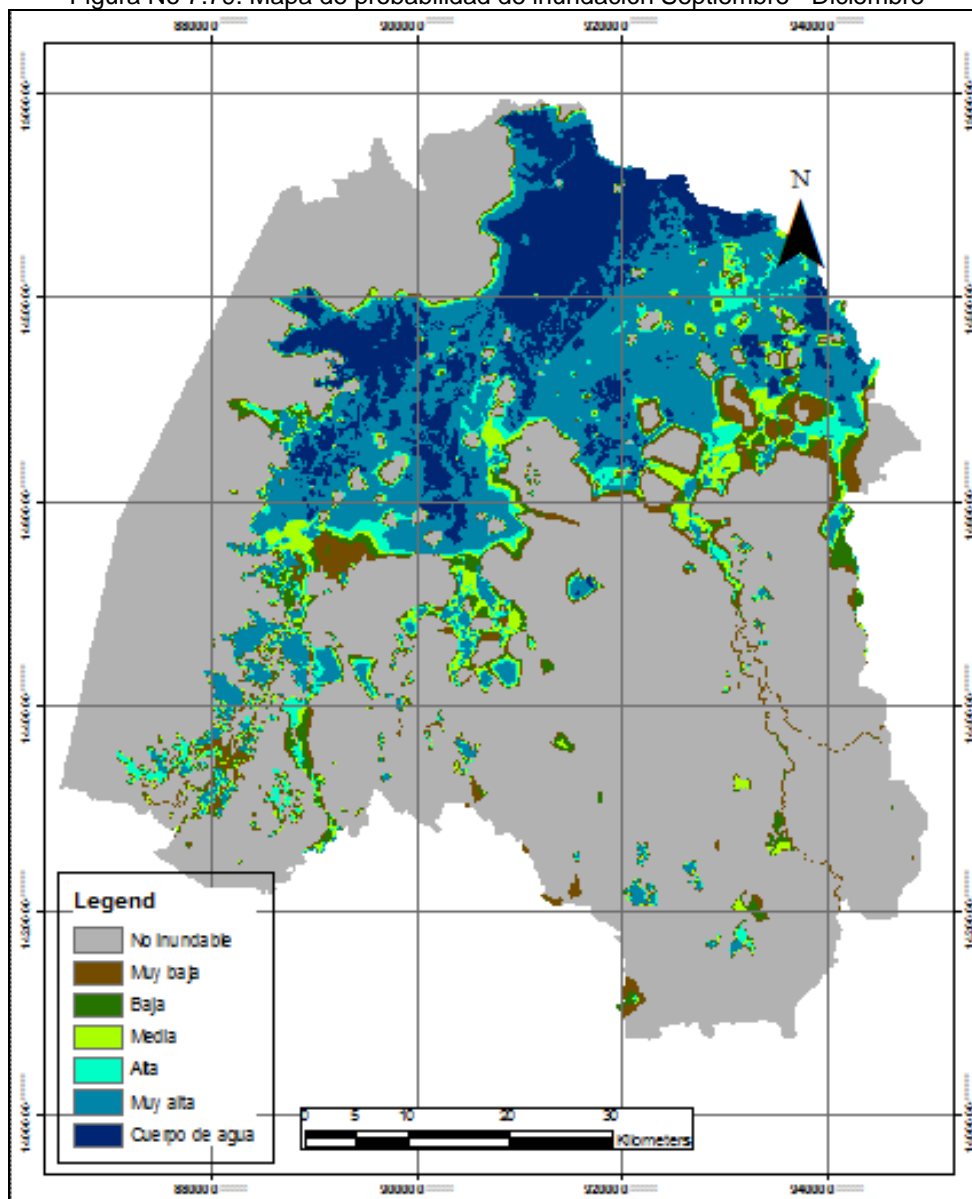


Tabla No 7-59. Reclasificación para definir categorías de inundación Septiembre - Diciembre

Probabilidad de inundación	Rango (No días)	No celdas	% datos
Terreno no inundable	0		
Muy baja	1, 86	343,796	7.66
Baja	87, 276	346,049	7.71
Media	277, 325	345,093	7.69
Alta	326, 365	348,247	7.76
Muy alta	366	2,093,600	46.66
Cuerpo de agua	367	1,010,198	22.51
<b>SUMA</b>		<b>4,486,983</b>	

## **8. DISEÑO DEL MODELO CONCEPTUAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA Y LOS USOS DEL SUELO**

### **8.1 CARACTERIZACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL**

El modelo de gestión planteado en esta investigación reconoce al agua como elemento articulador y variable fundamental que identifica a La Mojana y el San Jorge, de manera que las inundaciones representan pulsos de vida que dinamizan las principales actividades productivas (agricultura, ganadería y pesca), pero a su vez limitan la productividad de la región y la calidad de vida de sus habitantes.

Otra característica importante del modelo propuesto es la incorporación de las estrategias de vida de los habitantes y su relación con la dinámica hidrológica y los recursos naturales, de manera que no se limita a evaluar el reconocido papel de La Mojana en la regulación ambiental, el equilibrio ecológico y particularmente en la regulación de caudales, sino que considera la vulnerabilidad de la población y su dependencia hacia la extracción y explotación de los recursos naturales.

Como parte integral del modelo conceptual se construyó un concepto de bienestar desde la perspectiva de la población local. Este concepto de bienestar prioriza la vida en familia, la salud, educación para los hijos y el acceso a fuentes de trabajo. Estos elementos se relacionan con las variables del modelo (cuerpos de agua y usos del suelo) a través de las manchas de inundación.

Las variables fundamentales que se interrelacionan en La Mojana como un sistema son:

- El régimen hidrológico y el sistema hídrico
- Las principales actividades productivas: agricultura, ganadería y pesca
- La distribución espacial de la población
- Aspectos culturales de la población relacionados con la concepción de bienestar y con la modificación antrópica del sistema hídrico.

El régimen hidrológico se expresó a través de mapas de probabilidad de inundación. Las actividades productivas se involucraron al modelo desde los mapas de usos del suelo. La distribución de la población se incorporó directamente al identificar el patrón de poblamiento lineal a lo largo de ríos y carreteras. Las costumbres de los habitantes se pueden involucrar utilizando indicadores de gestión diseñados a partir de la caracterización realizada con herramientas de diagnóstico rural participativo.

Finalmente, se puede decir que este modelo articula las dimensiones hidráulica, ambiental, económica y social, describe la dinámica de la región a través de reglas sencillas y valora la sostenibilidad del sistema físico, de las actividades productivas y la calidad de vida de los habitantes.

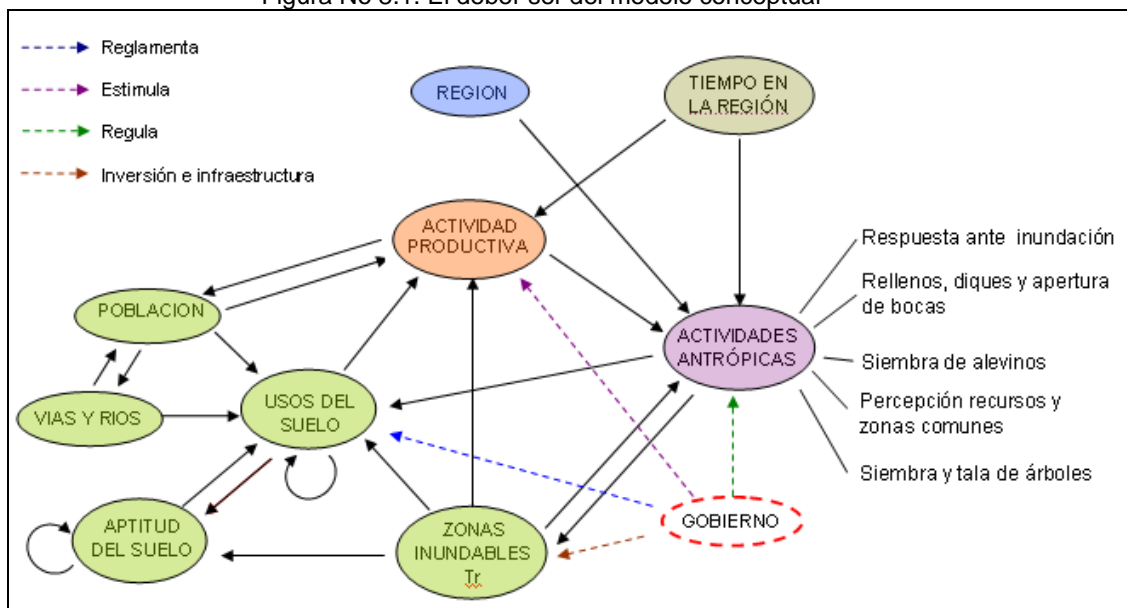
### **8.2 EL DEBER SER DEL MODELO**

Con el propósito de plasmar con la mayor fidelidad posible las características del sistema, el modelo conceptual para la gestión integral del agua y los usos del suelo debería incorporar los siguientes elementos y relaciones (ver Figura No 8.1):

- El régimen hidrológico en cuanto a las zonas inundables, cuyo comportamiento es condicionado por las actividades antrópicas (rellenos, diques y canales) y por la inversión en infraestructura que proviene principalmente del gobierno.

- La dinámica poblacional que es función de las actividades productivas y de la disponibilidad de vías de comunicación.
- El cambio en los usos del suelo que es estimulado o influenciado por la aptitud del suelo, el régimen de niveles, la presencia de vías de comunicación, la presión de la población, las actividades antrópicas que buscan cambiar las condiciones del suelo, y por la misma inercia del suelo a conservar su uso actual.
- La aptitud del suelo que tiende a cambiar según el uso otorgado y los cambios del régimen hidrológico.
- Las actividades productivas, su rentabilidad, estabilidad y aporte a la comunidad.
- Aspectos culturales que impactan positiva o negativamente al sistema, como son las actividades antrópicas que de acuerdo con el diagnóstico rural participativo son función de las actividades productivas, del tiempo en la región, de la sub-región en la cual se vive y de la frecuencia y magnitud de las inundaciones.
- El Gobierno, desde sus funciones de reglamentación de los usos del suelo, la estimulación a ciertas actividades productivas, la regulación de las actividades antrópicas y la inversión en infraestructura.

Figura No 8.1. El deber ser del modelo conceptual



### 8.3 MODELO CONCEPTUAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA Y LOS USOS DEL SUELO

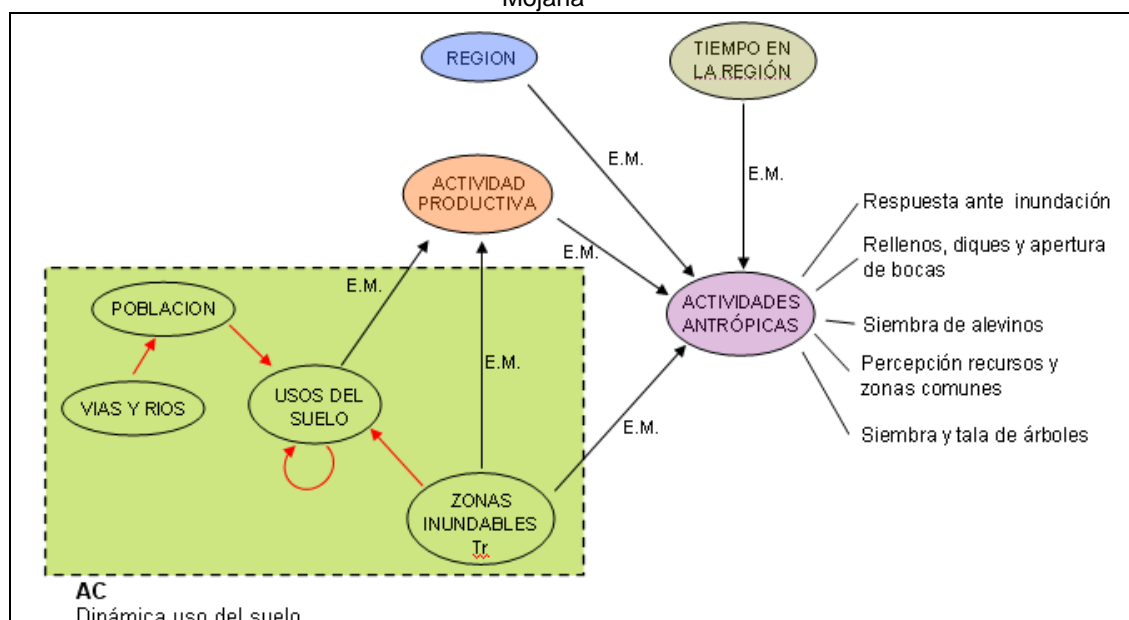
#### 8.3.1 Descripción

El Autómata Celular diseñado encuentra los patrones que rigen el cambio de uso del suelo en función del régimen hidrológico, de las pautas de poblamiento y de los usos actuales del suelo, para posteriormente realizar el pronóstico de los futuros usos del suelo.

El régimen hidrológico es representado a través de mapas de probabilidad de inundación, y la distribución de la poblacional se infiere a partir de mapas de la red de drenaje y de la red vial regional (ver Figura No 8.2).

El Autómata Celular debe ser complementado con indicadores sistémicos que permitan evaluar el impacto de los cambios en los usos del suelo y de la dinámica hidrológica sobre los aspectos culturales, la calidad de vida y la sostenibilidad del sistema (ver Figura No 8.2). Estos indicadores se pueden calcular utilizando evaluación multicriterio (E.M.) de manera que se relacionen a través de factores de ponderación las siguientes variables: Usos del suelo, Probabilidad de inundación, Distribución de la población, Sub-región, Tiempo en la región y Actividades antrópicas.

Figura No 8.2. El modelo conceptual para la gestión integral del agua y los usos del suelo en La Mojana



### 8.3.2 Alcances y aportes

El modelo conceptual diseñado describe la dinámica de los usos del suelo y su relación con las variables fundamentales del sistema, el régimen de niveles y la distribución espacial de la población. De igual forma plasma la estrategia de ocupación del territorio a través del mapa de densidad de población, e involucra en las manchas de probabilidad de inundación la sincronía entre las principales actividades productivas y el ciclo hidrológico.

Se encontraron diferencias entre sub-regiones en cuanto a dinámica del sistema hídrico y la respuesta de la población ante las inundaciones.

A partir de los resultados del diagnóstico rural participativo, las encuestas a la población y las entrevistas con expertos, se identificó la relación entre el sistema hídrico, las actividades productivas y las estrategias de vida de los habitantes. Los resultados y relaciones encontradas pueden ser utilizados para diseñar los indicadores de gestión del modelo.

Esté modelo incluye las principales variables del sistema y logra plasmar las interrelaciones entre estas variables, siendo un punto de partida para su optimización y complementación. Adicionalmente constituye una herramienta para el ordenamiento territorial y la identificación de tendencias o síndromes en la región.

Un aporte significativo del modelo es la inclusión de los usos del suelo como variable dependiente de los cuerpos de agua y de la dinámica hidrológica, puesto que normalmente se introduce como una variable independiente.

Las reglas de transición del Autómata Celular están determinadas por el comportamiento implícito de las variables, no son impuestas por criterio del modelador y permiten representar la complejidad del sistema.

### 8.3.3 Limitaciones

La principal limitación del modelo de gestión es la imposibilidad para simular la dinámica del sistema hídrico en cuanto a cambios morfológicos de la red de drenaje, lo cual impide la comparación de alternativas de manejo. Esto puede ser superado mediante el diseño de un modelo hidráulico con geometría dinámica, la cual cambie según las actividades antrópicas de los habitantes (construcción de diques, adecuación de suelo inundable y encauzamiento de caños).

El modelo no permite estimar cambios en las pautas de poblamiento producto de intervención estatal, procesos violentos, fenómenos naturales extremos o agotamiento de los recursos, entre otras situaciones.

El modelo no evalúa los impactos de las actividades antrópicas sobre la dinámica de los usos del suelo y la red de drenaje, ni permite simular el cambio de aptitud del suelo ante los usos dados y ante las inundaciones que lo afectan.

Comparado la información disponible en La Mojana y el San Jorge con lo que generalmente se encuentra en otras regiones del país, la información es abundante, pero insuficiente de cara a los alcances de este modelo. En este sentido, la disponibilidad de solo dos mapas de usos del suelo impide la calibración del Autómata Celular, la calidad de las manchas de inundación se ve afectada por la existencia de solo trece estaciones limnigráficas o limnimétricas, adicionalmente, no se cuenta con topografía lo cual restringe el desarrollo de modelos hidráulicos apropiados para planicies de inundación y reduce la confiabilidad de las manchas de inundación.

La existencia de solo dos mapas de usos del suelo (1987 y 2001), condicionó las reglas de transición y el tiempo de evolución del modelo cada 14 años, de manera que no es confiable estimar la dinámica en los usos del suelo para un  $\Delta t$  diferente a 14 años.

El modelo desarrollado no incorpora directamente al Gobierno el cual es determinante en cuanto a reglamentación de los usos del suelo, regulación de actividades antrópicas, estimulación de actividades productivas e inversión en infraestructura. Alternativamente se puede incorporar indirectamente al modelo por medio de:

- Inversión en infraestructura. Al modificar el mapa de red vial y red de drenaje, el mapa de densidad de población debe ser actualizado, permitiendo evaluar los impactos ante la construcción de una vía, de un dique o de cualquier obra lineal.
- Cambios en los usos del suelo. Puede restringirse el cambio en los usos del suelo mediante la utilización de máscaras en los mapas de usos, por ejemplo, una zona de reserva natural puede representarse por medio de una máscara que impida el cambio de uso del suelo en el modelo.

El tamaño de celda de 20 x 20 m fue impuesto por el modelador, no fue producto de un proceso de optimización en el cual se comparen los resultados y eficiencia de modelos con celdas de distintos tamaños.

Las reglas de transición del Autómata Celular, así como la relación entre variables son propias de la región de La Mojana y el San Jorge, y no pueden extrapolarse de manera directa para otras regiones.

## 8.4 AUTÓMATA CELULAR: RIESGO DE INUNDACIÓN Y DINÁMICA DE USOS DEL SUELO

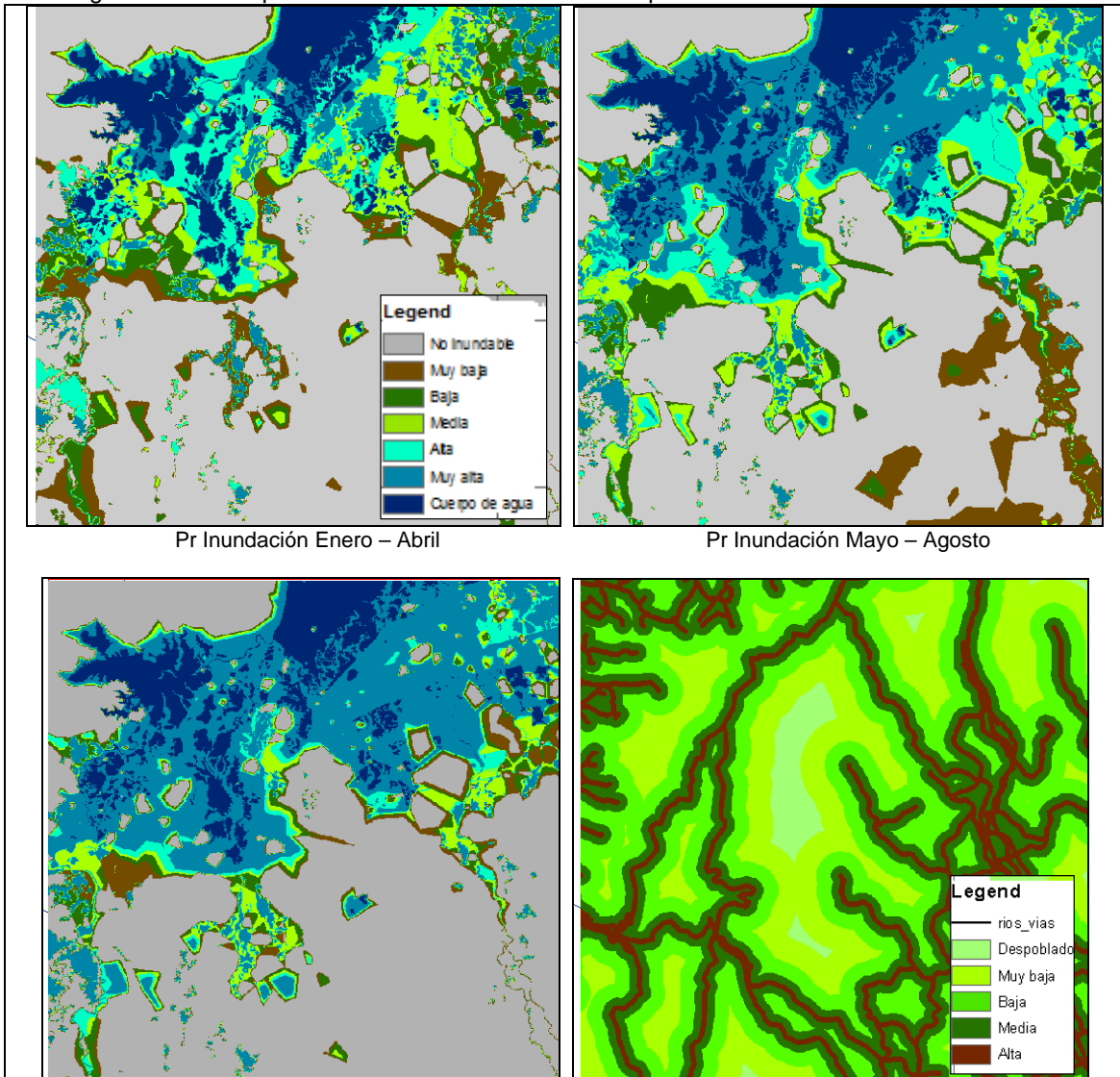
### 8.4.1 Implementación del modelo A.C.

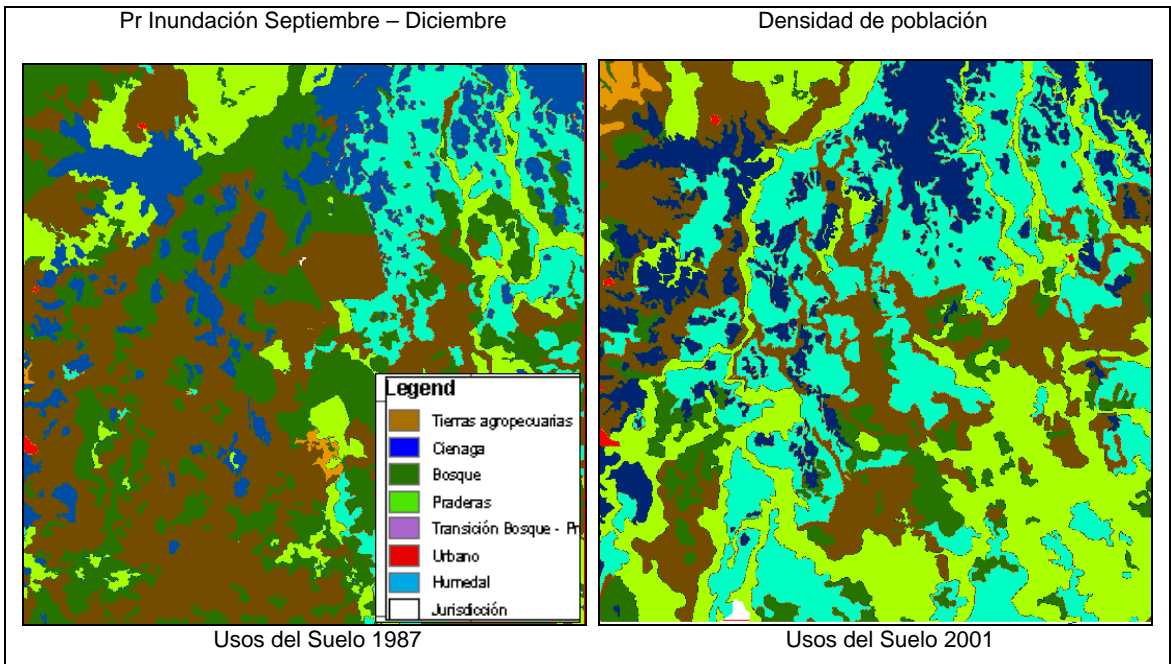
Para la implementación del Autómata Celular se aplicó la metodología propuesta en el capítulo 5.4, de acuerdo con la cual se pronosticó el cambio de uso del suelo en función de:

- El mapa de usos del suelo 1987 (ver Figura No 7.35) y 2001 (ver Figura No 7.36)
- El mapa de probabilidad de inundación Enero – Abril (ver Figura No 7.77)
- El mapa de probabilidad de inundación Mayo – Agosto (ver Figura No 7.78)
- El mapa de probabilidad de inundación Septiembre – Diciembre (ver Figura No 7.79)
- El mapa de densidad de población (ver Figura No 7.50)

Uno de los objetivos de esta investigación es la realización del pronóstico de usos del suelo para los años 2001 y 2014 para la región de La Mojana en un área rectangular de 52.600 x 52.900 m, sin embargo por limitaciones de tiempo computacional en este documento solo se incluyen los resultados del Autómata Celular para un área menor de 3.500 x 3.000 m (ver Figura No 5.18).

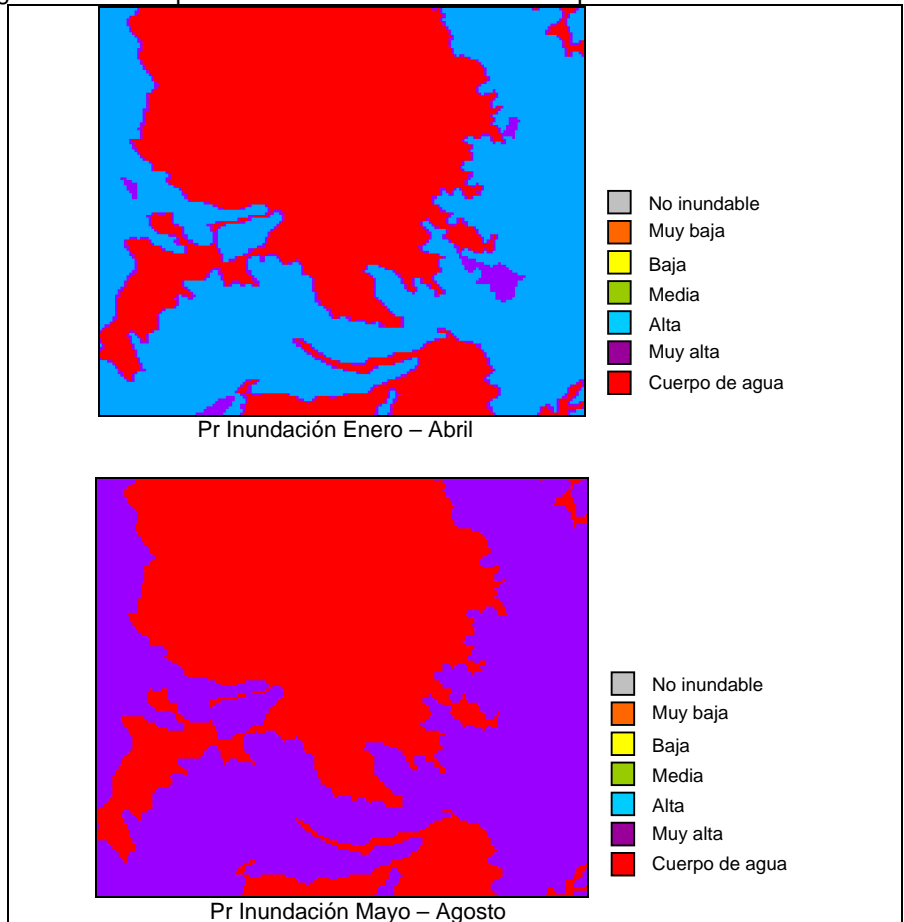
Figura No 8.3. Mapas de entrada al Autómata Celular para área de 52.600 x 52.900 m

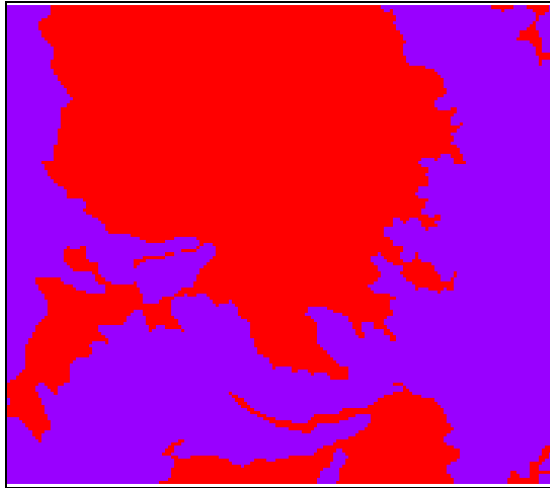




El área de 3.500 x 3.000 m está compuesta por 26.576 celdas, en las cuales no se presentan todas las categorías posibles de los cinco mapas, razón por la cual se espera un mayor número de reglas o patrones para el modelo completo.

Figura No 8.4. Mapas de entrada al Autómata Celular para área de 3.500 x 3.000 m m

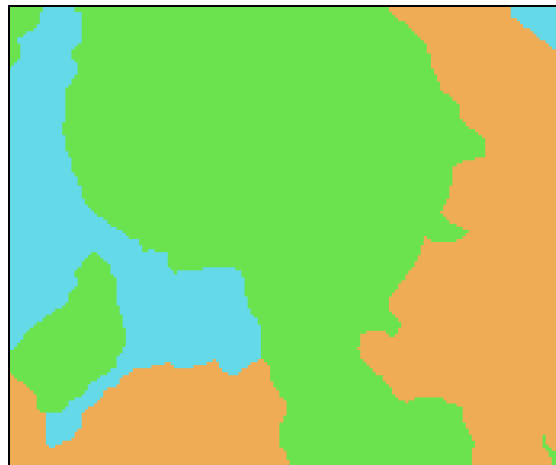




Pr Inundación Septiembre – Diciembre



Densidad de población

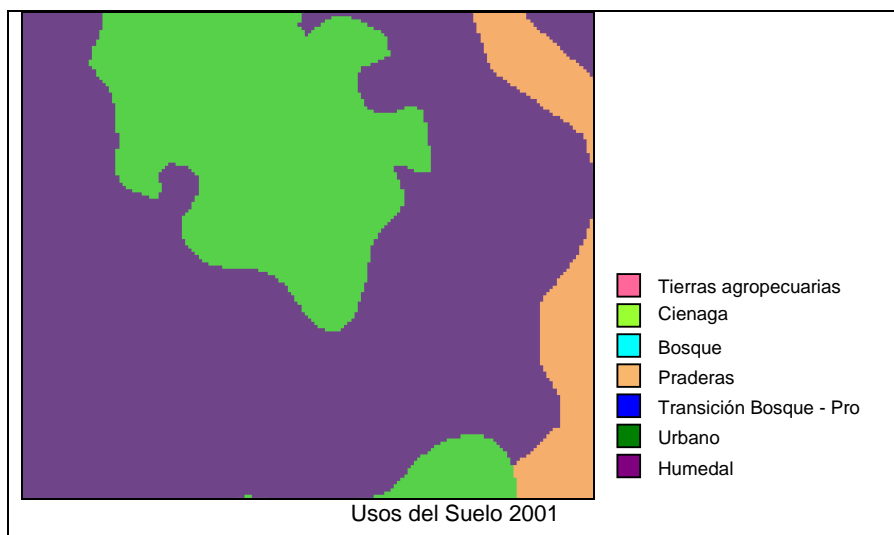


Usos del Suelo 1987

- No inundable
- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta
- Cuerpo de agua

- Despoblado
- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta

- Tierras agropecuarias
- Ciénaga
- Bosque
- Praderas
- Transición Bosque - Pro
- Urbano
- Humedal



### 8.4.2 Resultados del modelo A.C.

#### 8.4.2.1 Estadística de las reglas de cambio del modelo A.C.

A partir de los mapas mostrados en la Figura No 8.4 se construyó la tabla de patrones, en total se tienen 25.926 patrones, uno por cada celda y su respectiva vecindad.

El programa QUITAR\_REPETIDOS eliminó los patrones que se repetían reduciendo la información a solo 2.252 reglas, de las cuales 6 reglas representan el 72% de los cambios de usos del suelo (ver Tabla No 8-1).

Tabla No 8-1. Patrones más repetidos para cambio de usos del suelo 1987 - 2001

No regla	No veces	%	% acumulado
15	7.206	27,79	27,79
23	5.303	20,45	48,25
11	2.759	10,64	58,89
223	1.654	6,38	65,27
1730	1.057	4,08	69,35
282	670	2,58	71,93
46	454	1,75	73,68
7	302	1,16	74,85
1	274	1,06	75,90
373	165	0,64	76,54

Estos 2.252 patrones fueron introducidos a Weka, una vez aplicado el árbol de decisión ID3, los patrones se redujeron a solo 428 reglas.

Estas 428 reglas fueron introducidas en MatLab, sin embargo para el pronóstico de Usos del Suelo para el año 2001 el programa Automata solo utilizó 294 reglas, y con cinco de estas realizó el 81% del pronóstico, demostrando la eficiencia de utilizar minería de datos en la obtención de los patrones del modelo.

Tabla No 8-2. Reglas más utilizadas por el Automata Celular para realizar el pronóstico de los usos del suelo 2001

No regla	No veces	%	% acumulado
158	7206	27.79	27.79
291	5362	20.68	48.48
263	4055	15.64	64.12
19	2759	10.64	74.76
264	1562	6.02	80.78
26	927	3.58	84.36
1	602	2.32	86.68
428	217	0.84	87.52
334	184	0.71	88.23
25	166	0.64	88.87
2	107	0.41	89.28
262	100	0.39	89.67
139	96	0.37	90.04

En la Tabla No 8-3 se muestra la regla No 158, que fue usada el 27,8% de veces para realizar el pronóstico de los usos del suelo al año 2001.

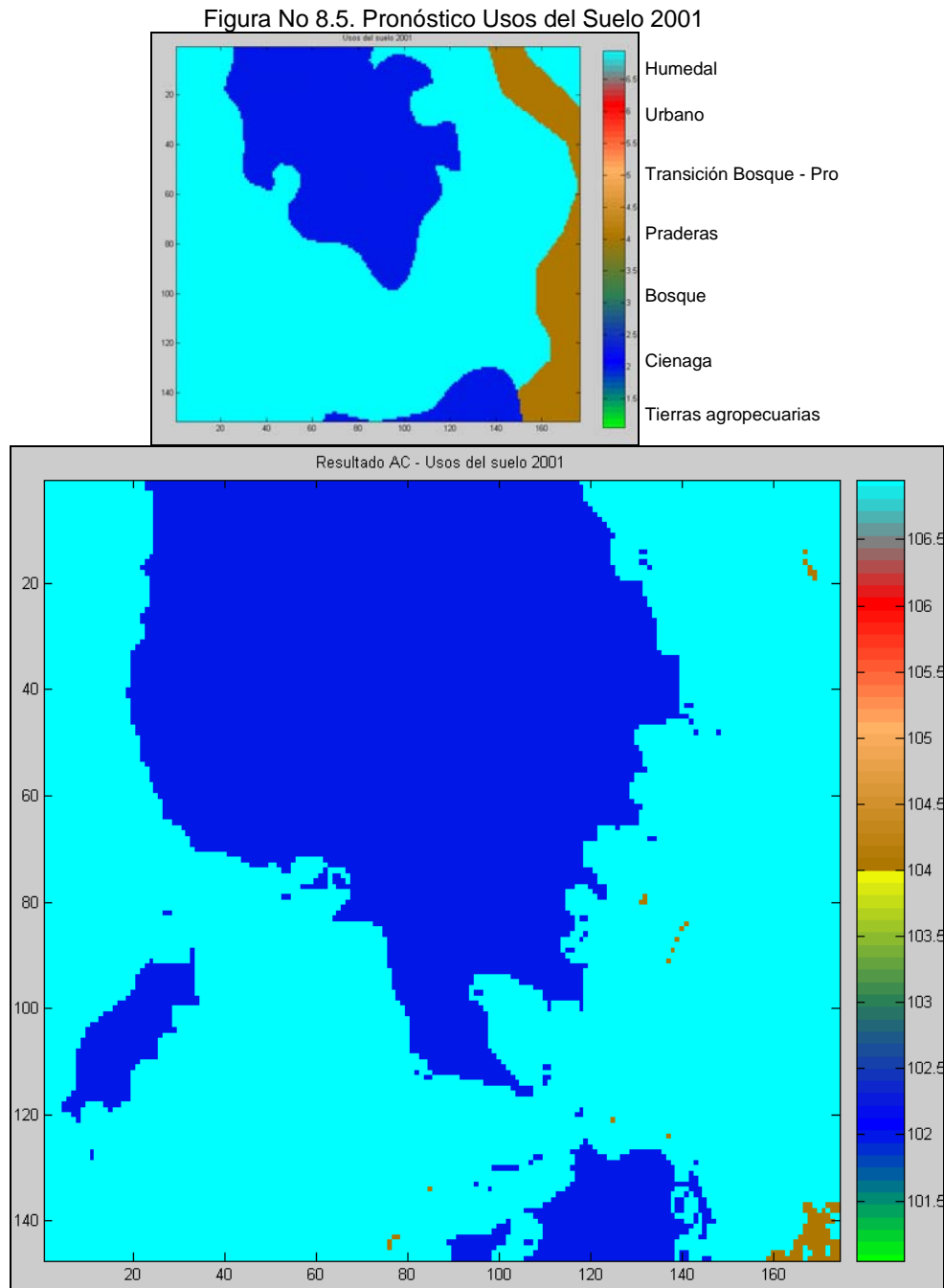
Tabla No 8-3. Reglas No 158. Regla más usada en el pronóstico usos del suelo 2001

NWS = Urbano
SED = MedioD
SWS = Urbano
NES = Urbano
NWD = MedioD
NA = AguaA
CA = AguaA
SA = AguaA
SES = Urbano
EA = AguaA
SEA = AguaA
NEA = AguaA
NS = Urbano
NWA = AguaA
WA = AguaA
SWA = AguaA: Urbano

En la Tabla No 8-3 se puede observar que la raíz es la celda NorOeste del mapa de suelos 1987, y recorre 16 hojas hasta llegar al pronóstico Uso Urbano. Las 16 hojas consultadas se encuentran en los mapas Pr Septiembre – Diciembre (SED – NWD), Usos 1987 (NWS – SWS – NES – SES – NS), Pr Enero – Abril (NA – CA – SA – EA – SEA – NEA – NWA – WA – SWA), de manera que solo consultó tres de cinco mapas, entre los cuales el de más peso relativo es el para de inundaciones de enero a abril.

#### 8.4.2.2 Verificación de Autómata Celular con pronóstico de usos del suelo al año 2001

En la Figura No 8.5 se muestra el resultado del pronóstico y la comparación con la imagen real de usos del suelo del año 2001.

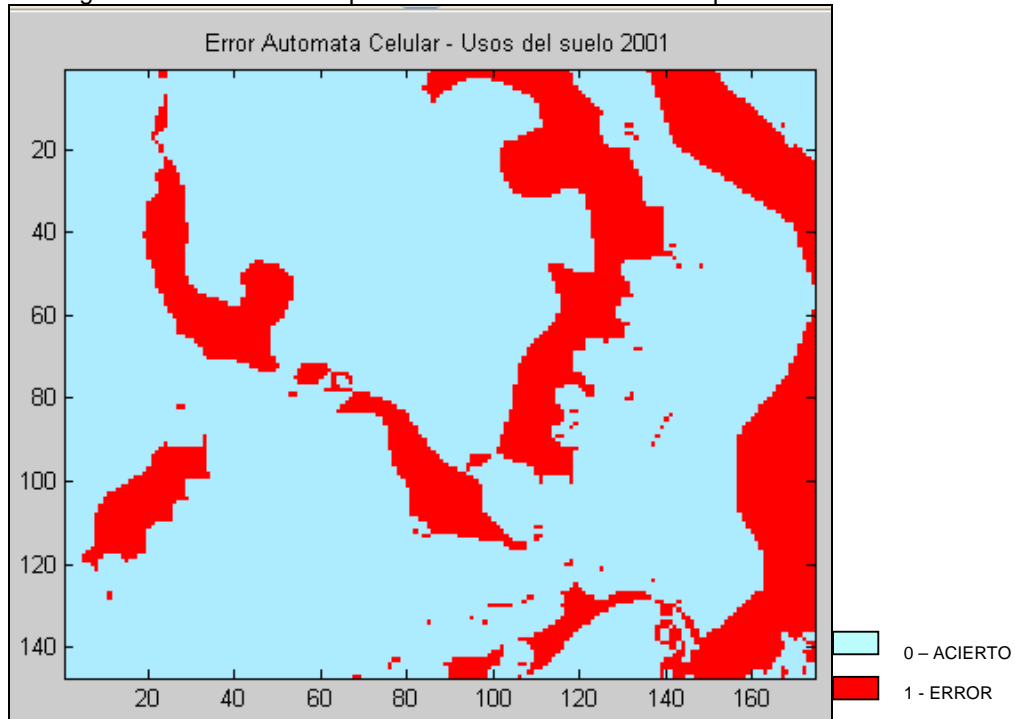


#### 8.4.2.3 Estimación del error en el pronóstico de usos del suelo

En la Figura No 8.5 se puede apreciar que el Autómata logró captar la textura de las ciénagas, aunque sus límites no quedaron bien definidos, adicionalmente sobre la margen derecha, el Autómata no logró reproducir el uso de suelo Transición.

Al realizar la comparación celda a celda se puede determinar con precisión en que puntos el pronóstico fue acertado, asignado 0 a las celdas donde hubo acierto y 1 donde hubo error. El error en el pronóstico fue del 22,5%, en 5.838 celdas que representan un área de 233,5 ha (ver Figura No 8.6).

Figura No 8.6. Error en el pronóstico del Autómata Celular para Usos del Suelo 2001



Este error del 22,5% puede considerarse bajo, teniendo en cuenta que en esta investigación no se realizó análisis de sensibilidad, ni calibración y optimización del Autómata Celular, siendo de esta manera la primera aproximación a un modelo de pronóstico de usos del suelo en La Mojana y el San Jorge.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Desde la perspectiva del futuro normativo planteado por Gomes (2001) en la región de La Mojana el agua constituye un factor crítico de alto impacto que afecta, positiva o negativamente, el desempeño de todo el sistema. Si bien las inundaciones periódicas dinamizan las principales actividades productivas (agricultura, ganadería y pesca), a su vez limitan la productividad de la región y la calidad de vida de sus habitantes.

La reducción en la probabilidad de inundaciones constituye una fuerza impulsora en la medida que mejora la calidad de vida de los habitantes y reduce la incertidumbre sobre las actividades productivas agropecuarias. Por contraste el limitado acceso a la tierra constituye una fuerza restrictiva puesto que genera vulnerabilidad, marginalidad y dependencia al uso de los recursos de uso común, lo que conlleva a la sobreexplotación y apropiación de los recursos naturales.

El agua y el suelo son los elementos articuladores y variables fundamentales que identifican a la región de La Mojana, cualquier modificación en estos elementos impacta fuertemente a todo el sistema, alterando su integridad, por lo cual se recomienda concentrar esfuerzos en la sostenibilidad de los cuerpos de agua y los ecosistemas asociados, en armonía con las actividades productivas de sus habitantes. Por lo anterior, si las medidas tendientes a la sostenibilidad de los cuerpos de agua (ciénagas, humedales y caños) no se complementan con alternativas productivas, la presión y competencia por los recursos naturales seguirá aumentando.

El régimen de niveles restringe temporalmente a unos pocos meses el uso de la tierra para las diferentes actividades productivas, lo cual exige una utilización intensiva del suelo y genera conflictos por el uso de los recursos, particularmente de las zonas comunes que son abandonadas temporalmente por el agua y se aprovechan para agricultura y ganadería.

Los resultados del análisis estacional muestran la sincronía entre el ciclo hidrológico y las tres principales actividades productivas de la región. De acuerdo con el análisis desarrollado se propone dividir el año en tres períodos de cuatro meses cada uno, que cumplen con las siguientes características:

- Enero – Abril. Período de aguas bajas. Es la época con uso más intensivo del suelo y de los recursos naturales, se cultiva el maíz, el ganado ha trashumado en su totalidad hacia las ciénagas, y los peces se encuentran en plena subienda.
- Mayo – Agosto. Período de transición, empieza a subir el nivel del agua y ocasionalmente se presenta el veranillo de San Juan. Es la temporada en que se cultiva el arroz, en algunas zonas se aprovecha el veranillo para sembrar maíz y en los ríos tiene lugar la bajanza.
- Septiembre – Diciembre. Período de aguas altas. Dados los altos niveles de agua el uso del suelo para agricultura es muy bajo, el ganado ha sido retirado hacia la sabana y en las ciénagas la pesca esta en su mejor momento.

Debido a la marginalidad, la pobreza y las características del ciclo hidrológico, la población campesina complementa las actividades de pesca, agricultura y ganadería, constituyendo así una economía mixta de subsistencia como estrategia de vida. Esta afirmación se sustenta en: (a) El comportamiento de la pesca a lo largo del año muestra una abundante producción concentrada en unos pocos meses, pero durante el resto del año la escasez es una constante, (b) los ciclos de pesca y agricultura no se superponen, permitiendo que la población campesina cambie temporalmente de ocupación, complementando su actividad principal y constituyendo una economía mixta, (c) la agricultura y la producción pecuaria de autoconsumo son desarrolladas por cerca del 80% de la población campesina, (d) al comparar los ingresos con los gastos de cada familia se encuentra que en más del 80% el balance es negativo, es decir que los ingresos son insuficientes para el sustento de las familias y (e) ante el alto riesgo de

inundaciones los campesinos prefieren sembrar cultivos de ciclo corto que ofrecen menor rentabilidad (arroz y maíz).

La respuesta de la población ante las inundaciones esta condicionada por la actividad económica, el tiempo en la zona y la región donde vive. El pescador, el agricultor y el ganadero dependen de las tierras inundables y por tanto prefieren adaptarse a las inundaciones. Los antiguos pobladores se ubicaron en zonas bajas cerca de fuentes de agua, mientras que la población joven o con menor tiempo en la región busca zonas altas con menor probabilidad de inundación. Los habitantes de la región de La Mojana se inundan dos o más veces al año, razón por la cual adaptaron los sistemas productivos al medio, mientras que en la región del San Jorge existe mayor expectativa sobre la posibilidad de un invierno de poca intensidad, por lo cual la población se arriesga a sembrar en las zonas inundables y son más afectados por las crecientes.

Las prioridades para los habitantes de La Mojana son (a) compartir con la familia, (b) estar bien de salud y (c) la educación de los hijos. Estos tres elementos constituyen el indicador de bienestar de la población.

La red de drenaje es modificada antrópicamente de manera continua con acciones como la adecuación de suelo inundable, la excavación de canales artificiales y por la construcción de diques para contener la inundación y proteger cultivos durante la época de aguas altas.

Los resultados correspondientes al régimen de precipitación y a los niveles de agua en La Mojana y el San Jorge, sugieren la posibilidad de regionalizar el área de estudio en por lo menos tres zonas: (a) el Bajo San Jorge con influencia de los ríos San Jorge y Magdalena, (b) el Bajo San Jorge sin influencia del remanso del Magdalena y (c) la Mojana asociada al río Cauca.

El enfoque de la teoría general de sistemas proporciona los elementos conceptuales, metodológicos, técnicos y científicos, para el estudio de problemas complejos, caracterizados fundamentalmente por las interrelaciones internas y externas entre componentes como las encontradas en la región de La Mojana.

En las herramientas metodológicas que se usaron y en los resultados de la investigación se evidencia que la información suministrada por la población constituye conocimiento experto. Por tanto, para investigaciones e intervenciones futuras se recomienda involucrar a la población local para lograr un mejor entendimiento de los sistemas sociedad – naturaleza.

En el Autómata Celular diseñado el recurso agua representa una variable de estado que afecta la dinámica de los usos del suelo y la distribución espacial de la población. Esto representa un aporte innovativo respecto a los modelos tradicionales de prospección de usos del suelo en los cuales el agua no es considerada y la dinámica del suelo es función de su comportamiento histórico, de la distribución espacial de la población y de variables económicas.

Es de resaltar, que el modelo conceptual para la gestión integral del agua y los usos del suelo no se limita al Autómata Celular, pues incluye la identificación de las variables características del sistema, las relaciones existentes entre variables, el avance en la formulación del indicador de calidad de vida y el modelo AC para estimar la dinámica de usos del suelo en función del riesgo de inundación y la distribución espacial de la población.

Seria conveniente que Corpomojana lidere a nivel regional una discusión de la cual hagan parte la mayoría de actores del sistema, con el propósito ratificar el papel fundamental del agua en la región, identificar otros aspectos que sean de relevancia en la caracterización de La Mojana y formular acuerdos hacia su sostenibilidad.

Para mejorar el modelo de gestión integral del agua y los usos del suelo en la región de La Mojana, acercándose aun más a la simulación de la dinámica regional, sería conveniente:

- Optimizar el Autómata Celular evaluando distintos tipos de vecindad y tamaño de celdas diferente.

- Incorporar al A.C. la dinámica del sistema hídrico y su relación con las actividades antropicas que se presentan como respuesta a las continuas inundaciones.
- Evaluar la pertinencia de incorporar nuevas variables al A.C.

A futuro se requiere implementar un modelo hidráulico que simule la mayoría de los procesos hidrológicos que ocurren en la región, y que permita formular distintas alternativas de la red de drenaje.

El Autómata Celular debe ser complementado con indicadores sistémicos que permitan evaluar el impacto de los cambios en los usos del suelo y de la dinámica hidrológica sobre los aspectos culturales, la calidad de vida y la sostenibilidad del sistema. Estos indicadores se pueden calcular utilizando evaluación multicriterio (E.M.) de manera que se relacionen a través de factores de ponderación las siguientes variables: Usos del suelo, Probabilidad de inundación, Distribución de la población, Sub-región, Tiempo en la región y Actividades antrópicas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, María. "La Mojana: La riqueza ambiental y el potencial económico". Banco de la Republica - Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER) – Documento de trabajo sobre economía regional No 48. Cartagena de Indias. 2004.

Alzate, Beatriz E. "Indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación en la gestión ambiental sistémica. Caso Páramo de Guerrero, Cundinamarca". Tesis de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2006.

Benenson, Itzhak, y Torrens, Paul. "Geosimulation, automata-based modeling of urban phenomena". Inglaterra: Jhon Wiley & Sons, LTD. 2004.

Botero, Luz Et al. "Hombres, reses, río: reseña de la trashumancia ganadera en la Depresión Momposina". Centro de historia Villa de Magangué, Magangué. 2000.

Castañeda, J. "Una Visión ambiental de los ecosistemas acuáticos lénticos en la Depresión Momposina – Cuenca baja del río Magdalena. Estudio colateral de las macrófitas acuáticas". Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2001.

Centro de predicciones climáticas/NCEP/NWS. "Pronostico ENSO. El Niño/oscilación sur. Discusión diagnóstica". San Juan de Puerto Rico. 2008.

Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio). "Plan de gestión ambiental regional PGAR 2002 – 2012". Corpoguavio, Charala. 2002.

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y San Jorge (CVS). "Consultoría para elaborar el diagnóstico detallado del sistema hídrico y el análisis ambiental de la dinámica de la red de drenaje y cuerpos de agua, en la zona de la margen izquierda del río Sinú sector La Majagua – La Balsa, municipios de San Pelayo, Lórica, y San Bernardo del Viento – Alcance y obligaciones del estudio". CVS, Córdoba. 2004.

Corporación para el desarrollo sostenible de La Mojana y el San Jorge (CORPOMOJANA). "Plan de Manejo Ambiental de los Humedales Asociados al Bajo Río San Jorge". CORPOMOJANA, San Marcos, Sucre. 2000.

Corporación para el desarrollo sostenible de La Mojana y el San Jorge (CORPOMOJANA). "Proyecto Análisis y Evaluación de la Dinámica Pesquera en el Bajo San Jorge y La Mojana". CORPOMOJANA, San Marcos, Sucre. 2000.

Corporación para el desarrollo sostenible de La Mojana y el San Jorge (CORPOMOJANA). "Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR 2002 – 2012". CORPOMOJANA, San Marcos, Sucre. 2002.

Corporación para el desarrollo sostenible de La Mojana y el San Jorge (CORPOMOJANA). "Conservación de la oferta ambiental y funcional de los humedales del sur del Departamento de Sucre, municipios de Caimito, San Benito Abad, San Marcos, Sucre, Majagual y Guaranda, mediante la generación de sistemas productivos amigables con el medio ambiente". CORPOMOJANA, San Marcos, Sucre. 2009.

Correa, Paula Et al. "Metodología de balance hídrico y de sedimentos como herramienta de apoyo para la gestión integral del complejo lagunar del Bajo Sinú". En Avances en recursos hidráulicos – Número 14. Medellín. 2006.

Departamento Nacional de Planeación (DNP), y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). "Programa de desarrollo sostenible de la región de La

Mojana”. Departamento Nacional de Planeación (DNP), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) - Dirección de Desarrollo Territorial (DDT), Bogotá”. 2003.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). “Documento Conpes 3421, Estrategias para la reactivación económica y social de la región de La Mojana”. Departamento Nacional de Planeación (DNP) - Consejo Nacional de Política Económica y Social, Bogotá. 2006.

Departamento Nacional de Planeación (DNP). “Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010, Estado Comunitario”. Departamento Nacional de Planeación (DNP), Bogotá. 2006.

Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres (DGPAD). “Informe de zona de La Mojana y sur de Bolívar”. DGPAD, Bogotá. 2007.

Dourojeanni, A y Jouravlev, A. “Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua”. Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Santiago de Chile. 2001.

Enciclopedia Wikimedia Foundation, Inc. 2007-09-25. [Consulta: Octubre 28 de 2008].

Escobar, Arturo. “El final del salvaje. Naturaleza, cultura y política en la antropología contemporánea”. Instituto Colombiano de Antropología. Bogotá. 1998.

Fondo Nacional del Arroz (FEDEARROZ). “II Censo Nacional Arrocerero, Zona Bajo Cauca”. FEDEARROZ. Santa fé de Bogotá. 2000.

Fondo Nacional del Arroz (FEDEARROZ). “III Censo Nacional Arrocerero, Zona Bajo Cauca”. FEDEARROZ. Santa fé de Bogotá. 2008.

Fondo Nacional del Ganado (FEDEGAN). “Programa nacional de erradicación de la fiebre aftosa. Censo de predios y población según especie 1999 – 2009”. FEDEGAN, San Marcos 2009.

Franco, Alejandro. “Geomorfología y dinámica fluvial del Río San Jorge”. Universidad Nacional de Colombia, Curso de Geomorfología y dinámica fluvial. Diciembre de Bogotá D.C, 2008.

Gallopín, Gilberto. “Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. División de desarrollo sostenible y asentamientos humanos” En Proyecto evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe. CEPAL/Gobierno de los Países Bajos, Santiago de Chile. 2003.

Garcés, Juan. “Proyecto dique marginal Río Cauca - Informe Ejecutivo” En Programa de desarrollo sostenible de la región de La Mojana, FAO-DNP, Bogotá. 2002.

Geilfus, Frans. “80 Herramientas para el Desarrollo Participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación”. Prochalate-IICA, San Salvador. 1997.

Gomes de Castro, A Et al. “La dimensión de futuro en la construcción de la sostenibilidad institucional”. Serie: Innovación para la sostenibilidad institucional. Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional (ISNAR). San José, Costa Rica. 2001.

Han, J., Et al. “Application of an integrated system dynamics and cellular automata model for urban growth assessment: A case study of Shanghai, China”. Landscape and Urban Planning, journal homepage. Disponible en:<<http://www.elsevier.com/locate/landurbplan>. 2009>.

Henríquez, Cristian. “Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental”. Ponencia presentada en el IX Coloquio Internacional de Neocrítica “Los problemas del mundo actual. Soluciones y alternativas desde la geografía y las ciencias sociales”. Universidad Federal do Rio Grande do Sul, 28 de mayo al 1 de junio. Porto Alegre. 2007.

Hernández, J., Et. al. “Minería de datos”. España. 2008.

INGETEC S.A. "Modelo de gestión para el manejo integral del agua". INGETEC S.A., Bogotá. 2002.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). "Condiciones e indicadores ambientales en Colombia". Informe No 79. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá. 2001.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). "Decreto 1729 de 2002 - Guía técnico científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia".: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá. 2004.

Londoño, Carlos. "Cuencas hidrográficas: bases conceptuales – caracterización, planificación – administración". Universidad del Tolima, Ibagué. 2001.

Méndez, Orlando. "Informe final de consultoría en cartografía y dibujo, Programa de desarrollo sostenible de la región de La Mojana". Departamento Nacional de Planeación (DNP), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Bogotá. 2002.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. "Marco de muestreo de áreas" En proyecto SISAC. Bogotá. 2006.

Ministerio de Desarrollo Económico. "Ley 388 de 1997 (Ley de Desarrollo Territorial)". Ministerio de Desarrollo Económico, Santafé de Bogotá. 1997.

Mitchell, T. "Machine Learning". McGraw Hill, New Cork. 1997.

Obregón, Nelson. "Ecohidroinformática – reflexiones para un diálogo interdisciplinario entre biólogos, ecólogos, hidrólogos e hidráulicos". Ponencia presentada en Neolimnos, Universidad del Tolima, 11-15 de septiembre. Ibagué. 2006.

United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA). "Colombia, inundaciones en La Mojana. Informe de situación No 2". 2010.

Ortiz, Cesar. "Interacciones entre las funciones del medio rural y los conflictos en torno a los recursos naturales, el caso de La Mojana". Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales y Rurales - Departamento de Desarrollo Rural y Regional, Bogotá D.C. 1991.

Ortiz, Cesar. El conflicto ambiental en La Mojana. Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Estudios Ambientales y Rurales - Departamento de Desarrollo Rural y Regional, Bogotá D.C. 2005.

Plazas, C., Et al. "La sociedad hidráulica Zenu, estudio arqueológico de 2000 años de historia en las llanuras del Caribe Colombiano". Banco de la República, Bogotá D.C. 1993.

Preis A. & Ostfeld A. "A coupled model tree–genetic algorithm scheme for flow and water quality predictions in watersheds". Journal of Hydrology. Volumen 349, pp 364– 375. 2008.

Quintero, Luís, y Dyner, Isaac. "Modelo de Caracterización de la Dinámica de Potencialidades del Suelo, integrando autómatas celulares y dinámica de sistemas". Memorias II Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas. Santa Marta. 2004.

Santos, Ana. "Implementación de un modelo de autómata celular para el pronóstico de la precipitación espacial. Caso de estudio ciudad de Bogotá (Colombia). Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Maestría en Recursos Hidráulicos., Bogotá. 2010.

Schärer M., Et al. "A fuzzy decision tree to predict phosphorus export at the catchment scale. Journal of Hydrology". Volumen 331, pp 484– 494. 2006.

UMATA`s – URPA – Secretaria de Desarrollo Económico y Medio Ambiente de Sucre. "Consensos agropecuarios municipales". Sincelejo. 2000 – 2005.

Wei, C & Hsu, N. "Optimal tree-based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multireservoir system". Journal of Hydrology. Volumen 365. pp 213–224. 2009.

Wilches, Gustavo. "¿Y qué es eso, desarrollo sostenible?". Editorial ejecutivos gráficos, Bogotá, Colombia. 1997.

Yapa, Kashyapa. "Ingeniería prehispánica americana y sus lecciones para hoy". Disponible en: <<http://kyapa.tripod.com/ingprehisp/ngprehisp-3.htm>> . [Consulta: Noviembre 24 de 2006].

## ANEXO 8. CÓDIGOS MATLAB – AUTÓMATA CELULAR

### Lectura SUELOS87

```
%% LIMPIA AREA DE TRABAJO Y WORKSPACE
clc
clear all

%% LECTURA INICIAL DE DATOS
load suelos87ej.txt
DATOS_INICIALES=suelos87ej;

%% CREA MATRIZ MOORE
MATRIZ_AUXILIAR=DATOS_INICIALES;
TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR=size(MATRIZ_AUXILIAR);
NUMERO_DE_FILAS=(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-2)*(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-2);
MATRIZ_MOORE=NaN;
j=1;
for k=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-1
    for l=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-1
        MATRIZ_MOORE(j,1)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,2)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,3)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,4)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,5)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l);
        MATRIZ_MOORE(j,6)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,7)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,8)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,9)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l+1);
        j=j+1;
    end
end
SUELOS87=MATRIZ_MOORE;

save SUELOS87.mat SUELOS87
```

### Lectura ENEABR

```
%% LIMPIA AREA DE TRABAJO Y WORKSPACE
clc
clear all

%% LECTURA INICIAL DE DATOS
load ene_abr_ej.txt
DATOS_INICIALES=ene_abr_ej;

%% CREA MATRIZ MOORE
MATRIZ_AUXILIAR=DATOS_INICIALES;
TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR=size(MATRIZ_AUXILIAR);
NUMERO_DE_FILAS=(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-2)*(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-2);
MATRIZ_MOORE=NaN;
j=1;
for k=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-1
    for l=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-1
        MATRIZ_MOORE(j,1)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,2)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,3)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,4)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,5)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l);
        MATRIZ_MOORE(j,6)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,7)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,8)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,9)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l+1);
        j=j+1;
    end
end
ENEABR=MATRIZ_MOORE;

save ENEABR.mat ENEABR
```

## Lectura MAYAGO

```
%% LIMPIA AREA DE TRABAJO Y WORKSPACE
clc
clear all

%% LECTURA INICIAL DE DATOS
load may_agt_ej.txt
DATOS_INICIALES=may_agt_ej;

%% CREA MATRIZ MOORE
MATRIZ_AUXILIAR=DATOS_INICIALES;
TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR=size(MATRIZ_AUXILIAR);
NUMERO_DE_FILAS=(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-2)*(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-2);
MATRIZ_MOORE=NaN;
j=1;
for k=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-1
    for l=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-1
        MATRIZ_MOORE(j,1)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,2)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,3)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,4)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,5)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l);
        MATRIZ_MOORE(j,6)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,7)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,8)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,9)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l+1);
        j=j+1;
    end
end
MAYAGO=MATRIZ_MOORE;

save MAYAGO.mat MAYAGO
```

## Lectura SEPDIC

```
%% LIMPIA AREA DE TRABAJO Y WORKSPACE
clc
clear all

%% LECTURA INICIAL DE DATOS
load sept_dic_ej.txt
DATOS_INICIALES=sept_dic_ej;

%% CREA MATRIZ MOORE
MATRIZ_AUXILIAR=DATOS_INICIALES;
TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR=size(MATRIZ_AUXILIAR);
NUMERO_DE_FILAS=(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-2)*(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-2);
MATRIZ_MOORE=NaN;
j=1;
for k=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-1
    for l=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-1
        MATRIZ_MOORE(j,1)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,2)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,3)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,4)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,5)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l);
        MATRIZ_MOORE(j,6)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,7)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,8)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,9)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l+1);
        j=j+1;
    end
end
SEPDIC=MATRIZ_MOORE;

save SEPDIC.mat SEPDIC
```

## **Lectura DENPOB**

```
%% LIMPIA AREA DE TRABAJO Y WORKSPACE
clc
clear all

%% LECTURA INICIAL DE DATOS
load den_pobla_eje.txt
DATOS_INICIALES=den_pobla_eje;

%% CREA MATRIZ MOORE
MATRIZ_AUXILIAR=DATOS_INICIALES;
TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR=size(MATRIZ_AUXILIAR);
NUMERO_DE_FILAS=(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-2)*(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-2);
MATRIZ_MOORE=NaN;
j=1;
for k=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-1
    for l=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-1
        MATRIZ_MOORE(j,1)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,2)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,3)=MATRIZ_AUXILIAR(k-1,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,4)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,5)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l);
        MATRIZ_MOORE(j,6)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l+1);
        MATRIZ_MOORE(j,7)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l-1);
        MATRIZ_MOORE(j,8)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l);
        MATRIZ_MOORE(j,9)=MATRIZ_AUXILIAR(k+1,l+1);
        j=j+1;
    end
end

DENPOB=MATRIZ_MOORE;

save DENPOB.mat DENPOB
```

## **Lectura SUELOS01**

```
%% LIMPIA AREA DE TRABAJO Y WORKSPACE
clc
clear all

%% LECTURA INICIAL DE DATOS
load suelos01ej.txt
DATOS_INICIALES=suelos01ej;

save SUELOS01.mat DATOS_INICIALES
```

## **UNION**

```
load DENPOB.mat
load ENEABR.mat
load MAYAGO.mat
load SEPDIC.mat
load SUELOS87.mat

PATRONES(:,1:9)=SUELOS87;
PATRONES(:,10:18)=ENEABR;
PATRONES(:,19:27)=MAYAGO;
PATRONES(:,28:36)=SEPDIC;
PATRONES(:,37:45)=DENPOB;

save PATRONES.mat PATRONES
```

## **ULTIMA COLUMNA**

```
clc
clear all

load suelos01ej.txt
load PATRONES.mat
MATRIZ_AUXILIAR=suelos01ej;
TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR=size(MATRIZ_AUXILIAR);
```

```

NUMERO_DE_FILAS=(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-2)*(TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-2);
MATRIZ_MOORE_3=NaN;
j=1;
for k=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(1)-1
    for l=2:TAMANO_MATRIZ_AUXILIAR(2)-1
        MATRIZ_MOORE_3(j,l)=MATRIZ_AUXILIAR(k,l);
        j=j+1;
    end
end

PATRONES_FINAL=PATRONES;
PATRONES_FINAL(:,46)=MATRIZ_MOORE_3(:,1);

save PATRONES_FINAL.mat PATRONES_FINAL

```

## **QUITAR REPETIDOS**

```

%% LIMPIA AREA DE TRABAJO Y WORKSPACE
clc
clear all

%% CARGAR DATOS
load PATRONES_FINAL.mat

l=1;
MATRIZ_INTELIGENTE=NaN;
MATRIZ_INTELIGENTE_2=NaN;
SUMATORIA=0;

MATRIZ_PATRON=PATRONES_FINAL;
MATRIZ_INTELIGENTE(1,1:45)=MATRIZ_PATRON(1,1:45);
NUMERO_DE_FILAS=size(PATRONES_FINAL,1);

for j=1:NUMERO_DE_FILAS
    m(1,1)=0;
    for k=1:l
        if MATRIZ_PATRON(j,1:45)==MATRIZ_INTELIGENTE(k,1:45);
            m(k,1)=1;
            break
        else
            m(k,1)=0;
        end
    end
    if sum(m) > 0
        SUMATORIA(1,1)=SUMATORIA+m;
        n=find(m==1);
        MATRIZ_INTELIGENTE_2(n,SUMATORIA(n,1))=MATRIZ_PATRON(j,46);
    else
        l=l+1;
        MATRIZ_INTELIGENTE(1,1:45)=MATRIZ_PATRON(j,1:45);
        MATRIZ_INTELIGENTE_2(1,1)=MATRIZ_PATRON(j,46);
        SUMATORIA(1,1)=1;
    end
end

for i=1:size(MATRIZ_INTELIGENTE_2)
    MATRIZ_INTELIGENTE(i,46)=mode(nonzeros(MATRIZ_INTELIGENTE_2(i,:)));
end

xlswrite('MATRIZ INTELIGENTE.xls',MATRIZ_INTELIGENTE,'MATRIZ_INTELIGENTE')
xlswrite('MATRIZ INTELIGENTE.xls',SUMATORIA,'FRECUENCIA')

```

## **Construir Reglas**

```

clear all
clc
REGLETAS=xlsread('arbol.xls','regleta');
POSICIONES=NaN;
l=0;
LUGAR_FINAL_DE_REGLA=NaN;
REGLAS=NaN;
NUMERO_DE_POSICIONES=45;
for i=1:length(REGLETAS)
    for j=1:size(REGLETAS,2)
        if REGLETAS(i,j) > 0 && REGLETAS(i,j) <= NUMERO_DE_POSICIONES

```

```

        POSICIONES(1,j*2-1)=REGLETAS(i,j);
        POSICIONES(1,j*2)=REGLETAS(i,find(REGLETAS(i,:)>NUMERO_DE_POSICIONES,1));
    end
end
%% OJO CAMBIAR J PARA CADA TAMANO %%
for j=1:size(REGLETAS,2)-1
    if REGLETAS(i,j)>NUMERO_DE_POSICIONES && REGLETAS(i,j+1)>NUMERO_DE_POSICIONES
        l=l+1;
        LUGAR_FINAL_DE_REGLA(l,1)=i;
    %% OJO CAMBIAR K PARA CADA TAMANO
        for k=1:size(REGLETAS,2)
            if REGLETAS(i,k)>0 && REGLETAS(i,k)<=NUMERO_DE_POSICIONES
                POSICION=k;
            end
        end
        REGLAS(l,1:POSICION*2)=POSICIONES(1,1:POSICION*2);
        REGLETAS_AUXILIAR=REGLETAS(i,:);
        REGLETAS_AUXILIAR=nonzeros(REGLETAS_AUXILIAR);
        REGLAS(l,NUMERO_DE_POSICIONES*2+1)=REGLETAS_AUXILIAR(1,length(REGLETAS_AUXILIAR));
    end
end
end
end
xlswrite('REGLAS.xlsx',REGLAS)

```

## **Automata.m**

```

clc
clear all
%% REPRODUCCION AUTOMATA CELULAR
load PATRONES.mat
load PATRONES_FINAL.mat
REGLAS=xlsread('REGLAS.xlsx');

%% OJO CAMBIAR TAMANO DE COLUMNAS Y FILAS PARA CADA CORRIDA
NUMERO_DE_COLUMNAS=174;
NUMERO_DE_FILAS=147;

%% GENERA MAPA RESULTADO
VECTOR_RESULTADO=NaN;
MATRIZ_RESULTADO=NaN;
ERROR_RESULTADO=NaN;
CONTADOR_REGLAS(1:size(REGLAS),1)=0;
for i=1:size(PATRONES,1)
    for j=1:size(REGLAS)
        ACIERTO=0;
        REGLA_ANALISIS(1:)=nonzeros(REGLAS(j,:));
        POSICIONES_ANALISIS=REGLA_ANALISIS(1,1:2:size(REGLA_ANALISIS,2)-1);
        VALORES_ANALISIS=REGLA_ANALISIS(1,2:2:size(REGLA_ANALISIS,2));
        RESULTADO=REGLA_ANALISIS(1,size(REGLA_ANALISIS,2));
        for k=1:size(POSICIONES_ANALISIS,2)
            if PATRONES(i,POSICIONES_ANALISIS(1,k))==VALORES_ANALISIS(1,k)-100
                ACIERTO=ACIERTO+1;
            end
        end
        end
        if ACIERTO==k
            VECTOR_RESULTADO(i,1)=RESULTADO;
            clear REGLA_ANALISIS
            CONTADOR_REGLAS(j,1)=CONTADOR_REGLAS(j,1)+1;
            break
        end
        clear REGLA_ANALISIS
    end
end
%% ORDENAR CONTADOR REGLAS
[CONTADOR_REGLAS_ORDENADO
CONTADOR_REGLAS_ORDENADO_UBICACION]=sort(CONTADOR_REGLAS,'descend');
CONTADOR_REGLAS_ORDENADO_PORCENTAJE=CONTADOR_REGLAS_ORDENADO./sum(CONTADOR_REGLAS).*
100;
CONTADOR_REGLAS_ORDENADO_PORCENTAJE_ACUMULADO=cumsum(CONTADOR_REGLAS_ORDENADO_POR
CENTAJE);

%% ERROR
ERROR=abs(VECTOR_RESULTADO-100-PATRONES_FINAL(:,46));
for i=1:size(ERROR,1)
    if ERROR(i,1)>0

```

```

        ERROR(i,1)=1;
    end
end

%% CONVIERTE VECTOR VECTOR EN MATRIZ

for i=1:NUMERO_DE_FILAS
    MATRIZ_RESULTADO(i,1:174)=VECTOR_RESULTADO(i*NUMERO_DE_COLUMNAS-
NUMERO_DE_COLUMNAS+1:i*NUMERO_DE_COLUMNAS,1);
    ERROR_RESULTADO(i,1:174)=ERROR(i*NUMERO_DE_COLUMNAS-
NUMERO_DE_COLUMNAS+1:i*NUMERO_DE_COLUMNAS,1);
end

xlswrite('MATRIZ RESULTADO.xlsx',MATRIZ_RESULTADO)

```