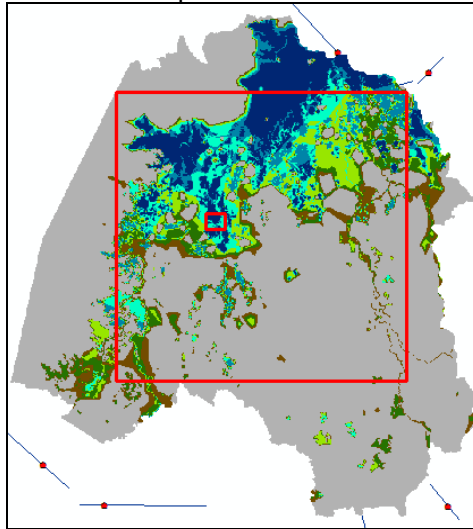


Figura No 5.18. Área implementación del Autómata Celular



5.4.2 Implementación del Autómata Celular

La metodología para la implementación del Autómata Celular puede resumirse así:

1. Conversión de los mapas de formato Raster a archivo de texto utilizando la herramienta Conversión Tools/From Raster/Raster to ASCII.
2. Lectura de los datos de las variables independientes en MatLab, aplicación de la plantilla Moore y tabulación de vecindades en la matriz Moore de tamaño $n \times 9$, donde n es el número de celdas. Para lo cual se crearon los siguientes códigos:
Lectura_SUELOS87
Lectura_ENEABR
Lectura_MAYAGO
Lectura_SEPDIC
Lectura_DENPOB
3. Lectura de la imagen objetivo y generación de un vector con los valores de dicha imagen, en este caso el mapa de usos del suelo 2001. Se utiliza el código: Lectura_SUELOS01
4. Unión de los cinco archivos generados en el punto 2 y creación de la matriz PATRONES de dimensión $n \times 45$. Para esta labor se ejecuta el código: UNION.
5. Se unen la matriz PATRONES y los valores de la imagen objetivo, generando una matriz de $n \times 46$ denominada: PATRONES_FINAL. En este paso se ejecuta el código ULTIMA_COLUMNNA.
6. En la matriz PATRONES_FINAL hay reglas o combinaciones de valores que se repiten varias veces. El código QUITAR_REPETIDOS identifica y elimina las combinaciones que se repiten y las organiza en una nueva matriz llamada MATRIZ_INTELIGENTE de tamaño $n \times 46$. Al ejecutar este código también se obtiene la frecuencia con que se repite cada patrón.
7. Reclasificación de los patrones. La matriz MATRIZ_INTELIGENTE tiene únicamente valores numéricos que representan los usos del suelo, la probabilidad de inundación y la densidad de población de acuerdo con las imágenes de entrada. Para obtener las reglas implícitas en los datos que gobiernan el cambio de uso del suelo se realiza minería de

datos utilizando el software Weka⁹. Teniendo en cuenta que Weke solo reconoce datos lingüísticos es necesario reclasificar la MATRIZ_INTELIGENTE reemplazando todos los valores numéricos y adicionando una fila correspondiente a la posición y mapa.

8. Con el software Weka se realiza minería de datos obteniéndose las reglas que gobiernan el cambio de usos del suelo en el Autómata Celular.
9. Las reglas obtenidas por Weka deben ser reclasificadas a valores numéricos para que puedan ser procesadas por MatLab. Como resultado se genera un archivo regleta.xls donde se ordenan las reglas indicando posición y valor. Este archivo es cargado en MatLab ejecutando el código: Construir_Reglas.
10. Finalmente el código: Automata.m aplica las reglas identificadas por Weka y realiza el pronóstico de los futuros usos del suelo, ordena los resultados en una matriz llamada MATRIZ RESULTADO, genera el mapa de resultados, cuenta las reglas que se utilizaron en el pronóstico y calcula el error del pronóstico.
11. Para el cálculo del error el programa compara celda a celda el pronóstico y la imagen objetivo (usos del suelo 2001).

En el **Anexo 6** se muestran los códigos de los programas diseñados para ejecutar el autómata celular.

5.4.3 Verificación del Autómata Celular

Para el diseño del Autómata Celular se utilizó el software MatLab, y para su verificación se compararon las características celda a celda de la imagen de salida respecto a cartografía existente. Es de aclarar que el análisis de sensibilidad y la calibración del modelo no forman parte del alcance de esta investigación y deben ser desarrollados en estudios posteriores.

5.4.4 Vecindad y nomenclatura del Autómata Celular

Teniendo en cuenta que el cambio en los usos del suelo puede evolucionar o ser inducido desde cualquier punto cardinal, en el autómata celular se aplicó una vecindad bidimensional tipo Moore de 3 x 3 celdas, donde cada celta tiene un tamaño de 20 x 20 m. Para evitar confusiones en la generación e interpretación de los patrones del autómata, se utilizó la nomenclatura indicada en la Figura No 5.19. La nomenclatura numérica es utilizada por el software MatLab para ejecutar el autómata, mientras que la nomenclatura algebraica es utilizada por el software Weka para encontrar las reglas del autómata aplicando minería de datos.

Figura No 5.19. Vecindad bidimensional tipo Moore utilizada en el Autómata Celular

1	2	3
4	5	6
7	8	9

NW	N	NE
W	C	E
SW	S	SE

Por facilidad de manejo a cada mapa se le asignó un subíndice que indica el mapa al cual hace referencia la posición:

- Mapa de usos del suelo 1987: **S**
- Mapa Pr Enero – Abril: **A**
- Mapa Pr Mayo - Agosto: **B**
- Mapa Pr Septiembre - Diciembre: **C**
- Mapa Densidad de población: **D**

⁹ Software Weka version 3-6. Disponible en: <<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>>

Para evitar confusiones del autómata en MatLab, las posiciones de cada variable se numeraron sucesivamente con valores entre 0 y 45.

De acuerdo con los criterios definidos, en la Figura No 5.20 se muestran las reglas de cada variable según los requerimientos de MatLab y de Weka.

Figura No 5.20. Nomenclatura de la vecindad tipo Moore para cada variable

Variable	Nomenclatura Weka			Nomenclatura MatLab		
Mapa de usos del suelo 1987	NWS	NS	NES	1	2	3
	WS	CS	ES	4	5	6
	SWS	SS	SES	7	8	9
Mapa Pr Enero – Abril	NWA	NA	NEA	10	11	12
	WA	CA	EA	13	14	15
	SWA	SA	SEA	16	17	18
Mapa Pr Mayo – Agosto	NWB	NB	NEB	19	20	21
	WB	CB	EB	22	23	24
	SWB	SB	SEB	25	26	27
Mapa Pr Septiembre – Diciembre	NWC	NC	NEC	28	29	30
	WC	CC	EC	31	32	33
	SWC	SC	SEC	34	35	36
Mapa Densidad de población	NWD	ND	NED	37	38	39
	WD	CD	ED	40	41	42
	SWD	SD	SED	43	44	45

De acuerdo con el mapa o variable, los valores o categorías que puede tomar cada celda en el autómata celular son:

- Mapa de usos del suelo: Bosque, Urbano, Ciénaga, Humedal, Praderas, Agropecuarias y Transición
- Mapas de probabilidad de inundación: Seco, Muy baja, Baja, Media, Alta, Muy alta y Agua
- Mapa de densidad de población: Despoblado, Muy bajo, Bajo, Medio y Alta

Para la ejecución del Autómata Celular en MatLab estas categorías deben ser reclasificadas a valores numéricos, para lo cual se utiliza la tabla de equivalencias mostrada en la Tabla No 5-7.

Tabla No 5-7. Tabla de equivalencias para reclasificación de categorías del AC

Mapa	Categoría lingüística	Equivalencia numérica para AC
Usos del suelo	Null	100
	Bosque	101
	Urbano	102
	Ciénaga	103
	Humedal	104

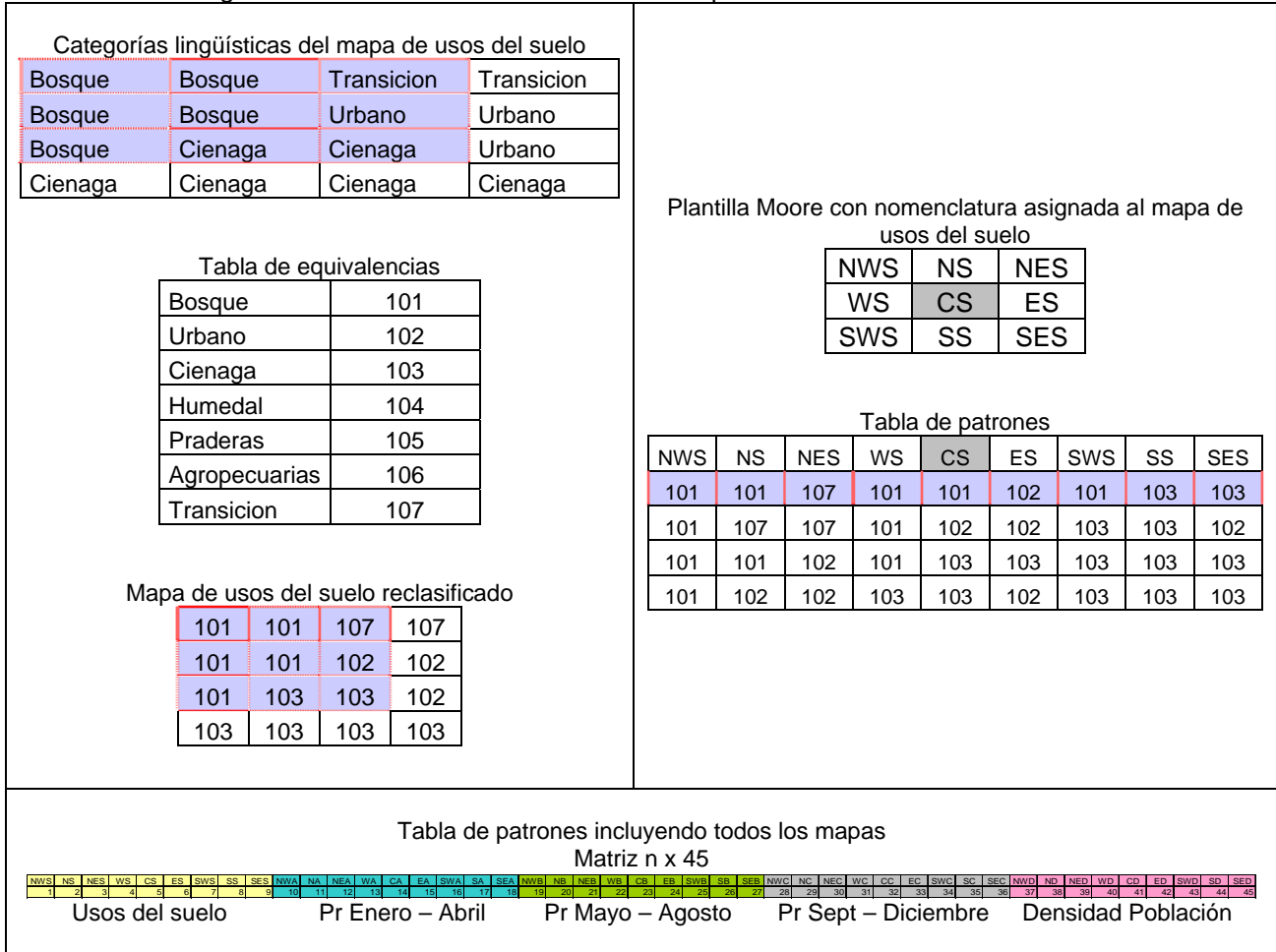
Mapa	Categoría lingüística	Equivalencia numérica para AC
	Null	100
	Praderas	105
	Agropecuarias	106
	Transicion	107
Pr Enero – Abril	SecoA	110
	MuybajaA	111
	BajaA	112
	MediaA	113
	AltaA	114
	MuyaltaA	115
	AguaA	116
Pr Mayo – Agosto	SecoB	120
	MuybajaB	121
	BajaB	122
	MediaB	123
	AltaB	124
	MuyaltaB	125
	AguaB	126
Pr Septiembre – Diciembre	SecoC	130
	MuybajaC	131
	BajaC	132
	MediaC	133
	AltaC	134
	MuyaltaC	135
	AguaC	136
Densidad depoblación	Despoblado	140
	MuybajoD	141
	BajoD	142
	MedioD	143
	AltaD	144

5.4.5 Reglas de cambio del Autómata Celular

La tabla de patrones es una matriz compuesta por los valores de cada celda del mapa ordenados según la nomenclatura de la plantilla, en este caso la Moore. En la Figura No 5.21 se muestra a manera de esquema el procedimiento de construcción de la tabla de patrones para el caso del mapa de usos del suelo.

Para encontrar las reglas del modelo se utilizó el software Weka, aplicando la técnica de árbol de decisión ID3. Este algoritmo aplica el concepto de entropía para encontrar las reglas más representativas, de manera que entre mayor sea el valor de la entropía, menor será la incertidumbre y más útil será la variable para la clasificación.

Figura No 5.21. Construcción de la tabla de patrones con la vecindad Moore

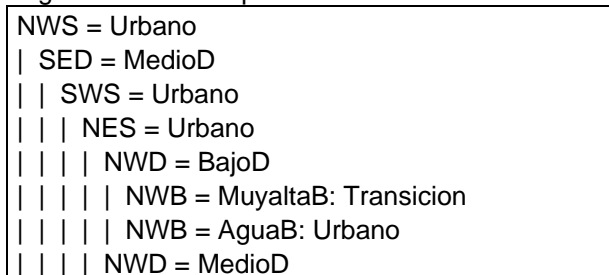


El algoritmo ID3 realiza un recorrido desde la raíz hasta encontrar el valor de la celda de interés. La determinación del valor de cada celda viene dado por la trayectoria desde la raíz a la hoja representativa de esa decisión.

En el mercado existen varios aplicativos computacionales de uso libre especializados que llevan a cabo aplicaciones usando técnicas de minería de datos. En la presente investigación para la construcción del árbol de decisión se usó el software Weka version 3-6. El software utilizado para la construcción de la tabla de patrones es MATLAB® versión 2009a.

En la Figura No 5.22 se presenta una parte del reporte de Weka para el autómata implementado en esta investigación, y en la Figura No 5.23 se observa la forma de esta porción del árbol.

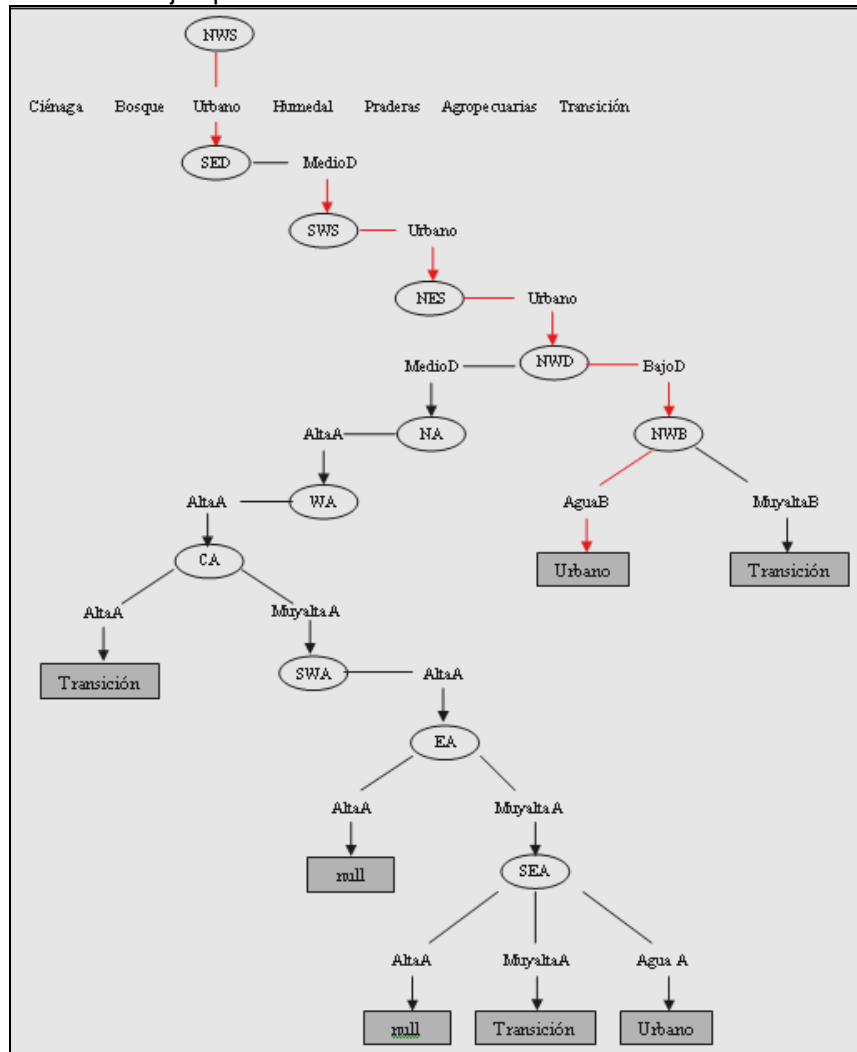
Figura No 5.22. Reporte Weka – Árbol de decisión



					NA = AltaA
					WA = AltaA
					CA = AltaA: Transicion
					CA = MuyaltaA
					SWA = AltaA
					EA = AltaA: null
					EA = MuyaltaA
					SEA = AltaA: null
					SEA = MuyaltaA: Transicion
					SEA = AguaA: Urbano

De acuerdo con la vecindad de Moore propuesta y la nomenclatura descrita, en el árbol de la Figura No 5.23 el nodo raíz corresponde a la celda NorOeste (NW) del mapa de suelos (S), para definir que ruta seguir en el momento de tomar una decisión existen siete opciones, si la posición NW del mapa de Suelos87 tiene un valor de etiqueta "Urbano" la regla pasa al siguiente nodo, en este caso la posición SurEste (SE) del mapa de Densidad de Población. Este proceso se lleva a cabo sucesivamente hasta llegar a una hoja donde se toma la decisión del estado de la celda C en el tiempo $t + 1$.

Figura No 5.23. Ejemplo de árbol de decisión – Autómata Celular Usos del Suelo



Tomando como referencia la línea roja en Figura No 5.23, el recorrido y decisión de la regla se expresa como:

```

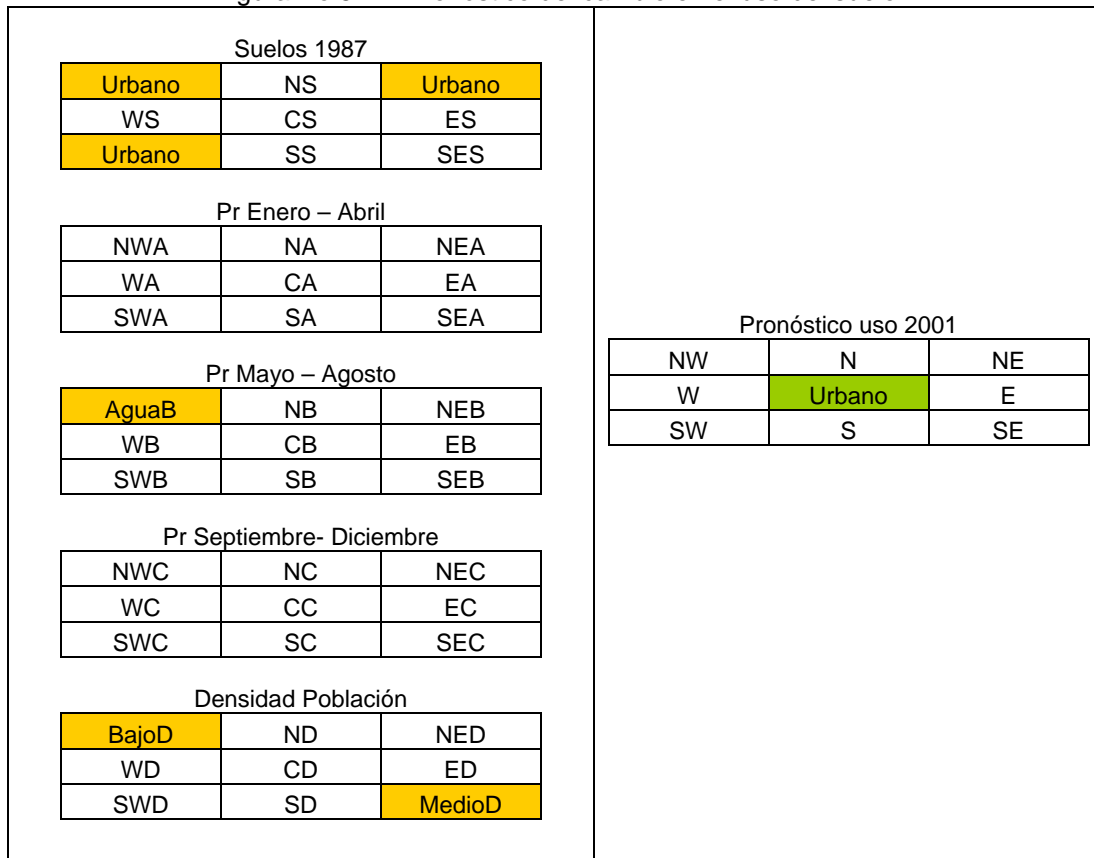
if NWS = Urbano
and SED = MedioD
and SWS = Urbano
and NES = Urbano
and NWD = BajoD
and NWB = AguaB
then CS = Urbano
    
```

5.4.6 Pronóstico del cambio en los usos del suelo

Las reglas obtenidas con minería de datos se incorporan al Autómata Celular, el cual hace el recorrido por los cinco mapas de entrada (Usos del suelo 1987, Probabilidad de Inundación y Densidad de Población), construye el vector de valores de los mapas y lo compara con las reglas para tomar la decisión del nuevo uso del suelo.

En la Figura No 5.24 se muestra esquemáticamente la forma en que el AC toma la decisión sobre el futuro uso del suelo aplicando la regla mostrada en la Figura No 5.23.

Figura No 5.24. Pronóstico del cambio en el uso del suelo



En la Figura No 5.24 puede observarse que el AC para tomar la decisión sobre el uso del suelo en $t+1$ solo tiene en cuenta la condición de seis posiciones localizadas en solo tres de los cinco mapas (ver celdas en sombreadas), con lo cual se muestra la bondad y utilidad de la minería de datos para encontrar las reglas implícitas en los datos.

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1 GESTION Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL TERRITORIAL

6.1.1 La cuenca como unidad de planeación y gestión ambiental

Las cuencas constituyen un área en la cual el agua y los subsistemas biofísico, social y económico interactúan en un proceso permanente y dinámico, de manera que los cambios en el uso de los recursos naturales acarrearán una modificación del ciclo hidrológico aguas abajo en cantidad, calidad, oportunidad y lugar. Por esta razón la cuenca aparece como el espacio propicio para planear y gestionar el ordenamiento ambiental del territorio.

6.1.2 Gestión integral del recurso hídrico y ordenamiento ambiental territorial

La gestión del recurso hídrico, no se limita a definir sus usos y prioridades, por el contrario, esta definición de usos y prioridades es el resultado de un proceso de concertación sobre el modelo de cuenca que los actores involucrados desean. Razón por la cual es conveniente partir del concepto de ordenamiento territorial para entender la dimensión de la gestión del agua en Colombia.

El ordenamiento territorial se define como un conjunto de acciones político administrativas y de planificación física concertadas, que busca disponer los instrumentos para orientar el desarrollo del territorio y regular la utilización, transformación y ocupación del espacio de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico, en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales (Ministerio de Desarrollo Económico, 1997).

Una parte estructural del ordenamiento territorial, es el ordenamiento ambiental territorial, que se refiere a la prevención, identificación y corrección de conflictos y/o problemas de orden socio-económico-territorial, a fin de mejorar la calidad de vida de la población, y proteger, conservar o recuperar el medio ambiente, en razón de su valor ecológico y social.

En este mismo sentido, la ordenación de cuencas se entiende como la planificación del uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca, particularmente de los recursos hídricos.

De manera que la gestión integral del recurso hídrico, como parte fundamental de la cuenca, se entiende como la integración de los intereses de los diversos usos y usuarios del agua, con el objeto de reducir conflictos entre los que compiten por este recurso, tanto en cantidad como en calidad y tiempo de ocurrencia, integrando la gestión del agua al desarrollo económico, social y ambiental (Dourojeanni, et al, 2001).

6.1.3 Principios de la gestión y planeación de cuencas

De acuerdo con las recomendaciones de la “Conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente” realizada en Dublín en 1992, la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo” realizada en 1992, y la “Conferencia internacional sobre el agua dulce: el agua una de las claves del desarrollo sostenible” realizada en Bonn en 2001, los principios orientadores del proceso de planeación son:

- Construcción local de lo regional con visión nacional y solidaridad global.
- Proceso permanente de participación, concertación, planeación, ejecución, seguimiento y ajuste con los actores.
- Enfoque sistémico y gestión integral.
- Construcción articulada, compartida y transparente de la información y del conocimiento.

- Equidad social en el acceso a los recursos naturales y respeto al patrimonio cultural y natural.
- Convivencia y competitividad sostenible.
- Articulación de los planes de ordenamiento territorial, planes de vida, planes de desarrollo etnocultural, planes de desarrollo y expansión sectorial.

6.1.4 Desarrollo normativo sobre ordenamiento de cuencas en Colombia

Hoy en día, puede afirmarse que en Colombia existen el marco legal y los instrumentos jurídicos necesarios para abordar el tema del ordenamiento de cuencas, producto de un largo proceso por reconocer que el ordenamiento ambiental del territorio es un componente estructural del ordenamiento territorial, y que el agua constituye el primer recurso natural objeto de planificación a través de la reglamentación de corrientes y el ordenamiento de la calidad para asegurar su aprovechamiento sostenible y de manera concertada entre actores sectoriales y territoriales.

En la Tabla No 6-1 se presenta la evolución normativa y de enfoques al respecto.

Tabla No 6-1. Evolución normativa y enfoques en el manejo de cuencas en Colombia

	POLÍTICA	NORMA	DESCRIPCIÓN
Antes de 1970	<p>El Servicio Técnico Agrícola Colombo Americano (STACA), en los años 1953-1957 con base en su enfoque de "Watershed Management" introdujo al país la práctica de la reforestación con coníferas y eucaliptos.</p> <p>Predominó la protección forestal y la evaluación del potencial de producción hídrica, sin contemplar la protección y conservación del agua.</p> <p>En 1954 se introdujo el concepto de "Ordenamiento y desarrollo integral de cuencas" con propósito múltiple.</p>	Ley 2 de 1959	Creó las grandes reservas forestales del País: Sierra Nevada de Santa Marta, Amazonía, Pacífica y Cuenca del río Magdalena.
1970 - 1990	Se creó el INDERENA, encargado del ordenamiento de cuencas hidrográficas y la promoción de su desarrollo integral.	Decreto 2811 de 1974	Código Nacional de Recursos Naturales. Identificó las cuencas hidrográficas como áreas de manejo especial y asigna a la administración pública la responsabilidad de su manejo.
	Se implementaron los Planes de Desarrollo Múltiples de los Recursos Hídricos, incluyendo:	Decreto 1449 de 1977	Protección de rondas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Control de inundaciones. • Navegabilidad • Generación de energía • Riego. • Abastecimiento 	Decreto 1541 de 1978	Aprovechamiento sostenible del recurso hídrico, los usos y horizonte de calidad.
	Estos planes se basaban en el análisis detallado del medio físico, sin incorporar en profundidad a la comunidad y su problemática.	Ley 56 de 1981	Generación y destinación de recursos financieros para protección y manejo de cuencas.
	El INDERENA realiza el inventario y caracterización de cuencas del orden nacional, y diseña proyectos de manejo de microcuencas.	Decreto 2857 de 1981	Política ambiental orientada al acompañamiento de procesos productivos. Estableció las bases para los planes de ordenación de cuencas hidrográficas, definió su finalidad como: "Planeación del uso y manejo de sus recursos y la orientación y regulación de las actividades de los usuarios".
		Decreto 103 de 1982	Creó la Comisión Permanente para la Cuenca del río Magdalena, la cual diseñaría a futuro el Plan maestro de manejo.
		Decreto 1594 de 1984	Orientó los procesos de planificación y ordenamiento para el aprovechamiento sostenible del recurso hídrico, sus usos y horizonte de calidad.

	POLÍTICA	NORMA	DESCRIPCIÓN
1990 – 2002	La promulgación de la Constitución Política de 1991 aumentó el nivel de descentralización administrativa permitiendo a las autoridades regionales realizar la gestión integral de sus recursos naturales.	Constitución Política Nacional de 1991	Creó el Ministerio del Medio Ambiente, organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y generó una mayor descentralización administrativa.
	Se priorizó el suministro de agua para consumo humano.		Art. 58. Le adjudicó al territorio una función ecológica.
	En este periodo se organizó y consolidó el SINA.		Art. 331. Creó la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena.
	Política ambiental orientada al acompañamiento de procesos productivos.		Art. 334. Condicionó las actividades productivas al mantenimiento de los procesos naturales base de la sustentabilidad del desarrollo.
			Recoge las definiciones del Decreto 2857/81 y de la Constitución Política de 1991, orientando la política ambiental hacia una gestión que acompañe los procesos productivos.
		Art 7. Es función del Estado regular y orientar el proceso de diseño y planificación del usos del territorio y de los recursos naturales renovables de la Nación a fin de garantizar su adecuada explotación y su desarrollo sostenible.	
		Creó varias Corporaciones Autónomas Regionales, y definió su jurisdicción.	
		Ley 101 de 1993	Fijó incentivos a la protección de los recursos naturales.
		Ley 142 de 1994	Estableció la obligación de las Empresas de Servicios Públicos, de proteger las fuentes de abastecimiento de agua de acueductos, así como el control de vertimientos.
1990 - 2002		Ley 388 de 1997	Ley de Desarrollo Territorial. Define el ordenamiento territorial como un proceso concertado para regular la utilización, transformación y ocupación del espacio de acuerdo con las estrategias de desarrollo socioeconómico, en armonía con el medio ambiente.
		Decreto 48 de 2001	Estableció la creación de los Planes de Gestión Ambiental Regional (PGAR) y los Planes de Acción Trianual (PAT).
		Decreto 1729 de 2002	Articuló el ordenamiento de cuencas hidrográficas con la Ley 388/97, relacionándolo a los Planes de Ordenamiento Municipal. Da competencia a las CAR en el ordenamiento y definición de las prioridades del ordenamiento. Prevé la elaboración de una guía técnico científica para el ordenamiento de cuencas.
2002 en adelante	Se define la cuenca como unidad de gestión ambiental.	Ley 812 de 2003	Plan Nacional de Desarrollo 2002 – 2006. Define la cuenca como la unidad de gestión ambiental.
	Se promueve una gestión integral del territorio, con participación de los distintos actores involucrados en la cuenca.		Tiene como actividad prioritaria el avance en la gestión para la protección y conservación del recurso hídrico.
	El ordenamiento ambiental se constituye como un elemento estructural del ordenamiento territorial.	Decreto 1604 de 2003	Define la necesidad de priorizar las cuencas hidrográficas críticas por su avanzado estado de degradación, con base en la calificación del grado de alteración antrópica de los recursos naturales.

Fuente: IDEAM, 2004. Londoño, 2001. INGETEC S.A., 2002.

6.2 COMPLEJIDAD Y ENFOQUE SISTÉMICO

La cuenca es un sistema complejo compuesto por las interacciones de los subsistemas biofísico, social y económico, cuyo fin principal es la regulación hídrica y ambiental.

Las múltiples relaciones e interdependencias que se dan entre los diferentes elementos que constituyen la cuenca impiden entrar a estudiar un elemento en particular y modificarlo sin que se produzcan efectos sobre los demás elementos, ya que el funcionamiento y desarrollo de la cuenca depende de las interrelaciones entre sus componentes (Londoño, 2001) y no es posible interpretar el comportamiento de un sistema solo a base de estudios sobre el comportamiento de sus partes.

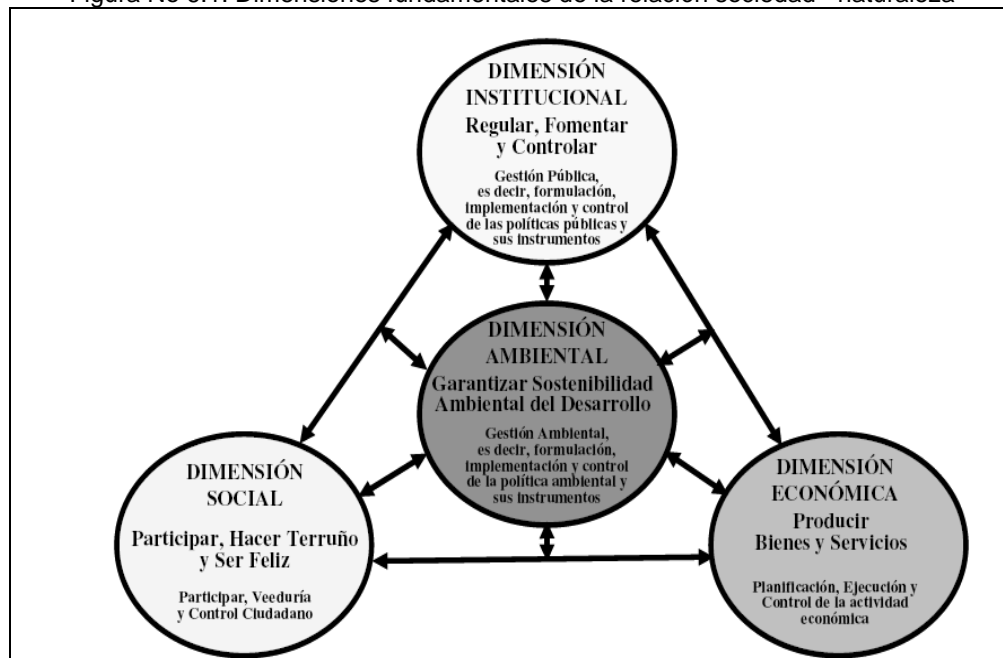
La teoría general de sistemas es un enfoque que proporciona los elementos conceptuales, metodológicos, técnicos y científicos, para el estudio de problemas complejos caracterizados fundamentalmente por las interrelaciones internas y externas entre componentes coactuantes en las dimensiones espacio-temporales.

Un enfoque sistémico de la cuenca, facilita un mejor conocimiento de su estructura y función, permite definir elementos y relaciones, reconocer sus interrelaciones dentro de fronteras establecidas y adicionalmente las relaciones con el entorno dentro de distintos contextos y escalas (IDEAM, 2004).

En la práctica, esta visión sistémica debe traducirse en una visión integral de las estrategias y las soluciones, que en caso de las cuencas y sistemas hídricos está representado por la gestión integral del agua, lo cual implica la evaluación e interrelación de variables ambientales, socio-económicas, morfológicas, hidráulicas e hidrológicas, sustentadas en la búsqueda del equilibrio espacio-temporal entre las actividades humanas y la conservación de los ecosistemas estratégicos, haciendo sostenible el mejoramiento de la condición humana, lo que no necesariamente significa crecimiento indefinido de energía y materiales.

Para simplificar el análisis de la interacción sociedad-naturaleza en una cuenca resulta conveniente identificar y diferenciar cuatro dimensiones fundamentales: a) Dimensión institucional, b) Dimensión económica, c) Dimensión social y d) Dimensión ambiental. En la Figura No 6.1 se muestra la articulación conceptual entre estas variables.

Figura No 6.1. Dimensiones fundamentales de la relación sociedad - naturaleza



Fuente: Alzate, 2006, cita a Leonel Vega, 2005

Estas dimensiones, se relacionan de manera particular y compleja en cada ecosistema, siendo indispensable para el diseño de un modelo de gestión del agua, la identificación de las reglas existentes entre cada una de estas dimensiones, que por lo general expresan una tensión permanente.

6.3 **SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

Cada día las palabras sostenibilidad y desarrollo sostenible aparecen con más frecuencia en el medio académico y empresarial, también es común que se trate de generalizar la visión del desarrollo sostenible como *“aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*¹⁰, sin embargo hay diversidad de puntos de vista al respecto.

De acuerdo con Escobar (1998) el concepto de desarrollo sostenible o sustentable es parte de un proceso denominado problematización de la relación entre naturaleza y sociedad que es motivado por el carácter destructivo del desarrollo y la degradación ambiental a escala mundial, y en consecuencia plantea que las distintas posiciones no pueden considerarse como neutras. En este mismo sentido Gallopín (2003) clasifica los enfoques de desarrollo sostenible según la función objetivo a maximizar ya sea el bienestar, el consumo o el capital. En la Tabla No 6-2 se plasman algunos enfoques sobre el desarrollo sostenible.

Tabla No 6-2. Puntos de vista sobre el desarrollo sostenible

Teoría	Caracterización del desarrollo sostenible
Neoclásica - equilibrio	Bienestar no decreciente (antropocéntrico). Crecimiento sostenible basado en tecnología y sustitución. Los objetivos individuales prevalecen sobre las metas sociales
Ecológico - evolutiva	Flujo equilibrado de nutrientes en los ecosistemas conservando márgenes de fluctuación (incertidumbre de los procesos naturales)
Físico - economía	Restringe los flujos de materiales y energía hacia y desde la economía
Sistémico - ecológica	Control de los efectos humanos directos e indirectos sobre los ecosistemas; equilibrio entre insumos y productos minimizando los factores de perturbación de los ecosistemas
Ecología humana	Capacidad de carga. Consumo orientado a la satisfacción de las necesidades básicas ocupando un lugar modesto en la red alimentaria del ecosistema y de la biosfera
Socio - biológica	Conservación del sistema cultural y social de interacciones con los ecosistemas
Ético - utópica	Nuevos sistemas individuales de valores en contraposición al comportamiento individualista. Respeto por la naturaleza y las generaciones futuras, satisfacción de las necesidades básicas.

Fuente: Gallopín, 2003 cita a Bergh, 1996

Dada la diversidad de enfoques, surge la pregunta ¿en verdad es posible que coexistan la conservación y el desarrollo?, a lo cual podría responderse que no puede haber conservación ecológica si las comunidades no poseen alternativas económicas y oportunidades de producción que les garantice una buena calidad de vida, adicionalmente un desarrollo que destruya la naturaleza y sus recursos, la calidad del ambiente y la calidad de vida humana, no es verdadero desarrollo (Wilches, 1997).

Desde un enfoque sistémico, dadas las interrelaciones complejas y dinámicas entre componentes, ningún sistema vivo como una cuenca hidrográfica puede fraccionarse arbitrariamente sin perder su integridad. También, desde este enfoque se plantea que no puede existir un estado de equilibrio estático, sino que la sostenibilidad es dinámica (Gallopín, 2003).

De acuerdo con el enfoque sistémico, en esta tesis, la sostenibilidad no se considera como un estado fijo al cual se debe llegar, sino como la preservación dinámica de la identidad esencial

¹⁰ Definición propuesta por la Comisión de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en el informe “Nuestro Futuro Común” (1997).

del sistema en medio de cambios permanentes (Gallopín, 2003), por lo tanto es necesario identificar cuáles son los atributos esenciales que identifican el sistema (en este caso La Mojana) sin los cuales se perdería su integridad, evaluar la tendencia de evolución de estas variables hacia la sostenibilidad o la insostenibilidad, y a partir de allí, formular un proceso de cambio direccional a través del tiempo que podemos denominar desarrollo sostenible.

La puesta en práctica de un modelo de gestión, requiere evaluar el progreso hacia el desarrollo sostenible según aspectos como la calidad de vida, el crecimiento económico, la preservación del ecosistema y la preservación de los atributos esenciales del sistema.

El enfoque sistémico da la posibilidad de representar tres características de fenómenos complejos:

- Retroacción: acción o respuesta sobre el sistema que origina una condición inicial.
- Vinculante: la suerte o estado de algo, depende del comportamiento ó estado de otro.
- Sinérgico: la acción de dos ó más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales, lo cual implica una aproximación holística.

6.4 HERRAMIENTAS DE PROSPECCIÓN

6.4.1 La construcción del futuro

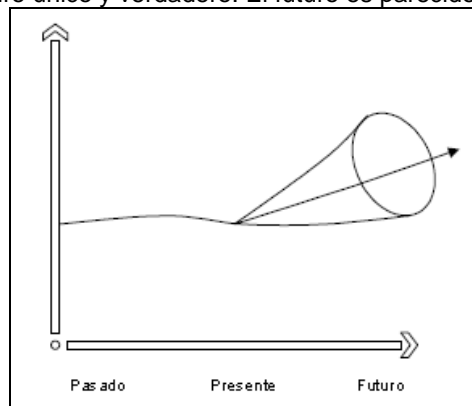
El uso de modelos predictivos para la generación de escenarios futuros de cambios de uso del suelo, ya sea en el contexto de la planificación territorial o en la evaluación de impacto ambiental, representa una importante oportunidad para anticipar, prevenir y mitigar dinámicas insostenibles (Henríquez, 2007).

La prospección o análisis prospectivo, es un método de planificación que permite la identificación de un futuro probable y de un futuro deseable, a partir de la acción presente, permitiendo ampliar la base de información disponible para la toma de decisiones. (Gomes, et al, 2001)

El análisis prospectivo considera tres tipos de futuro: el futuro tendencial, el futuro exploratorio y el futuro normativo.

El futuro tendencial está determinado por una única tendencia mostrada en el pasado considerando cierta posible desviación (ver Figura No 6.2), para este análisis se utilizan técnicas de previsión o métodos extrapolativos, tales como proyección simple, curvas S, y analogía histórica.

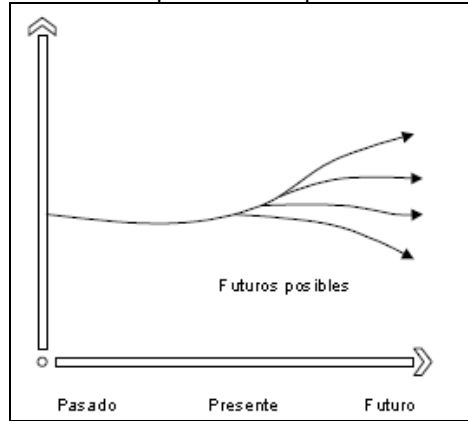
Figura No 6.2. Futuro único y verdadero: El futuro es parecido al pasado.



Fuente: Gomes, et al, 2001

El futuro exploratorio considera varias posibilidades de futuro construidas por expertos (ver Figura No 6.3), lo cual permite evaluar cambios direccionales y la complejidad de los fenómenos, algunas de las técnicas utilizadas son: Delphi, análisis morfológico y construcción de modelos.

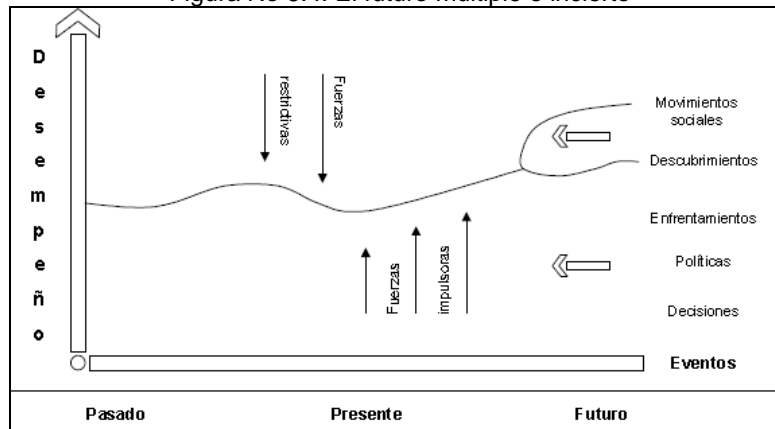
Figura No 6.3. Futuro múltiple: El futuro puede ser diferente



Fuente: Gomes, A., et al, 2001

El futuro normativo es múltiple e incierto para lo cual se utilizan técnicas exploratorias con uso normativo (ver Figura No 6.4).

Figura No 6.4. El futuro múltiple e incierto



Fuente: Gomes, A., et al, 2001

Desde la perspectiva del futuro normativo aparecen tres conceptos fundamentales:

- Factor crítico: es cualquier variable o estructura (conjunto de variables) de alto impacto que afecta, positiva o negativamente, el desempeño de un sistema.
- Fuerza impulsora: es cualquier fenómeno, variable o estructura que afecta de forma positiva el desempeño de un factor crítico.
- Fuerza restrictiva: es cualquier fenómeno, variable o estructura que afecta de forma negativa el desempeño de un factor crítico.

En este enfoque se plantea esencialmente que el futuro puede ser construido por la sociedad utilizando la información disponible para la toma de decisiones, comprendiendo el futuro como el resultado de la interacción entre tendencias históricas y los eventos hipotéticos.

Es importante resaltar que, más que tratar de prever el futuro, la prospección busca orientar la toma de decisiones en la actualidad, partiendo de las tendencias de comportamiento de las variables, de manera que los escenarios solo son construcciones hipotéticas de eventos futuros que permiten construir una imagen de futuros alternativos, reducir la complejidad y la incertidumbre.

Continuamente somos testigos de conflictos y contradicciones como resultado del enfrentamiento dialéctico entre diferentes visiones de mundo. La ciencia moderna originada en los siglos XVI y XVII propone una visión mecánica de mundo haciendo una metáfora con una

máquina racional, sin embargo, con la emergencia de la revolución en torno a la tecnología de la información esta máquina gana una dimensión cibernética (Gomes, et al, 2001).

- Visión mecánica: El futuro está asociado a la idea de progreso técnico de forma que puede ser previsto, planificado y controlado.
- Visión holística: El futuro no puede ser previsto, puede ser comprendido e influenciado.

Desde la visión holística el mundo es un sistema complejo, multidimensional e interdependiente, cuya dinámica incluye múltiples funciones, conflictos y contradicciones. La visión holística nos lleva a la necesidad de un futuro múltiple, incierto, dinámico y construido socialmente, en el cual lo importante es conocer las influencias que forjan sus tendencias para negociar intereses, superar conflictos y contradicciones (ver Figura No 6.5).

Figura No 6.5. El futuro no determinado



Fuente: Gomes, et al, 2001

6.4.2 Metodologías para el análisis prospectivo

A continuación se presenta una breve descripción de los principales métodos disponibles para realizar el análisis prospectivo (Gomes, et al, 2001).

6.4.2.1 Ábaco de Regnier

Es una técnica en la que expertos exponen su opinión frente a un tema determinado para que posteriormente sean sometidos a votación, se aplica principalmente para estimar el comportamiento de un grupo de factores y determinar la intensidad de un problema.

El Ábaco de Regnier es probablemente la más versátil y sencilla de las técnicas prospectivas, pudiéndose utilizar también para calificar y clasificar problemas y servir de base para procesos de planificación.

6.4.2.2 El método del Análisis Estructural

Este método es aplicado con la participación de un pequeño grupo de expertos cuya misión es identificar y clasificar las variables claves de un sistema cuyos componentes están íntimamente relacionados, permitiendo identificar las variables que conforman la problemática, así como todas las relaciones que pueden tener entre sí.

Las etapas que se deben cubrir para la realización del ejercicio son: a) identificación de las variables que componen el problema, b) detección de la influencia que ejercen entre sí, y c) determinación de las variables más sobresalientes. El éxito en su aplicación reside en la disponibilidad de información para la construcción de escenarios.

6.4.2.3 El método del Juego de Actores

Este método es desarrollado por un grupo de expertos que buscan identificar las alianzas y conflictos que surgen en relación con un tema específico, así como los proyectos, anhelos y temores que pueden indicar la evolución o potencialidad de los problemas en un sistema. Como punto de partida se tienen los problemas identificados en el análisis estructural, los cuales se complementan con información sobre el estado actual del problema, la proyección de algún dato útil y las tendencias internacionales respecto del problema en estudio.

6.4.2.4 Matriz del impacto cruzado

La filosofía básica de la Matriz del Impacto Cruzado es que ningún evento se realiza aislado, sino más bien influenciado, con mayor o menor probabilidad, por la ocurrencia de otros eventos. El impacto cruzado intenta captar estas interrelaciones a partir de juicios estimativos de expertos. En esta metodología los expertos comunican su opinión mediante probabilidades matemáticas, asignando valores a la ocurrencia de determinado tipo de eventos.

6.4.2.5 Método Delphi

Es un método orientado a agrupar y refinar los juicios emitidos por grupos de expertos con respecto a varias opciones que se desean evaluar, para lo cual se utilizan medidas estadísticas. Este método es altamente útil cuando no se dispone de datos cuantitativos, o cuando se requiere contar con un enfoque interdisciplinario. Para su aplicación se requiere la participación de un gran número de personas, lo cual a su vez implica que las posiciones minoritarias son suprimidas.

6.4.2.6 La construcción de escenarios

Un escenario es la descripción particular de un futuro posible y del proceso de acercamiento a este futuro. El objetivo de esta técnica es establecer futuros alternativos soportados con datos históricos de referencia. Esta técnica permite identificar los límites del grado de incertidumbre de los elementos claves para la toma de decisiones, así como generar tendencias que son acotadas por rangos.

6.4.2.7 Modelos de simulación

Un modelo es una abstracción de la realidad compuesta por componentes interactivos, que trata de interpretar y proyectar una condición existente, así como reflejar relaciones entre las variables interdependientes. Los modelos de simulación son particularmente útiles como instrumentos para analizar las probables consecuencias bajo diversos escenarios.

Los modelos matemáticos son herramientas que formalizan de manera más precisa los modelos mentales, aunque no necesariamente son superiores a los modelos mentales; entre las ventajas de los modelos matemáticos se pueden mencionar: a) son explícitos y se pueden examinar minuciosamente, y b) su ejecución en computadora posibilita una visión ampliada de la complejidad de los sistemas.

La simulación matemática presenta la desventaja de ser costosa por el tiempo de desarrollo y validación del modelo. Además los modelos suelen ser rígidos y no adaptables a los cambios, de forma que es necesario resaltar que la visión de futuro debe ser constantemente actualizada, pues el contexto cambiante no permite mantener visiones fijas. Esto no significa cambiar de visión frecuentemente, significa tener los medios para saber cuando la visión de futuro necesita ser ajustada, o incluso, cuando debe ser reemplazada.

6.4.2.8 Comparación de métodos de prospección

Como se ha visto, los distintos métodos de prospección son complementarios, algunos tienen aplicación en la identificación de variables e interrelaciones, otros en su organización jerárquica

y otros en la construcción de escenarios. La mayoría de los métodos descritos dependen de la opinión de expertos en la formulación de escenarios y en su proyección.

De manera, que aunque en la formulación de escenarios, la identificación de variables y de interrelaciones se puedan utilizar métodos como la matriz de impacto cruzado, el método de análisis estructural y el juego de actores, para la evolución y prospección de variables en tiempo y espacio, resulta de mucha utilidad la utilización de modelos de simulación como los Autómatas Celulares A.C. que permiten construir futuros alternativos inciertos y dinámicos, desde una visión holística, utilizando técnicas exploratorias con uso normativo.

6.5 GEOSIMULACIÓN Y AUTÓMATAS CELULARES (AC)

Para modelar la dinámica de los sistemas geográficos se podría aplicar el enfoque de caja negra y obtener un modelo conveniente para el análisis matemático, el problema es que los sistemas geográficos están determinados por el comportamiento humano, las decisiones de los seres humanos, la unidad del sistema y su dinámica (Benenson, et al, 2004). Además, con un modelo de caja negra se pierde la individualidad y autonomía de los objetos geográficos.

Entender la dinámica del sistema como un fenómeno colectivo, ha implicado un cambio de paradigma, pasando de un enfoque reduccionista a uno generativo. En estos sistemas emergentes, un pequeño número de reglas o leyes, aplicadas a nivel local y entre muchas entidades, son capaces de generar complejos comportamientos colectivos, de tal manera que las acciones de las partes no se limitan a la actividad del conjunto.

En los sistemas espaciales dinámicos, todos los objetos cambian sus propiedades y/o situación; y la meta de un modelo geográfico es imitar estas actividades y sus consecuencias.

6.5.1 Definición de geosimulación

La geosimulación se distingue por la combinación de múltiples características en un marco unificado, dando como resultado sistemas que suelen ser complejos, adaptables y dinámicos, centrados en la representación de las unidades elementales que componen el sistema y en las interacciones que tienen lugar (Benenson, et al, 2004).

Las principales características son:

- Gestión de entidades espaciales
- Gestión de relaciones espaciales: interacciones entre componentes elementales que afectan niveles superiores (de abajo hacia arriba).
- Gestión del tiempo: el manejo multiescalar y discreto del tiempo permite introducir fenómenos asincrónicos.
- Paso directo de la abstracción al mundo real y viceversa, esto permite probar hipótesis, hacer descripciones realistas y apoyarse en acontecimientos claves de la geografía.
- Combinación de métodos cualitativos y cuantitativos utilizando entornos SIG.
- Utiliza características o estados nominales, ordinales, y continuos.
- Puede emplear normas de transición deterministas, estocásticas y difusas.

6.5.2 Autómatas Celulares

6.5.2.1 Concepto y características de los Autómatas Celulares (AC)

Los autómatas celulares¹¹ son sistemas dinámicos y discretos, cuyos elementos tienen una interacción constante entre sí tanto en el espacio como en el tiempo. El autómata procesa la información aportada desde su entorno (variables internas y externas) para modificar sus características de acuerdo a las normas que rigen su reacción a los insumos (Benenson, et al, 2004), estas características le dan la capacidad de representar comportamientos complejos a partir de reglas sencillas.

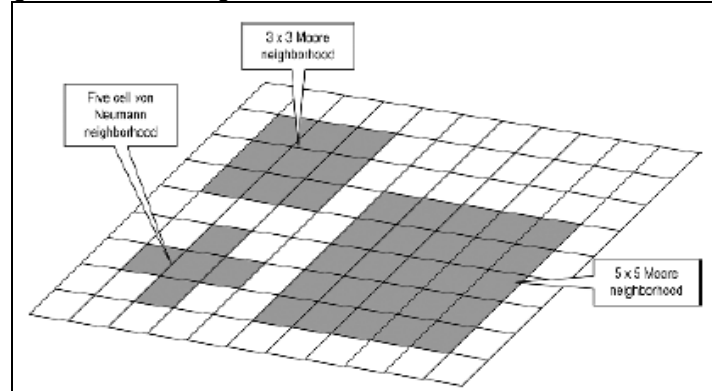
¹¹ En adelante Autómatas celulares se denomina A.C.

Un A.C. consiste de:

- Una grilla o cuadrícula de enteros. Cada celda de la cuadrícula se conoce como célula y su tamaño individual define el tamaño del autómata y el número de células.
- Cada célula puede tomar un valor a partir de un conjunto finito de estados k .
- Cada célula además se caracteriza por su vecindad (R), un conjunto finito de células en las cercanías de la misma.
- En cada paso discreto, a todas las células de la cuadrícula se les aplica una función de transición (T) que toma como argumentos los valores de la célula en cuestión y los valores de sus vecinos, y regresa el nuevo valor que la célula tendrá en la siguiente etapa de tiempo.

$$AC = f \{ k, T, R \}$$

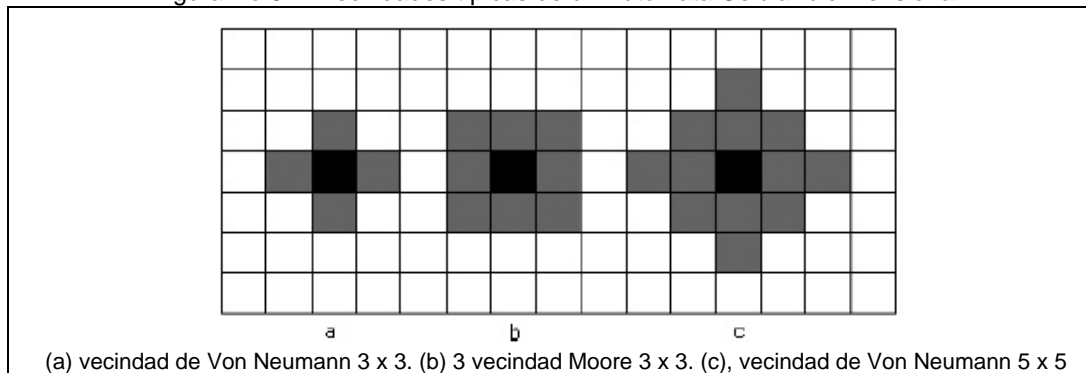
Figura No 6.6. Configuración de un Autómata Celular bidimensional



Fuente: Benenson, et al, 2004

Los AC bidimensionales se consideran normalmente en una cuadrícula, y la vecindad consiste normalmente de cuatro u ocho células adyacentes (ver Figura No 6.6 y Figura No 6.7).

Figura No 6.7. Vecindades típicas de un Autómata Celular bidimensional



(a) vecindad de Von Neumann 3 x 3. (b) 3 vecindad Moore 3 x 3. (c), vecindad de Von Neumann 5 x 5

Fuente: Benenson, et al, 2004

Los A.C. pueden variar las características antes mencionadas, obteniendo autómatas celulares no estándar. Por ejemplo, un A.C. estándar tiene una cuadrícula donde se asume que las células son cuadros, sin embargo, se puede variar el A.C. para presentar una geometría triangular o hexagonal.

También puede variarse el conjunto de estados k que cada célula puede tomar, la función de transición T de forma que ya no sea homogénea, utilizar elementos estocásticos (aleatoriedad) en T (lo que se conoce como A.C. *probabilístico*), o variar las vecindades de cada célula.

Esta flexibilidad permite que cualquier sistema real al que se le puedan analogar los conceptos de "vecindad", "estados de los componentes" y "función de transición" es candidato para ser modelado por un A.C.

Las debilidades de los A.C. son las siguientes: a) dependencia de particiones regulares del espacio. b) incapacidad de las células autómatas para moverse y c) las células deben ser suficientemente pequeñas como para garantizar la homogeneidad interior. Las fortalezas de los A.C. son las siguientes: a) la principal ventaja reside en su capacidad de transmitir información por sí mismos, b) permiten representar a los tomadores de decisiones, c) permite modelar fenómenos que ocurren a distintas escalas temporales y d) uno de sus mayores atractivos es la interacción con unidades vecinas.

A la hora de decidir utilizar un sistema geográfico como los AC para simular un fenómeno, es indispensable definir los siguientes elementos:

- Una tipología de las entidades.
- El espacio en el que se encuentren.
- Las relaciones espaciales entre las entidades.
- Los procesos que rigen los cambios de las características de las entidades.
- Los procesos que rigen los cambios de su ubicación en el espacio.

En un modelo AC es indispensable especificar las siguientes condiciones iniciales:

- Estado inicial de las células.
- Las condiciones de frontera.
- Las reglas de transición.
- La vecindad

6.5.2.2 Antecedentes

En 1947, tomando como base las ideas sobre autómatas desarrolladas por Post y Turing en 1936, John von Neumann comenzó estudios sobre complejidad y sistemas auto-reproductivos. Inicialmente Von Neumann investigó un modelo continuo basado en ecuaciones diferenciales parciales, posteriormente orientó sus esfuerzos hacia un modelo de auto-reproducción utilizando un arreglo de elementos computacionales (células).

La construcción original de von Neumann de un autómata celular auto-reproductivo, consistía en un espacio celular bi-dimensional representado por una cuadrícula de dimensiones ($\mathbf{Z} \times \mathbf{Z}$), constituidas por células que en el tiempo t toman un valor del conjunto de estados (\mathbf{k}). El valor del estado en que se encuentra cada célula localizada en una posición (i, j) (donde i es la columna y j el renglón) en un tiempo t estará determinado por una función de transición y por los valores de los estados en que se encuentran las células localizadas en las posiciones $(i-1, j)$, $(i+1, j)$, $(i, j+1)$ e $(i, j-1)$, y el valor del estado en que se encuentra la célula central localizada en la posición (i, j) en el tiempo $t-1$. Cada célula en algún momento era una célula central, la cual junto con las células ubicadas arriba, abajo, a la izquierda y a la derecha (ortogonalmente) forman lo que se conoce como vecindad von Neumann (ver Figura No 6.7). (Wikimedia, 2007).

John Horton Conway, descubrió una regla para un autómata celular de dos estados y un tipo de vecindad parecida a la de von Neumann, con la variante de que se toma en cuenta a los vecinos ubicados en las esquinas. A este tipo de vecindad se le conoce como vecindad Moore (ver Figura No 6.7). Conway presentó en 1970 su regla a la cual bautizó con el nombre "Life".

Life representa una especie de "juego ecológico" ya que las células del autómata pueden estar "vivas" o "muertas". *Life* trabaja sobre una cuadrícula bi-dimensional infinita y los estados de las células están determinados por las siguientes condicionantes:

- Nacimiento. Una célula que está muerta en un tiempo t estará viva en un tiempo $(t+1)$ si y sólo si exactamente tres de sus ocho vecinos están vivos en el tiempo t .
- Muerte por sobre-población. Una célula que está viva en un tiempo t morirá en un tiempo $t+1$ si cuatro o más de sus ocho vecinos están vivos en el tiempo t .

- Muerte por poca población (aislamiento). Una célula que está viva en un tiempo t morirá en un tiempo $t+1$ si a lo más uno de sus ocho vecinos están vivos en el tiempo t .
- Sobrevivencia. Una célula que está viva en un tiempo t permanecerá viva en un tiempo $t+1$ si dos o tres de sus ocho vecinos están vivos en el tiempo t .

Con el modelo del juego de la vida, se mostraron con extrema claridad muchos de los principios básicos de los sistemas complejos, inspirando curiosidad acerca de la dinámica compleja de los patrones espaciales.

Posteriormente Steven Wolfram (1983, 1984) se centró en el análisis de la evolución espacio-temporal de los Automatas Celulares y propuso una clasificación empírica de las normas.

6.5.2.3 Clasificación de Wolfram

Wolfram clasificó el comportamiento cualitativo de los A.C. unidimensionales en las siguientes clases (Wikimedia, 2007):

- Clase I. La evolución lleva a una configuración estable y homogénea. Después de un cierto número de generaciones, todas las células llegan al mismo valor o estado.
- Clase II. La evolución lleva a un conjunto de estructuras simples que son estables o periódicas, así que algunos patrones se repiten sistemáticamente a través del tiempo.
- Clase III. La evolución lleva a un patrón caótico. Pueden existir patrones repetitivos, pero mezclados con un comportamiento sumamente caótico, lo que dificulta su análisis.
- Clase IV. La evolución lleva a estructuras aisladas que muestran un comportamiento complejo.

6.5.2.4 Las condiciones de frontera de los AC

Por definición, un A.C. consiste de una cuadrícula infinita de enteros. Sin embargo, para cuestiones prácticas (modelos de sistemas físicos, llevados a cabo en ordenadores de memoria finita), se requiere tomar ciertas consideraciones a la hora de implementar un A.C. en un sistema de cómputo. Es por ello que la definición original se modifica para dar cabida a cuadrículas finitas, esto conlleva a la consideración extra de qué hacer con aquellas células que se encuentren en los bordes o fronteras, apareciendo las denominadas condiciones de frontera.

- Frontera abierta. Se considera que fuera de la grilla hay células con un valor fijo.
- Frontera periódica. Se considera a la grilla como si sus extremos se tocaran.
- Frontera reflectora. Las células fuera de la grilla reflejan los valores de las células ubicadas dentro de la grilla.
- Sin frontera. La grilla comienza con un tamaño definido y finito, y cada vez que las células deben interactuar con células fuera de la cuadrícula, esta se hace más grande, sin que esto signifique que la grilla sea infinita, ni que el modelo resultante sea más cercano a la realidad.

6.5.2.5 Reglas de transición de los AC

La función de transición o regla de evolución del autómata, define el estado al cual va a evolucionar cada célula del arreglo en el tiempo $t+1$ a partir de los estados de los vecinos y del suyo propio en el tiempo t . El número de vecindades posibles está dado por k^{2r+1} .

Donde:

- k representa el número de estados por cada célula
- r el radio de vecindad.

En la Tabla No 6-3 se muestra la regla de transición para un autómata celular lineal (2,1). En la primera columna se observan todas las vecindades posibles para un autómata celular lineal (2,1). En la segunda columna se presentan los estados a los que evolucionan las células expresados en notación binaria, esta columna define la regla de evolución $f:A \rightarrow B$.

$$k^{2r+1} = 2^{2*1+1} = 2^3 = 8$$

Tabla No 6-3. Regla de transición para un autómata celular (2,1) expresada en notación binaria

Vecindad	Estado al que evoluciona la célula central
000	0
001	1
010	1
011	0
100	1
101	1
110	0
111	0

Rene, 2008

6.5.2.6 Calibración y validación

Para verificar la efectividad de un modelo geográfico A.C. se requiere comparar el resultado del modelo con las propiedades del sistema real simulado, para lo cual pueden utilizarse las siguientes metodologías:

- Comparación visual
- Medida de similitud mediante comparación píxel a píxel de cada una de las categorías separadamente.

De igual forma los parámetros de las reglas de transición pueden estimarse a partir de la comparación de resultados y datos del mundo real.

Normalmente la experiencia y conocimiento del especialista acerca del sistema y de sus condiciones es suficiente para conseguir buenos resultados. Sin embargo, una práctica común y a veces peligrosa consiste en la calibración intuitiva de los parámetros del modelo, lo cual no garantiza que puedan encontrarse buenos juegos de parámetros. De una manera más rigurosa, se puede correr el modelo con todos los posibles juegos de valores de parámetros en consideración, optimizando al máximo algún criterio de correspondencia, aunque con esta metodología el número de parámetros debe ser bajo.

Parte del proceso de comprobación del modelo consiste en un análisis de sensibilidad, para lo cual pueden perturbarse estocásticamente los componentes del modelo. Algunos elementos que podrían ser objeto de análisis son (Benenson, et al, 2004):

- La red geométrica. Se puede afirmar que la modificación de la célula hacia una forma triangular o hexagonal (no cuadrada), o la utilización de vecindades diferentes a von Neumann o Moore no introduce efectos significativos para el A.C.
- Evolución sincrónica o asincrónica. Dado que las células no evolucionan simultáneamente, el orden de actualización de los estados de las células es de vital importancia, una actualización asincrónica supone que las células son evaluadas uno tras otro y que los resultados están disponibles de forma inmediata para las otras células. El resultado general es que el comportamiento asincrónico de A.C. es siempre más sencillo que el de A.C. sincrónicos.

A pesar de lo expuesto, los métodos de calibración de los modelo A.C aún no están suficientemente desarrollados, y el modelo de ajuste sigue siendo el "arte" en estos contextos (Benenson, et al, 2004).

6.5.2.7 Evolución de AC en la geografía

Si bien la invención y desarrollo de los autómatas celulares se remonta a los trabajos de Alan Turing (1936) y John von Neumann (1951) sobre auto-reproducción de estructuras artificiales, solo hasta los años 1980s la geografía empezó a introducir estas ideas en el planeamiento urbano, resaltando el papel de Waldo Tobler quien aplicó implícitamente AC para modelar el desarrollo de Detroit (Tobler, 1970). Pero a pesar de estos avances la idea imperante del planeamiento comprensivo no era compatible con éstos nuevos principios, por lo cual, debió esperarse hasta 1985 o 1988 para aterrizar su desarrollo y su uso a la geografía, siendo tal el éxito que hoy está entre las herramientas principales para modelar el cambio en el uso del suelo, pasando de la ciudad relativamente pequeña a las grandes regiones y estados.

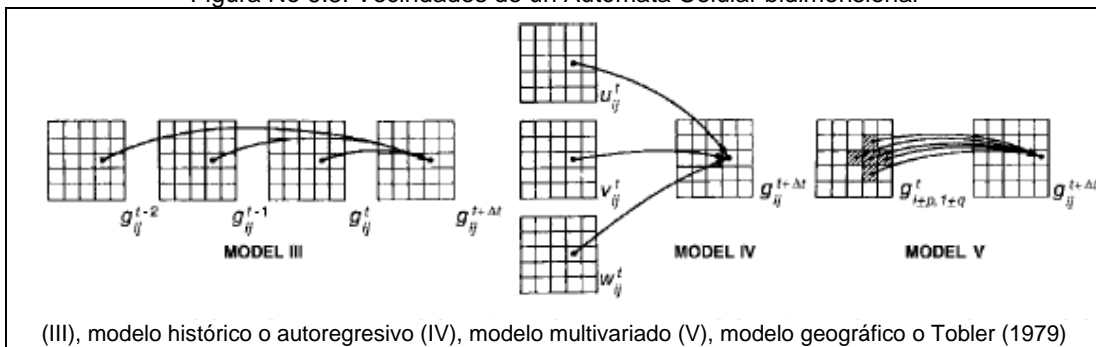
El espacio Ráster. La idea de las celdas como base para la descripción de la dinámica urbana tuvo amplia aceptación dadas las facilidades computacionales y la posibilidad de representar datos por medio de múltiples capas ráster.

Uno de los mejores ejemplos de modelado Ráster fue construido por Stuart Chapin y sus colaboradores entre 1964 y 1968 (Benenson, et al, 2004). Para simular el desarrollo urbano de Greensboro en Carolina del Norte, una ciudad con 200.000 habitantes; así pues, se dividió la ciudad en celdas de 300 x 300 m, se usaron 7 factores para determinar la utilidad de una celda para uso residencial (3 endógenos y 4 exógenos), se utilizó como condición inicial un mapa de 1948 y se realizaron cuatro repeticiones de tres años cada una, buscando alcanzar el patrón espacial del uso de la tierra en 1960. Uno de los alcances más significativos fue la separación de los factores de cambio de uso del suelo endógenos (determinados por unidad de tierra) y exógenos (controlados por las autoridades públicas).

Es necesario tener en cuenta que aunque los modelos Raster poseen todas las características de un autómata celular, no tienen en cuenta las relaciones de vecindad.

La conexión entre modelos Ráster y autómatas celulares. En 1979 Tobler presenta una propuesta de representación del espacio geográfico influenciado por distintos factores, formulando tres posibilidades para analizar la dinámica espacial (Benenson, et al, 2004). Para mayor ilustración ver la Figura No 6.8.

Figura No 6.8. Vecindades de un Autómata Celular bidimensional



Fuente: Benenson, et al, 2004

Un modelo histórico o autoregresivo

$$g_{ij}(t + \Delta t) = F(g_{ij}(t), g_{ij}(t - \Delta t), g_{ij}(t - 2\Delta t), \dots, g_{ij}(t - k\Delta t))$$

Un modelo multivariado

$$g_{ij}(t + \Delta t) = F(u_{ij}(t), v_{ij}(t), w_{ij}(t), \dots, z_{ij}(t))$$

Un modelo geográfico o Tobler

$$g_{ij}(t + \Delta t) = F(g_{ij}(t), g_{i-1,j}(t), g_{i+1,j}(t), g_{i,j-1}(t), g_{i,j+1}(t))$$

Donde: i, j indican la ubicación de la celda de una grilla rectangular.
 t representa el tiempo.
 Δt es un intervalo de tiempo.
 $g(t)$ es el uso de la tierra u otra características de una celda.
 $u(t), v(t)$ son factores que influyen en el desarrollo urbano

El modelo histórico o autoregresivo es un caso especial de los procesos de Markov, el modelo multivariado es similar a los modelos Ráster, y el modelo geográfico evidentemente constituye un modelo de autómatas celulares basado en una vecindad de von Neumann.

6.5.3 Aplicaciones de Autómatas Celular en geosimulación y prospección

6.5.3.1 Crecimiento urbano de Dongguan (2000)

Yeh y Li realizaron una fusión de los modelos multivariado y geográfico de Tobler (Figura No 6.8) para simular el rápido crecimiento de Dongguan, una zona situada entre Hong Kong y Guangzhou (Benenson, et al, 2004 citan a Yeh y Li, 2000).

El modelo utilizó combinación de factores globales y locales que varían de 0 a 1, para determinar el cambio en el uso de la tierra de agrícola a urbano, y su principal característica es el supuesto de que el potencial de la transición de una célula de uso agrícola a urbano se acumula en el tiempo:

$$P_C(t + 1) = P_C(t) + \Delta P_C$$

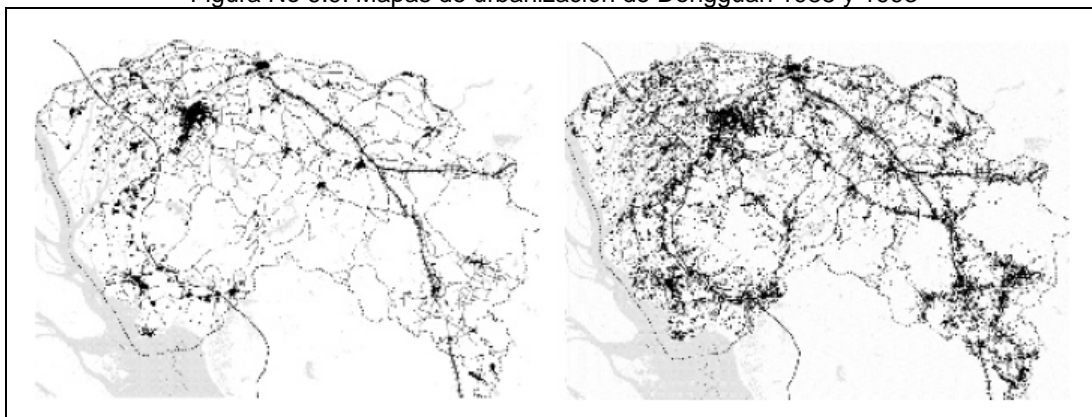
Los factores incluidos reflejan la influencia de las células urbanas cercanas y la influencia de factores externos:

- La densidad de las células urbanas vecinas.
- La distancia de C a un centro urbano principal.
- El uso del suelo en el tiempo t.
- La calidad del suelo.
- La pendiente.

Dongguan abarca cerca de 100 km² y fue modelado con una grilla de 50 m x 50m. Como condiciones iniciales se introdujeron datos de 1988 y se supuso que la red de transporte cambio entre 1988 y 1992. Los coeficientes se calcularon por medio de regresión múltiple sobre la base de datos de teledetección para 1988 y 1992.

Según comparaciones píxel a píxel, la correspondencia entre el suelo urbano simulado y el real para 1995 se encuentra en un nivel de 60-70% (ver Figura No 6.9).

Figura No 6.9. Mapas de urbanización de Dongguan 1988 y 1993



Fuente: Benenson, et al, 2004 citan a Yeh y Li, 2000

Posteriormente, en la región e Véneto, al Norte-Oeste de Italia, se aplicó una versión inicial del modelo, obteniendo resultados visualmente razonables.

6.5.3.2 Crecimiento urbano de la ciudad de Amherst (1994)

Batty y Xie (1994) implementaron un modelo AC para simular la dinámica del suelo en la ciudad de Amherst (Benenson, et al, 2004 citan a Batty y Xie, 1994).

En el modelo, se asumió que la probabilidad (p) de urbanización disminuye con la distancia (d) de la celda C a las zonas urbanizadas. El modelo también incorpora una regulación muy sencilla: si la densidad máxima posible dentro de un área de 100 x 100 celdas alcanza su límite, la celda analizada no pueden ser urbanizada.

El modelo se aplicó en un área de 20 km² alrededor de la ciudad de Amherst, por medio de una grilla de 600 x 600 células. Como base, se contó con registros de población de 110 años (1880 - 1990), y mapas del área urbanizada de los años de 1880, 1935, 1945, 1960, 1980, y 1990.

Se estudiaron dos escenarios de la urbanización. En el primero, la distancia a partir de células madre se fijó, de forma que no influya en las nuevas zonas urbanizadas. En el segundo escenario, se utilizó una función lineal de decadencia de la probabilidad, obteniendo una mejor correspondencia con datos reales, la correspondencia píxel a píxel entre las cifras simuladas y los mapas de uso de la tierra fue de 0,85 para todos los períodos, salvo entre 1961-1980. En 1996, este modelo fue refinado, considerando suelo residencial y comercial, en lugar de valores boléanos (urbana - no urbano), obteniendo resultados similares.

6.5.3.3 Propagación de patrones urbanos – El modelo Sleuth (2002)

Clarke y sus colegas (2002) construyeron un modelo AC llamado Sleuth (pendiente, cobertura de la tierra, exclusión, urbanismo, transporte y la sombra de la colina) (Benenson, et al, 2004 citan a Clarke, 2002).

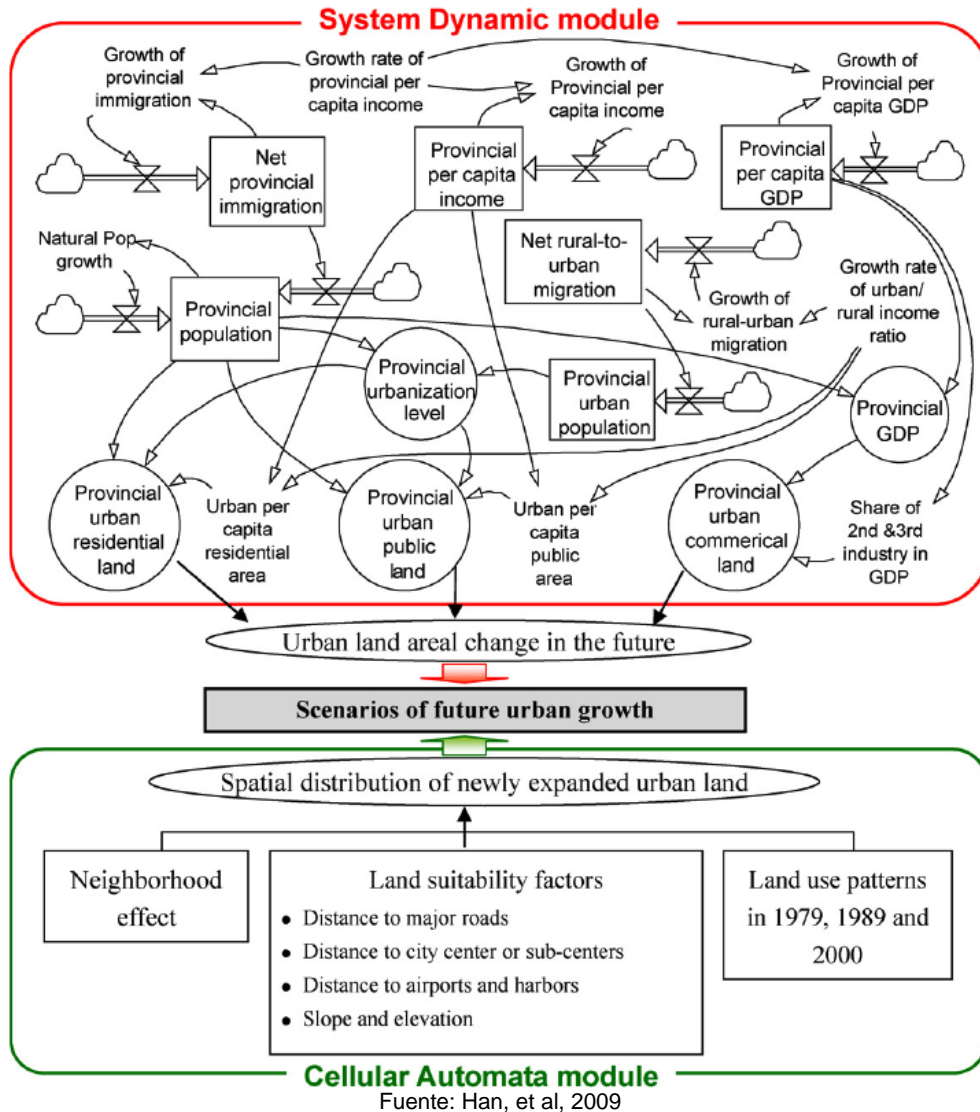
El modelo realiza los cambios en la forma urbana en cuatro pasos que describen las diferentes formas de propagación y difusión en el espacio: a) urbanización espontánea, b) generación de nuevos centros de difusión, c) difusión en los bordes de las áreas urbanizadas, y d) influencia de la carretera en la difusión.

El modelo Sleuth tiene una tasa de crecimiento urbano empleada en cada una de las cuatro etapas de Sleuth. Cuando la tasa de crecimiento del grupo supera un determinado umbral, la probabilidad de urbanización espontánea y la difusión de todos los pasos se aceleran al multiplicar las tasas por un factor superior a uno. Para evitar crecimientos explosivos, la aceleración se controla, y el multiplicador se reduce linealmente con el envejecimiento de un clúster. Este modelo ha sido aplicado en Santa Bárbara y la Bahía de San Francisco (Estados Unidos), en las ciudades portuguesas de Lisboa y Oporto, y Oporto Alegre, Brasil.

6.5.3.4 Modelo de crecimiento urbano de la ciudad de Shanghai, China (2009)

Recientemente, se desarrolló un modelo de crecimiento urbano de la ciudad de Shanghai utilizando Autómatas Celulares. En el modelo se incluyó el análisis de fuerzas socio-económicas, procesos de migración poblacional, y un modelo espacial urbano (Han, et al, 2009). En el estudio se busca identificar el cambio de la tierra urbana por variables socio-económicas y simular el proceso de expansión urbana por factores físicos.

Figura No 6.10. Estructura del sistema integrado del modelo A.C.



En la Figura No 6.10 se presenta la estructura del modelo dinámico, implementado para simular el crecimiento urbano de Shanghai.

Las variables involucradas en el modelo son:

Tipo de suelo: urbano, residencial, público y comercial (Tipo I y II)

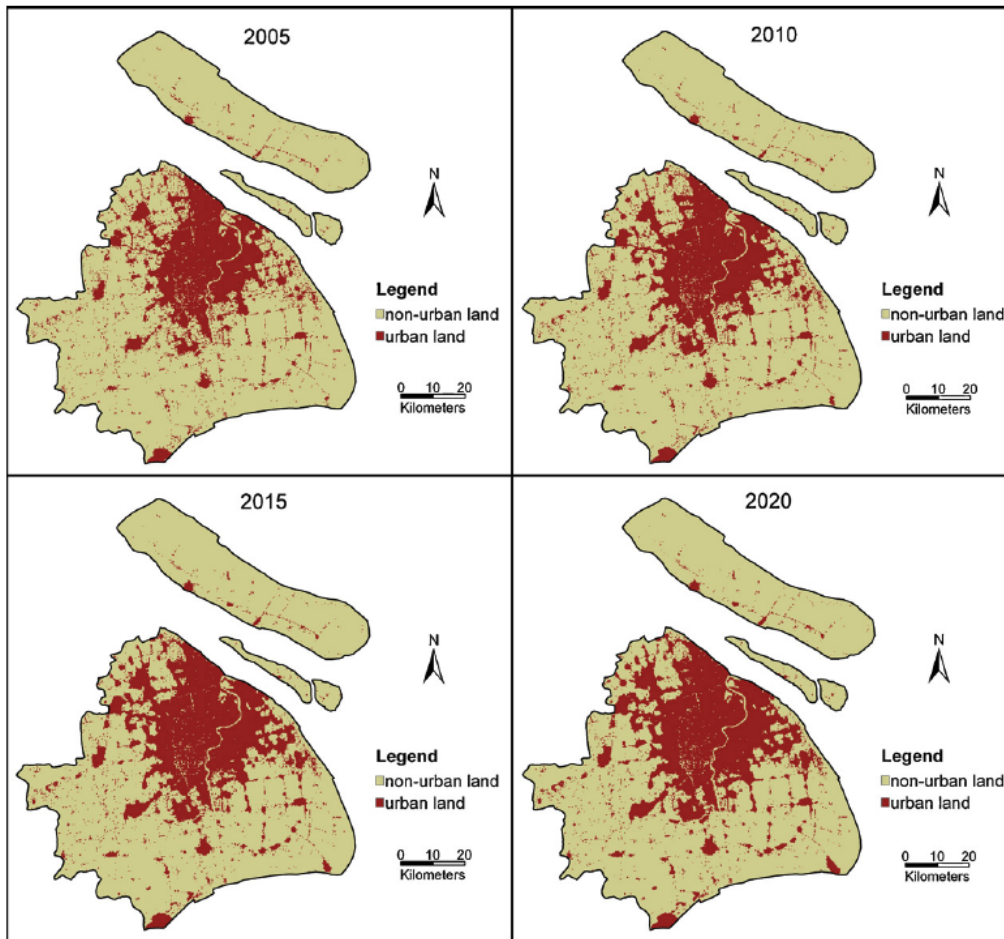
Factores económicos y poblacionales: PIB, Ingreso per cápita, Renta urbana per cápita, Población y Migración

El suelo urbano se subdividió en tierra residencial, pública y comercial. La dinámica del suelo residencial y público se vinculó al ingreso per cápita, mientras la tierra comercial es función del PIB.

En primer lugar, el modelo estima el incremento de población en cada provincia ya sea por nacimientos o por migración entre provincias. Seguidamente, calcula la probabilidad de cambio de estado del suelo de rural a urbano en función de la distancia a centros poblados, a vías, del crecimiento económico de la región y del aumento de la población. Finalmente, si el crecimiento de la provincia demanda nuevo suelo urbano, y existe suelo con posibilidad de transformarse de suelo rural a urbano, el modelo realiza la asignación de cambio de uso.

Una vez se verifico la validez del modelo, se procedió a simular la dinámica del suelo urbano de Shanghai hasta el año 2020 (ver Figura No 6.11) en pasos discretos de 5 años.

Figura No 6.11. Proyecciones de la dinámica del suelo urbano en Shanghai al año 2020



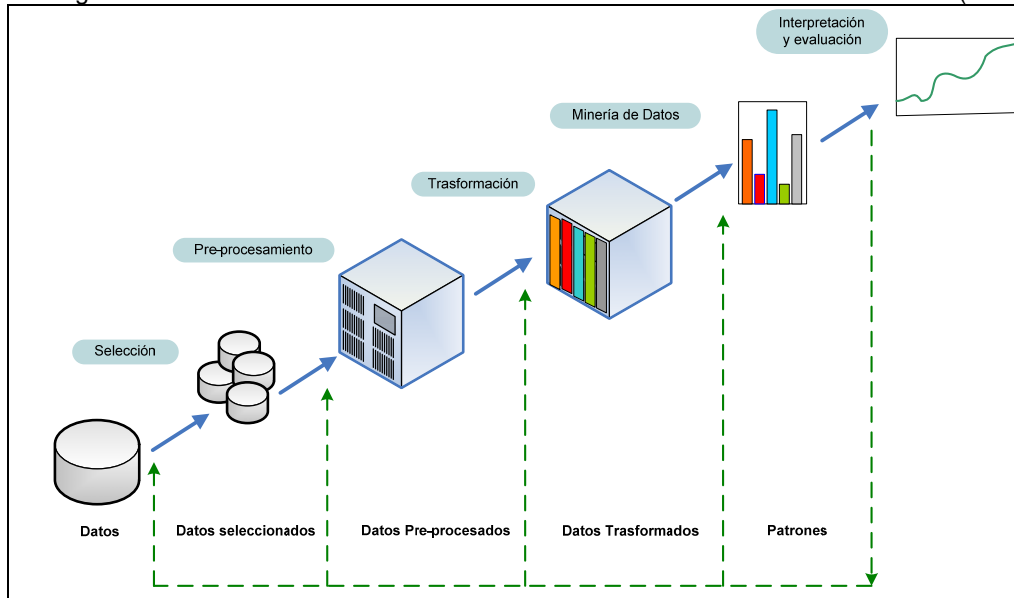
Fuente: Han, et al., 2009

6.6 MINERÍA DE DATOS Y GANANCIA DE INFORMACIÓN

Una de las características más relevantes de los modelos A.C. es la toma de decisiones guiadas por reglas, para lo que es necesario procesar gran cantidad de información de las distintas variables que intervienen en el modelo para identificar y comprender los patrones que determinan la respuesta o estado futuro del modelo, en otras palabras, es necesario construir conocimiento a partir de los datos.

Una de las herramientas para extracción de información potencialmente útil que reside de manera implícita en bases de datos es la minería de datos, que tiene origen en el análisis estadístico y la inteligencia artificial. La minería de datos es el proceso de "descubrimiento de conocimiento en bases" (KDD por sus siglas en inglés, *Knowledge Discovery in Databases*) (Hernandez, 2008).

Figura No 6.12. Proceso del descubrimiento del conocimiento de bases de datos (KDD)



Fuente: Hernández et. al 2008

Un proceso típico de descubrimiento de conocimiento en bases de datos (KDD) consta de los siguientes pasos (Ver Figura No 6.12):

- Selección de datos, tanto de las variables objetivo (aquellas que se quiere predecir), como de las variables independientes (utilizadas en el cálculo o proceso).
- Pre-procesamiento, que consiste en la identificación de valores atípicos, ausencia de datos, valores nulos, elaboración de histogramas y diagramas de dispersión.
- Transformación de los datos de entrada al formato requerido por el algoritmo de minería de datos.
- Minería de datos, incluye la construcción del modelo predictivo, la búsqueda de patrones y la extracción del conocimiento que representa los patrones de comportamiento observados en los valores de las variables.
- Interpretación y evaluación de datos, consiste en comprobar que las conclusiones que arroja el modelo son validas y satisfactorias, así como en la transformación y representación de los patrones extraídos

Según el objetivo del análisis de los datos, los algoritmos utilizados se clasifican en supervisados y no supervisados. Los algoritmos supervisados (o predictivos), predicen un dato desconocido a partir de otros conocidos. Los algoritmos no supervisados (o del descubrimiento del conocimiento), descubren patrones y tendencias en los datos.

Las técnicas usadas por la minería de datos son: redes neuronales, algoritmos genéticos, reglas de inducción, árboles de decisión y el vecino más cercano.

Un árbol de decisión es un modelo predictivo basado en reglas que sirve para representar y categorizar una serie de condiciones secuenciales para la solución de un problema. Los árboles de decisión se han utilizado con éxito en diferentes campos que van desde el diagnóstico médico, juegos, sistemas de predicción meteorológica y en la hidrología (Schärer et al. 2006, Preis et al. 2008, Wei et al. 2009).

Los árboles de decisión pueden ser representados como grupos de reglas SI-ENTONCES para mejorar la interpretación humana. Los principales algoritmos para la construcción de árboles de decisión son: Algoritmo de Hunt (CLS 60's), ID3 (Quinlin 70's-80's), C4.5 (Quinlin 90's), SLIQ y SPRINT.

Un árbol de decisión lleva a cabo un test a medida que hace un recorrido desde el nodo inicial o raíz hacia las hojas, para alcanzar así una decisión. Cada nodo en el árbol especifica una

prueba de alguna etiqueta de la variable anterior, y cada rama descendiente desde éste nodo corresponde a una de las posibles etiquetas para esta variable. Se clasifica una variable en el nodo inicial del árbol, y se generan ramas hacia abajo examinando las etiquetas específicas para la raíz, estas ramas llegan hasta nuevos nodos correspondientes a otras variables de entrada. Este proceso se repite para los subárboles, generando otros nodos. (Mitchell, 1997). Un nodo hoja representa el valor que devolverá el árbol de decisión y las ramas brindan los posibles caminos que se tienen de acuerdo a la decisión tomada.

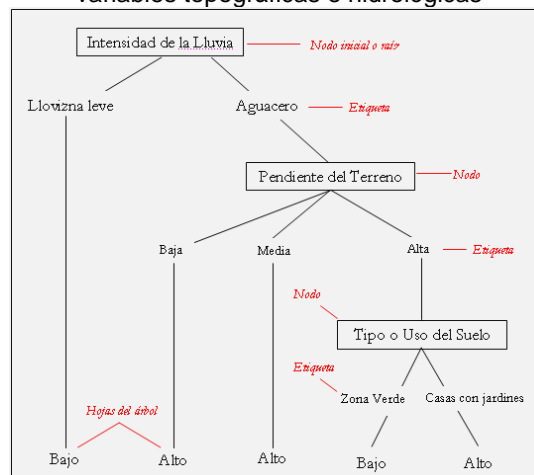
Figura No 6.13. Conjunto de patrones para determinar el caudal de escorrentía en función de variables topográficas e hidrológicas

Patrón	Tipo o Uso del Suelo	Pendiente del Terreno	Área de Drenaje	Intensidad de la Lluvia	Caudal de Escorrentía
1	Pavimento asfáltico	Baja	Grande	Llovizna leve	Bajo
2	Pavimento asfáltico	Baja	Grande	Aguacero	Alto
3	Zona verde	Baja	Grande	Llovizna leve	Bajo
4	Casas con jardines	Media	Grande	Llovizna leve	Bajo
5	Casas con jardines	Alta	Pequeña	Llovizna leve	Bajo
6	Casas con jardines	Alta	Pequeña	Aguacero	Alto
7	Zona verde	Alta	Pequeña	Aguacero	Bajo
8	Pavimento asfáltico	Media	Grande	Llovizna leve	Bajo
9	Pavimento asfáltico	Alta	Pequeña	Llovizna leve	Bajo
10	Casas con jardines	Media	Pequeña	Llovizna leve	Bajo
11	Pavimento asfáltico	Media	Pequeña	Aguacero	Alto
12	Zona verde	Media	Grande	Aguacero	Alto
13	Zona verde	Baja	Pequeña	Llovizna leve	Bajo
14	Casas con jardines	Media	Grande	Aguacero	Alto

Fuente: Santos, 2010

En la Figura No 6.13 se presenta un ejemplo de patrones que describen el nivel del Caudal de Escorrentía en función de algunas variables topográficas e hidrológicas. El modelo tiene en cuenta cuatro variables de entrada (Tipo o Uso del Suelo, Pendiente del Terreno, Área de Drenaje e Intensidad de la Lluvia) y una variable de salida (Caudal de Escorrentía). La variable de salida Caudal de Escorrentía puede tomar los valores bajo y alto.

Figura No 6.14. Árbol de decisión que determina el caudal de escorrentía en función de variables topográficas e hidrológicas



Fuente: Santos, 2010

A partir de la tabla de patrones (ver Figura No 6.13) es posible generar el árbol de decisión de la Figura No 6.14. Este árbol de decisión clasifica las variables que afectan el Caudal de Escorrentía definiendo si el nivel del caudal es bajo o alto.

La construcción de los árboles de decisión comienza con la pregunta: ¿Qué variable de entrada debe ser la raíz del árbol? Con el fin de dar solución a esta incógnita cada variable de entrada

es evaluada usando un examen estadístico para determinar qué tan acertadamente esta variable clasifica los patrones de entrenamiento. La mejor variable de entrada es seleccionada y usada como el nodo inicial del árbol. Posteriormente, se crea una rama descendiente del nodo inicial para cada posible etiqueta de esta variable y los patrones de entrenamiento son clasificados en los nodos descendientes. El proceso completo se repite usando los datos de entrenamiento asociados con cada nodo descendiente para seleccionar la mejor variable en este punto del árbol. Esto forma una búsqueda gradual por árboles de decisión aceptables, en el cual el algoritmo nunca retrocede para reconsiderar elecciones tempranas (Mitchell, 1997).

Existen diferentes criterios de selección o pruebas estadísticas para definir los nodos hijos en el proceso de construcción del árbol de decisión: Índice Gini, Entropía (Ganancia de información), Test Chi-cuadrado y proporción de Ganancia de Información. Comúnmente se utilizan dos de estos criterios: la ganancia de información y la entropía.

La ganancia de información es la cantidad de información de un atributo brindada por conocimiento de otro atributo. La entropía es una medida comúnmente usada en la teoría de la información y caracteriza la cantidad de información necesaria para describir un sistema. Dada una colección S , la entropía de S se define como:

$$Entropía(S) = \sum_{i=1}^c -p_i \log_2(p_i)$$

Donde p_i es la proporción de S perteneciente a la clase i . El logaritmo es en base 2 porque la entropía es una medida de la longitud codificada en bits (Mitchell, 1997).

7. ANALISIS DE INFORMACIÓN Y APORTES AL MODELO CONCEPTUAL

7.1 LA MOJANA, UN SISTEMA COMPLEJO

7.1.1 Ciclo hidrológico y sistemas de producción

7.1.1.1 Precipitación

Como parte del análisis estacional que se llevó a cabo en los talleres con la comunidad, se graficó el comportamiento de la precipitación a lo largo del año, para lo cual se diseñó una escala de 0 a 10, donde 0 corresponde con la mínima precipitación registrada y 10 con la máxima precipitación en un mes, de esta manera todas las personas lograron aportar su conocimiento sin restricciones por nivel educativo o edad. En la Tabla No 7-1 se presenta el comportamiento de la precipitación en La Mojana y el San Jorge de acuerdo con lo expresado por la comunidad.

Tabla No 7-1. Precipitación en la región según análisis estacional

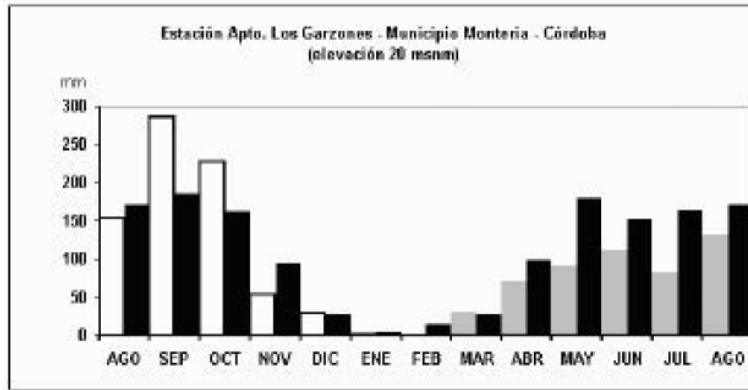
Mes	Belén	Candelaria	Cispataca	La Mejía	El Mamón	Nueva Fe	Palo Alto	Santiago Apóstol	Villa Nueva	Mamarraya	Orejero	Palmarito
Enero	2	2	1	4	4	3.0	3	1	1	1	2	2
Febrero	2	1	1	3	2	1.0	3	1	1	3	2	2
Marzo	0	0	2	0	1	0	0	1	1	1	1	2
Abril	4	4	5	2	5	2.5	6	5	2	7	1.5	3
Mayo	6	7	5	10	6	6.3	6	5	7	10	8	10
Junio	6	8	6	5	7	7.3	5	3	7	6	5	3
Julio	7	7	6	6	8	8	8	3	8	5	5	10
Agosto	7	10	8	10	9	9	8	8	9	7	7	10
Septiembre	7	6	9	8	9	10	9	9	10	8	4	10
Octubre	8	9	10	8	10	9.7	10	10	10	10	9	10
Noviembre	10	5	10	8	10	7	7	7	10	5	8	5
Diciembre	2	3	2	2	3	2.5	5	5	5	1	3	2

Para validar la información suministrada en los talleres se compararon los registros de precipitación del IDEAM con los resultados del análisis estacional.

De acuerdo con el IDEAM, en La Mojana las lluvias tienen un régimen monomodal con una temporada seca que va de diciembre hasta abril, mientras que los meses más lluviosos son de agosto hasta octubre (ver Figura No 7.1). La precipitación anual varía desde 1000 mm en Magangué hasta 4500 mm en Nechí y Achí¹².

¹² Esta caracterización del régimen de precipitación fue tomada del Programa de Desarrollo Sostenible de la Región de La Mojana, 2003. Sin embargo Luz Botero et al, 2000, describen el régimen de precipitación como bimodal, con un periodo seco en los meses de Junio y Julio llamado veranillo de San Juan, el cual es frecuente que desaparezca simplificando el régimen a una estación seca de Diciembre a Abril y una húmeda el resto del año.

Figura No 7.1. Histograma de precipitación media mensual característico de La Mojana



Fuente: IDEAM, 2001.

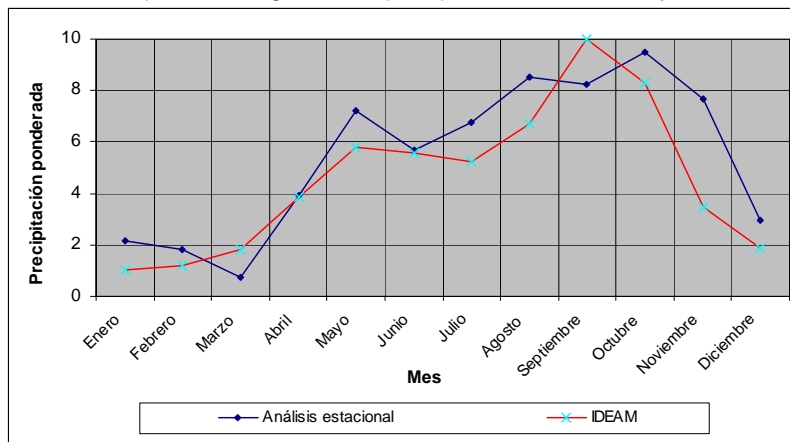
Para posibilitar la comparación entre la precipitación media mensual de la estación Aeropuerto Los Garzones y el análisis estacional, se reescaló el reporte de la estación (ver Tabla No 7-2).

Tabla No 7-2. Reescalamiento de precipitación media - IDEAM

Mes	Precipitación (mm)	Precipitación reescalada
Enero	5	1.0
Febrero	10	1.2
Marzo	27	1.8
Abril	80	3.9
Mayo	130	5.8
Junio	125	5.6
Julio	115	5.2
Agosto	154	6.7
Septiembre	240	10.0
Octubre	195	8.3
Noviembre	70	3.5
Diciembre	28	1.9

En la Figura No 7.2 se comparan los registros del IDEAM previamente reescalados con el promedio de valores de precipitación que la población arrojó a través de los doce talleres realizados.

Figura No 7.2. Comparación registros de precipitación del IDEAM y Análisis Estacional



En la Figura No 7.2 se puede observar buena coincidencia entre el histograma de precipitación del IDEAM y el comportamiento descrito por la comunidad. En las dos curvas se diferencia claramente el período seco comprendido entre diciembre y abril respecto del período más húmedo correspondiente a los meses de agosto a octubre, de igual forma se aprecia el denominado veranillo de San Juan que consiste en una disminución de la precipitación en los meses de junio y julio. Sin embargo cabe resaltar algunas diferencias como son:

- El mes con menor precipitación, marzo vs enero
- El mes con mayor precipitación, septiembre vs octubre
- El comportamiento de noviembre, pues mientras el IDEAM afirma que este es un mes seco, en el análisis estacional apenas empieza a reducir la magnitud de la precipitación.
- Según el análisis estacional en mayo hay un pico claramente definido, y aunque el los datos del IDEAM también se presenta este pico, es de menor magnitud.

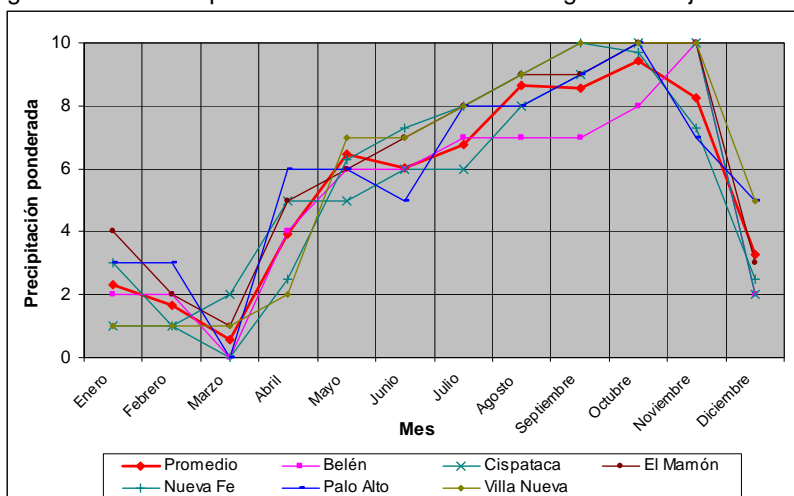
Teniendo en cuenta las características de los participantes en los talleres y la coincidencia de los registros del IDEAM con la información suministrada en el análisis estacional en cuanto a precipitación, puede afirmarse que las personas tienen buen conocimiento de la región y en consecuencia debe darse el tratamiento de conocimiento experto a la información obtenida.

La información obtenida con herramientas de DRP tiene dos características particulares: a) mayor detalle a nivel local, y b) reconocimiento de condiciones extremas, en este caso la ocurrencia del fenómeno del niño, del fenómeno de la niña, y del veranillo de San Juan, fenómenos que según la severidad con que se vea impactada la comunidad pueden ser fácilmente identificados con estas herramientas y por lo tanto deben ser considerados en la modelación. En el caso de la precipitación en La Mojana, estas características se manifiestan en la configuración de zonas con condiciones climáticas diferentes y en las variaciones espaciales respecto al comportamiento medio de la región.

Los resultados del análisis estacional muestran variaciones en el régimen de precipitación a nivel espacial, siendo posible dividir el área de estudio en dos zonas: El Bajo San Jorge y La Mojana.

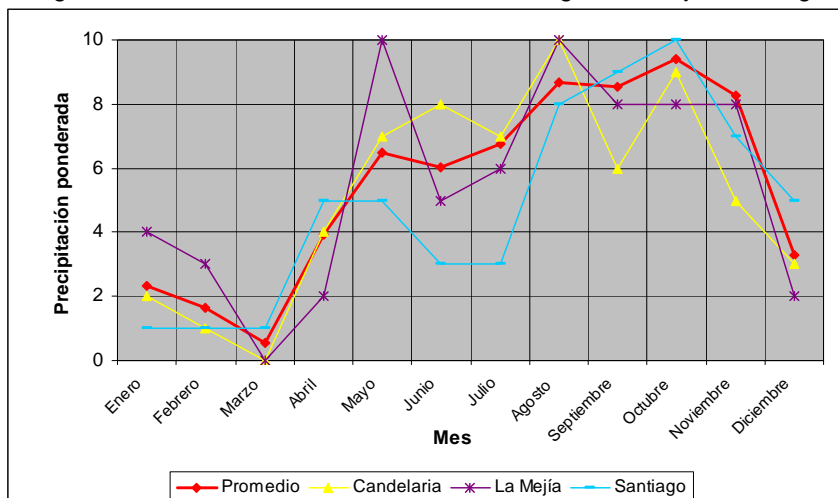
La región del Bajo San Jorge -que coincide con la cuenca del río San Jorge-, comprende los municipios de San Marcos, Caimito y San Benito Abad. En esta zona los meses más húmedos van desde agosto hasta noviembre, el período seco cubre los meses de diciembre a marzo, abril es un mes de transición hacia el período de lluvias, y entre mayo y julio la precipitación es casi constante, cercana a 6 en la escala de 0 a 10, sin que se evidencie claramente un veranillo en junio y julio (ver Figura No 7.3).

Figura No 7.3. Precipitación media mensual en la región del Bajo San Jorge



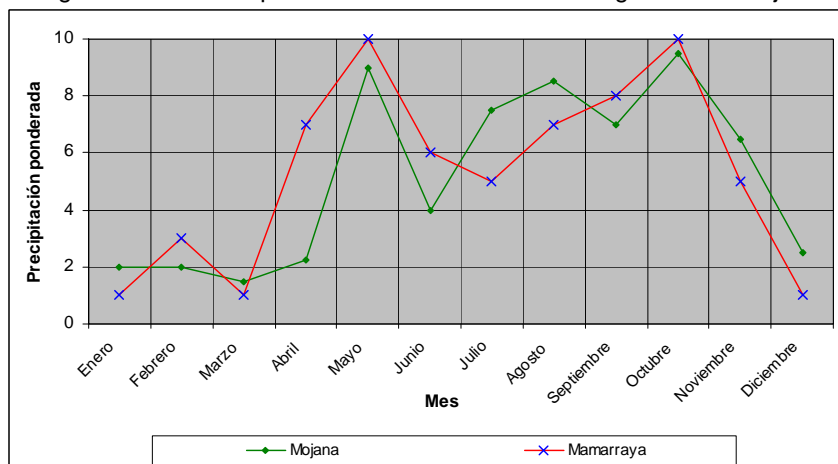
Las comunidades de Candelaria, La Mejía y Santiago Apóstol (ver Figura No 7.4) le dieron mayor relevancia al denominado veranillo de San Juan, un fenómeno ocasional que tiene lugar en los meses de junio y julio y modifica el régimen hidrológico hacia un comportamiento bimodal, tal como es descrito por Botero, et al (2000).

Figura No 7.4. El veranillo de San Juan en la región del Bajo San Jorge



La región de La Mojana, comprende los municipios de Guaranda, Majagual y Sucre, localizados en la margen occidental del río Cauca. En esta zona la precipitación tiene un comportamiento bimodal con dos períodos húmedos, el primero entre abril y mayo, el segundo entre agosto y octubre. Noviembre es un mes de transición hacia el verano. El primer período seco es más intenso y comprende los meses de diciembre hasta marzo, el segundo período es de menor intensidad y cubre los meses de junio y julio, coincidiendo con el veranillo de San Juan (ver Figura No 7.5).

Figura No 7.5. Precipitación media mensual en la región de La Mojana



7.1.1.2 Comportamiento del sistema hídrico

En La Mojana, los ríos corren dentro de una zona plana e inundable, conformada por gran cantidad de ciénagas interconectadas, caños y arroyos que divagan y cambian de curso y dirección de acuerdo con la época del año y los niveles de los ríos principales.

El río San Jorge desciende del nudo de Paramillo, donde nace en la cordillera Occidental, corriendo hacia el noreste por las llanuras del Caribe en su curso medio, hasta cerca de Ayapel. A partir de allí se interna en la Depresión Momposina para desembocar al sur de

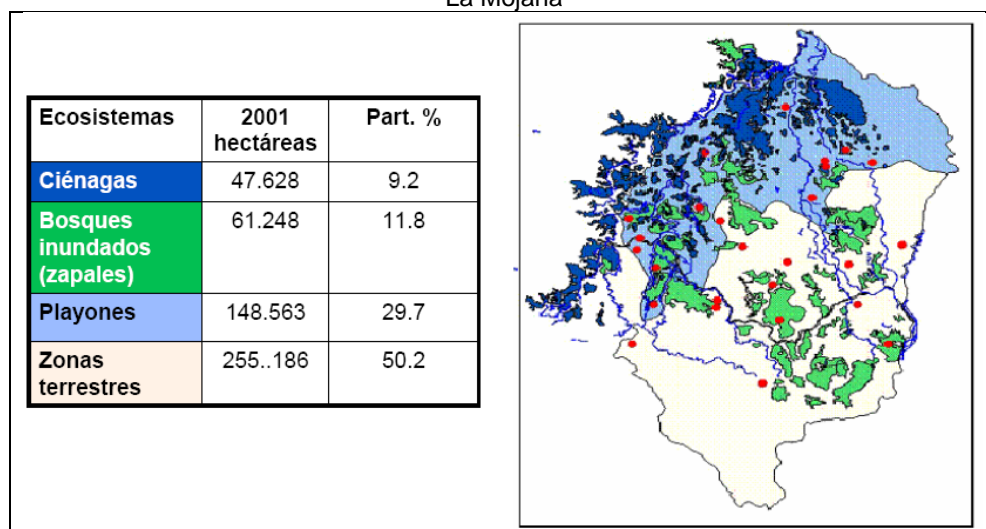
Magangué en el Brazo de Loba a través de una serie de ciénagas, vía alterna del río Magdalena en su descenso al mar.

El río Cauca antes de desembocar directamente al río Magdalena sobre el Brazo de Loba, irrumpe en las llanuras del Caribe al sur de Ayapel y con su grueso caudal, acrecentado por las aguas del río Nechí, inunda la depresión por los rompederos de Astilleros y San Jacinto (DNP - FAO, 2003).

En la región se encuentran importantes ciénagas como la ciénaga de Ayapel [40.000 hectáreas], la ciénaga Grande de Loricá [38.000 hectáreas], la ciénaga de Betancí [3.250 hectáreas], y las ciénagas de San Marcos, La Caimanera y Tofeme que forman parte de un complejo de más de 150 ciénagas ubicadas sobre el río San Jorge. El área permanente de ciénagas se calcula en más de 150.000 ha.

Además de las ciénagas, existen otros ecosistemas asociados a los cuerpos de agua y la dinámica estacional, como son los zapales y playones, los cuales prestan importantes servicios ambientales como la regulación de caudales, retención de sedimentos y nutrientes, hábitat de peces, y zonas de uso común para siembra y pastoreo durante la época seca (Aguilar, 2004).

Figura No 7.6. Localización y tamaño de los ecosistemas asociados a los cuerpos de agua en La Mojana



Fuente: Aguilar, 2004

Para evaluar el comportamiento del sistema hídrico se complementó la información secundaria con dos herramientas: el análisis estacional y el gráfico histórico. Con el análisis estacional se caracterizó la variación mensual de niveles y con el gráfico histórico se identificaron fenómenos extremos y tendencias en el comportamiento del sistema.

En la evaluación de la variación mensual del nivel en los ríos, caños y ciénagas, se utilizó una escala de 0 a 10 similar a la utilizada para valorar el régimen de precipitación. En la Tabla No 7-3 se presentan los datos correspondientes.

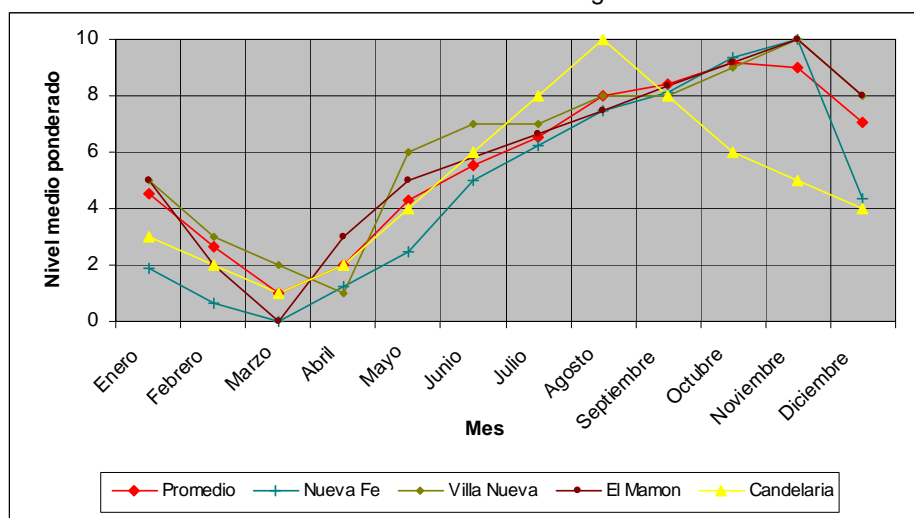
Los resultados obtenidos sugieren la posibilidad de configurar dos zonas diferentes, La Mojana con un comportamiento bimodal, y el Bajo San Jorge con régimen monomodal, sin embargo, a nivel local fue posible diferenciar el comportamiento del sistema hídrico según la influencia de los principales ríos y ciénagas.

Tabla No 7-3. Variación mensual de niveles de agua según análisis estacional

Mes	Belén	Candelaria	Cispataca	La Mejía	El Mamón	Nueva Fe	Palo Alto	Santiago Apóstol	Villa Nueva	Mamarraya	Orejero	Palmarito
Enero	5	3	8	5	5	1.9	3	5	5	4	5	3
Febrero	3	2	5	3	2	0.6	2	3	3	4	3	2
Marzo	1	1	1	1	0	0.0	1	2	2	1	1	1
Abril	2	2	3	1	3	1.3	3	2	1	5	1	3
Mayo	4	4	5	5	5	2.5	4	3	6	6	5	10
Junio	6	6	5	6	5.8	5.0	5	4	7	4	6	3
Julio	7	8	5	8	6.7	6.3	8	3	7	4	4	10
Agosto	10	10	5	10	7.5	7.5	10	4	8	4	4	10
Septiembre	9	8	8	10	8.3	8.1	10	6	8	8	6	10
Octubre	9	6	10	10	9.2	9.4	10	10	9	10	9	10
Noviembre	10	5	10	10	10	10.0	8	8	10	10	10	10
Diciembre	8	4	10	8	8	4.4	7	6	8	6	7	3

En cuatro localidades, Nueva Fe, Villa Nueva, el Mamón y Candelaria, se identifica claramente un mes con niveles máximos, que se encuentra asociado al comportamiento del río San Jorge (ver Figura No 7.7).

Figura No 7.7. Variación nivel medio de agua en la región del Bajo San Jorge - Sistemas asociados al río San Jorge



Los cuerpos de agua cercanos a Belén, la Mejía y Palo Alto presentan un comportamiento monomodal, característico del río San Jorge, sin embargo, los niveles altos se prolongan hasta por cuatro meses, producto de la alta capacidad de amortiguación de las ciénagas que descienden más lentamente (ver Figura No 7.8).

En Cispataca y Santiago Apóstol se evidenció un comportamiento diferente al promedio, con un período de transición entre los meses de junio y agosto, esta condición se justifica por la influencia del río Magdalena que modifica el comportamiento del río San Jorge y del sistema de ciénagas aproximándolo a un régimen monomodal (ver Figura No 7.9).

Figura No 7.8. Variación nivel medio de agua en la región del Bajo San Jorge - Sistemas asociados a las ciénagas

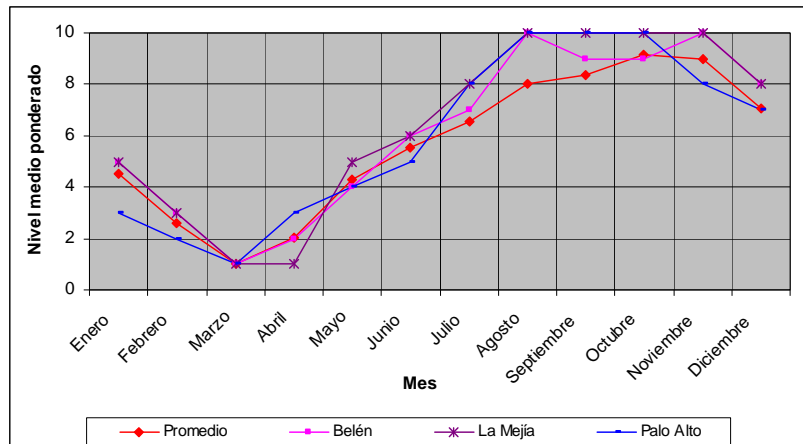
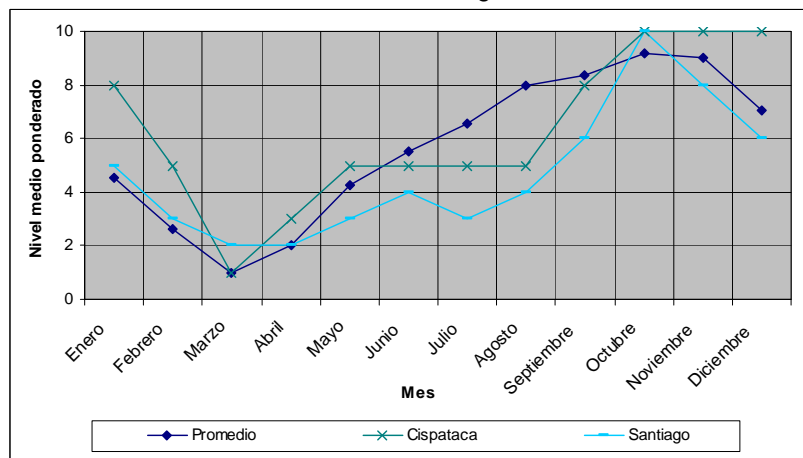
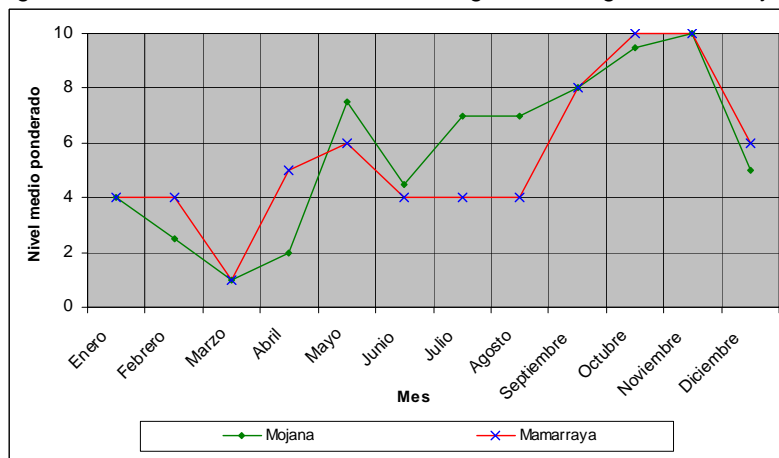


Figura No 7.9. Variación nivel medio de agua en la región del Bajo San Jorge - Sistemas asociados al río Magdalena



En la región de La Mojana los resultados muestran con claridad un régimen monomodal determinado por los desbordamientos del río Cauca y por el remanso del río Magdalena.

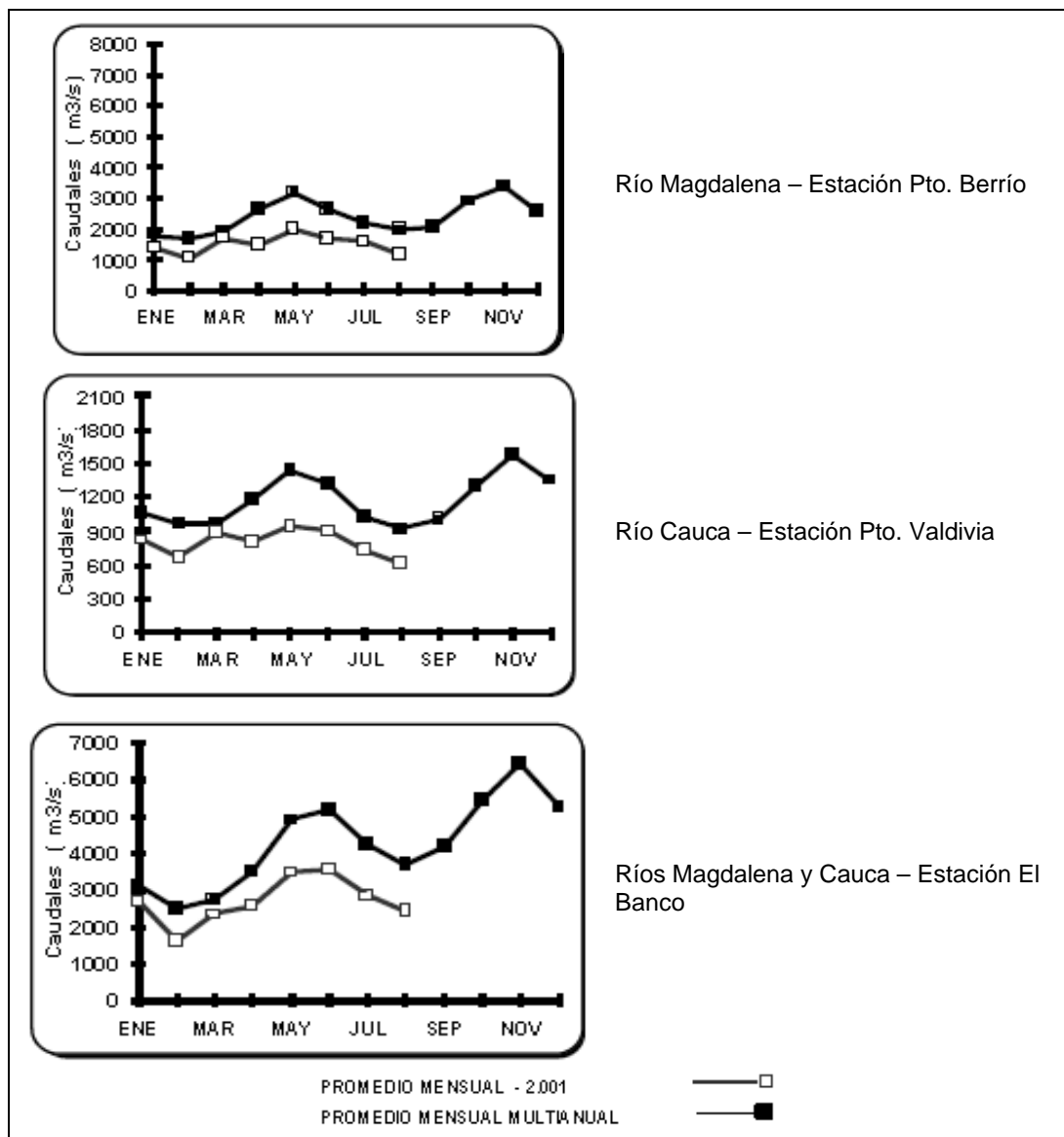
Figura No 7.10. Variación nivel medio de agua en la región de La Mojana



Cabe mencionar que aunque en La Mojana solo se realizaron tres talleres, las tres poblaciones se encuentran a orillas de los principales cauces de la región, Mamarraya en la margen izquierda del río Cauca, Orejero a orillas del caño Panceguita y Palmarito a orillas del caño Mojana (ver Figura No 5.2).

En la Figura No 7.11 se muestra el régimen monomodal de los ríos Magdalena y Cauca.

Figura No 7.11. Variación mensual de caudales en ríos Cauca y Magdalena



Fuente: IDEAM, 2001.

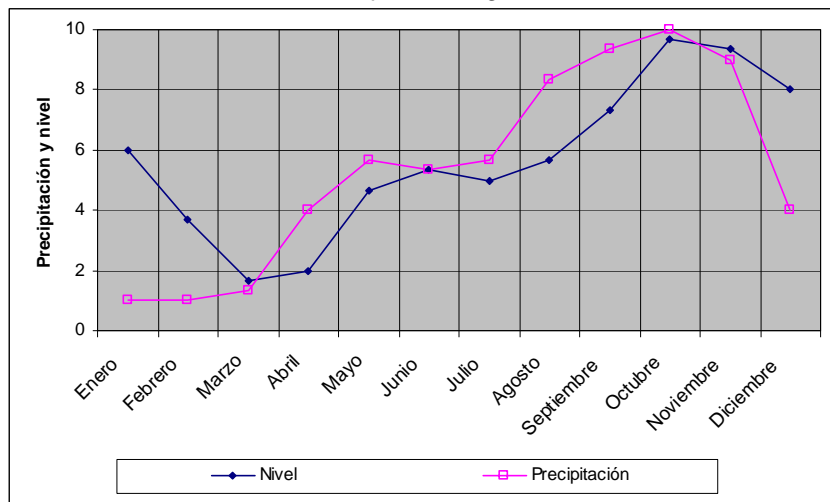
Con el gráfico histórico se identificaron fuertes inundaciones en los años 1950, 1969, 1974 – 1976, 1984, 1989 y 2000 que llegaron a causar migraciones importantes de población. De acuerdo con el pronóstico ENSO (NCEP/NWS, 2008) en todos estos años, excepto en 1984, se presentó el fenómeno de la Niña, con lo cual se puede afirmar –como la plantean otros autores– que el régimen hidrológico de la región es afectado por condiciones extremas como los fenómenos del Niño y la Niña.

7.1.1.3 Relación entre precipitación y el comportamiento del sistema hídrico

Con frecuencia encontramos que el comportamiento de las fuentes de agua coincide con el régimen de precipitación de la cuenca, sin embargo, la dinámica hidrológica de La Mojana está fijada por el régimen anual de lluvias de la cuenca del río San Jorge y del interior del país, por lo cual, si bien la precipitación tiene un comportamiento monomodal los niveles de los cuerpos de agua se ven influenciados por los ríos Cauca y Magdalena, llegando a remansar al río San Jorge, represando las ciénagas e incluso modificando el régimen hacia uno bimodal. Estas condiciones particulares fueron comprobadas con la utilización de las herramientas de DRP.

El sistema de ciénagas permite el almacenamiento de grandes volúmenes de agua que son desaguados lentamente hacia el río Magdalena, haciendo que en la zona baja las inundaciones se prolonguen hasta dos meses después que empiezan a disminuir las lluvias, esta condición puede identificarse en la Figura No 7.12, donde se observa que si bien las lluvias disminuyen a partir de diciembre, solo hasta marzo los ríos y ciénagas alcanzan sus niveles mínimos.

Figura No 7.12. Precipitación vs nivel de agua en Santiago Apóstol, Cispataca y Villa Nueva – Bajo San Jorge



Sin embargo, este retardo en el descenso de las aguas no se presenta en toda la región, a la altura de Caimito y San Marcos, se observa alta correspondencia entre el régimen de precipitación y el nivel de agua, lo que sugiere que en esta zona el sistema hídrico no es afectado por el remanso del río Magdalena (ver Figura No 7.13 y Figura No 7.14).

Figura No 7.13. Precipitación vs nivel de agua en El Mamón – Bajo San Jorge

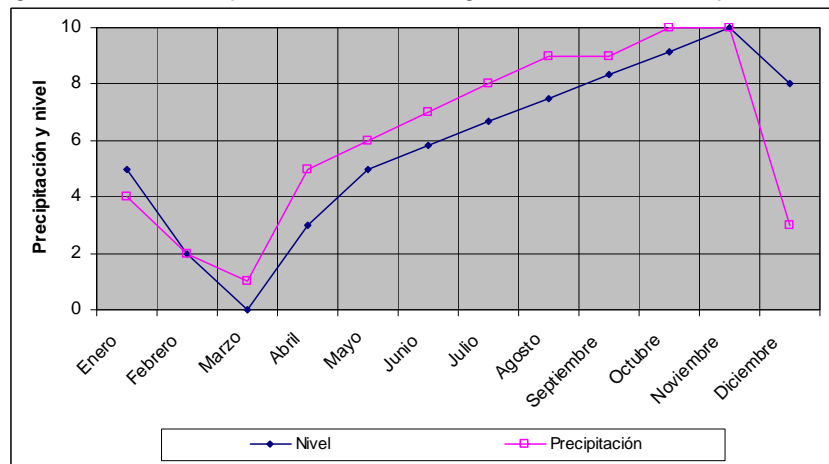
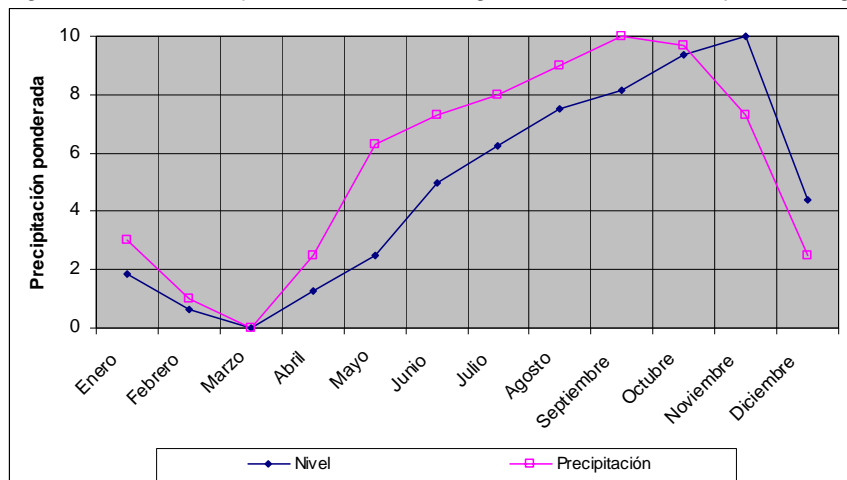


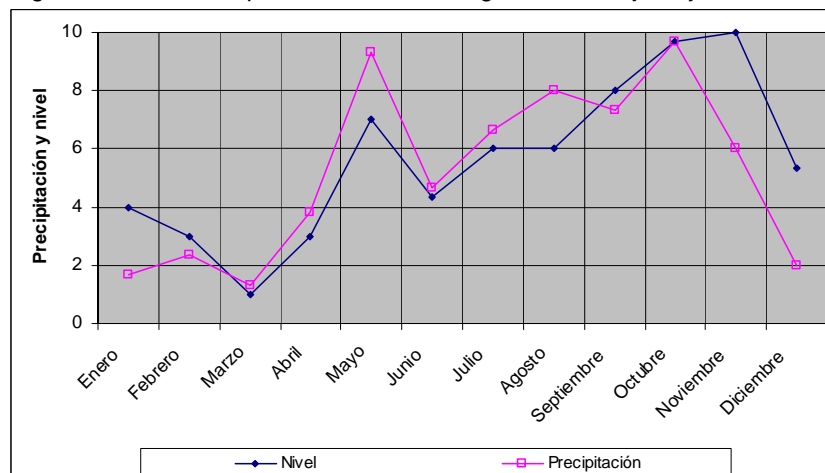
Figura No 7.14. Precipitación vs nivel de agua en Nueva Fe – Bajo San Jorge



El remanso del río Magdalena al río San Jorge también es descrito en las entrevistas realizadas a profesionales de la región quienes plantean que “en algunos momentos el Magdalena se remansa hasta ir aguas arriba por el San Jorge”¹³ (ver Anexo 5).

En la región de La Mojana, incluso en proximidades del río Magdalena (corregimiento de Orejero), el sistema hídrico presenta un comportamiento bimodal coincidente con el régimen de precipitación, evidenciando la influencia del río Cauca que “periódicamente (...) penetra a La Mojana generando grandes inundaciones y pérdidas incalculables al sector agrícola”¹⁴, de hecho, la comunidad de Palo Alto afirma que la última gran creciente se presentó en el año 1985 y fue ocasionada por rompiente del río Cauca en Nenchí¹⁵.

Figura No 7.15. Precipitación vs nivel de agua en La Mojana y el río Cauca



En síntesis, los resultados correspondientes al régimen de precipitación y a los niveles de agua en la región, sugieren la posibilidad de regionalizar el área de estudio en al menos tres zonas:

- El Bajo San Jorge con influencia de los ríos San Jorge y Magdalena
- El Bajo San Jorge sin influencia del remanso del Magdalena
- La Mojana asociada al río Cauca

¹³ Entrevista a Hernández A. Edgardo, Profesional de Corpomojana. Noviembre 17 de 2009

¹⁴ Ibid

¹⁵ Taller DRP - Grafico Histórico. Noviembre 04 de 2009

7.1.1.4 Sincronía entre los sistemas productivos y el ciclo hidrológico

El comportamiento del sistema hídrico en La Mojana tiene influencia sobre los medios de transporte, los sistemas productivos e incluso sobre los ciclos naturales de la fauna, siendo una de las variables determinantes en el sistema, razón por la cual resulta de especial interés evaluar la relación entre el ciclo hidrológico y este tipo de variables.

Época de aguas altas

Un mes después del inicio del periodo de lluvias en la cuenca, con el aumento de los caudales de los ríos Magdalena y Cauca y el posterior desbordamiento de este último, el espejo de agua aumenta conectando las ciénagas y caños. En el año 2001 se calculó que solo el 10,4% de la zona (52.031 ha) no presentaba inundaciones (Castañeda, 2001).

Durante esta época el sistema recibe de los ríos y del ecosistema circundante grandes cantidades de sedimentos y nutrientes, de forma que aumenta la productividad de la cadena trófica de las zonas inundables, proliferando las comunidades de algas y plantas acuáticas, con esto aumenta el grado de descomposición de materia orgánica y se garantizan las condiciones para una buena pesca.

Con la época de aguas altas, las condiciones en los ríos se vuelven adversas para los peces, ya que aumenta el caudal y la turbidez y disminuye la productividad del alimento, razón por la que los peces inician su migración hacia aguas abajo (fenómeno conocido como bajanza).

De acuerdo con la información suministrada por el profesional en acuicultura, Manuel López¹⁶, *“los recursos pesqueros están asociados a las inundaciones, las grandes crecientes vienen acompañadas de picos pesqueros, de manera que si el caudal baja la pesca también disminuye, las zonas de desborde son las zonas de producción, y los zapales son reserva de alimento para los peces, el zapal es la salacuna de los peces”*.

Por otro lado, la temporada de aguas altas, no solo representa una oportunidad para los pescadores, también representa la inundación y pérdida de cultivos, y la necesidad de practicar la trashumancia ganadera (Botero, et al, 2000).

Fotografía No 5. La trashumancia. Transporte de ganado a través del río



Fuente: Botero et al., 2000.

*“Las inundaciones afectan los dos principales sistemas productivos de la región, la ganadería y la agricultura”*¹⁷ y su magnitud es tal que cultivar en La Mojana es considerado *“un juego de*

¹⁶ Entrevista a López N. Manuel, Profesional de Corpomojana. Noviembre 16 de 2009

¹⁷ Pupo R. Mauricio. Profesional Gestión Productiva y Salud Animal – Fedegan. Noviembre 16 de 2009

azar¹⁸, según Edgardo Hernández¹⁹ el arroz da con buen rendimiento, pero es riesgoso, “es una aventura”. En conclusión, las inundaciones determinan el éxito de las cosechas o el fracaso de toda la inversión.

Época de aguas bajas

El estiaje de los ríos se presenta entre uno y dos meses después del inicio del periodo de sequía en la cuenca. Durante esta época el ambiente acuático se reduce y el terrestre se expande, llegando a desaparecer algunos caños menores, aislando las ciénagas más pequeñas.

Con el descenso de nivel del agua, la vegetación acuática desarrollada en las zonas más someras se deseca, convirtiéndose en abono que será aprovechado por la vegetación terrestre que se desarrolla con vigor. De igual forma el estiaje representa la depositación de gran cantidad de sedimentos en las tierras inundables los cuales posteriormente son utilizados como abono.

Durante la estación seca, algunas especies de peces inician su recorrido hacia las partes más altas de la cuenca (fenómeno conocido como subienda) buscando menores temperaturas, mayores concentraciones de oxígeno y menor turbidez. Está es la temporada en la cual los agricultores pueden sacar mayor provecho a las tierras de La Mojana, puesto que “en estas tierras inundables, los pequeños propietarios tienen cultivos de ciclo corto”²⁰.

Fotografía No 6. Cultivo de maíz y ganadería a orillas del caño Mojana



La pesca a través del ciclo hidrológico

En los talleres con la comunidad se utilizó el análisis estacional para evaluar la correspondencia entre la pesca y el ciclo hidrológico, para lo cual se construyó una gráfica en la cual se calificó de 0 a 10 la calidad de la pesca, que está determinada por el esfuerzo para la captura, la talla de los peces y el número de peces.

Aunque se lograron identificar con claridad las dos migraciones realizadas por los peces reófilos, bajanza y subienda (ver **Anexo 4**), también fue posible identificar condiciones locales como la diferencia entre la pesca en las ciénagas y los ríos.

De acuerdo con la comunidad, la bajanza que ocurre entre mayo y junio corresponde a la migración hacia las ciénagas de peces juveniles que escapan a las redes, razón por la cual no es considerada la mejor temporada puesto que no es la más abundante y los peces tienen poca talla. Entre junio y noviembre los peces tienen libertad para moverse por todas las tierras inundadas en busca de alimento y refugio, es el período de crecimiento y maduración de los peces, tiempo en que la pesca requiere un considerable esfuerzo. En los meses de diciembre y enero ocurre la subienda hacia los ríos de peces adultos que buscan reproducirse, siendo el mejor momento para conseguir peces de buen tamaño con el menor esfuerzo posible. Entre Febrero y Abril, los peces que lograron escapar a las redes se encuentran en las zonas altas

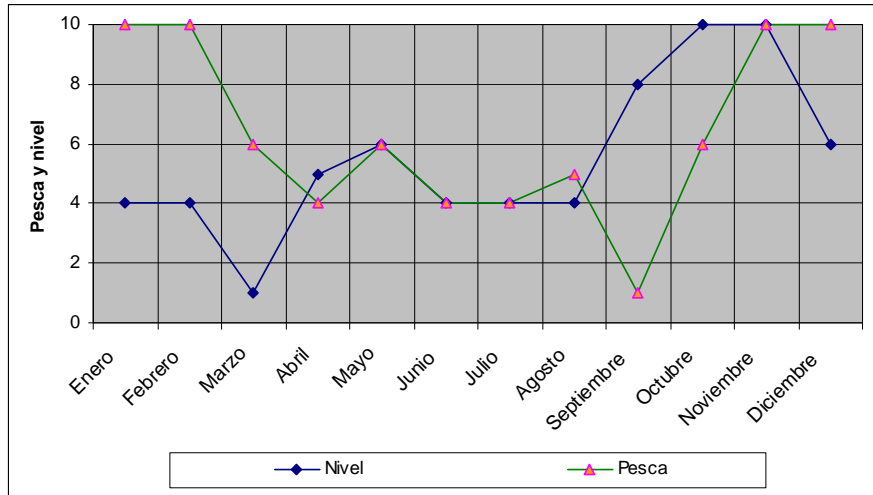
¹⁸ Ibid

¹⁹ Entrevista a Hernández A. Edgardo, Profesional de Corpomojana. Noviembre 17 de 2009

²⁰ Ibid

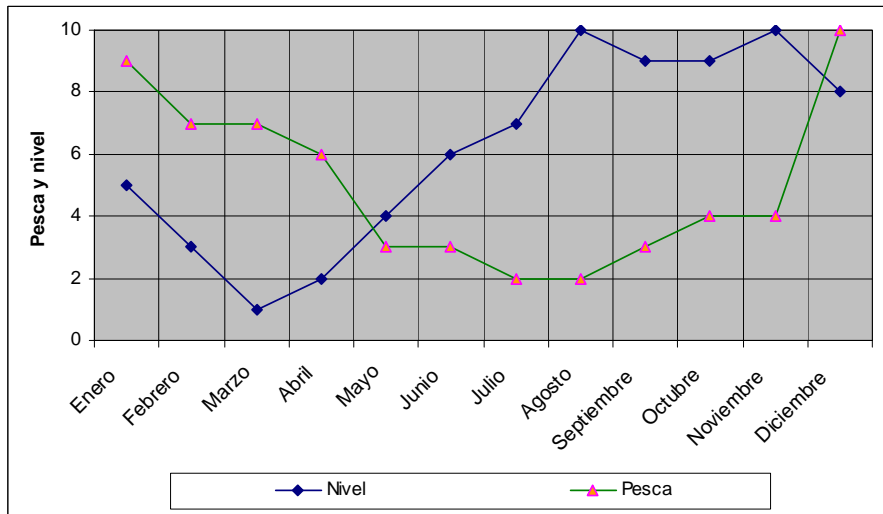
de los ríos representando la temporada más difícil para los pescadores. En la Figura No 7.16 se puede apreciar el ciclo descrito.

Figura No 7.16. Pesca vs nivel de agua en Mamarraya - Río Cauca



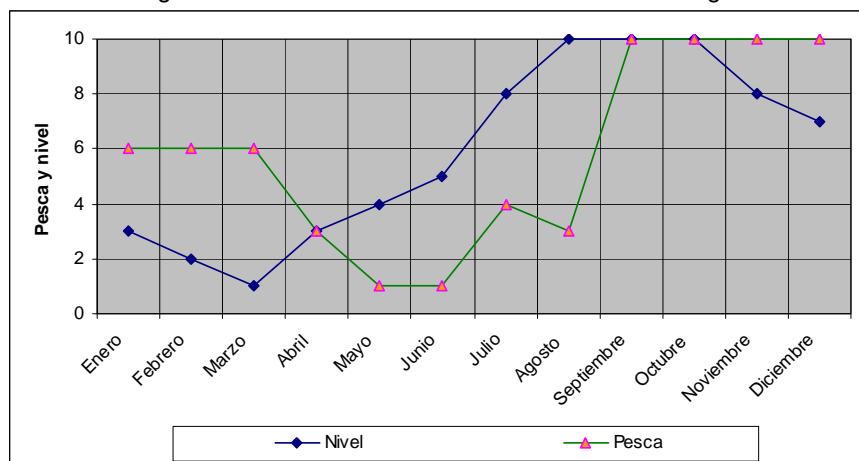
En los ríos Cauca y San Jorge la mejor pesca se concentra en los meses de diciembre y enero, un corto tiempo, menor que la temporada de pesca en las ciénagas (ver Figura No 7.17). Sin embargo algunas comunidades (Candelaria, Nueva Fe y Villa Nueva) aprovechan el pico intermedio de junio y julio.

Figura No 7.17. Pesca vs nivel de agua en Belén - Río San Jorge



En las ciénagas la mejor pesca ocurre a final de año (octubre a diciembre) incluyendo el mes de enero, esta situación coincide con la mayor intensidad del invierno y el inicio del verano, época en que las ciénagas están llenas y el espejo de agua tiene su mayor extensión (ver Figura No 7.18).

Figura No 7.18. Pesca vs nivel en Palo Alto - Ciénagas

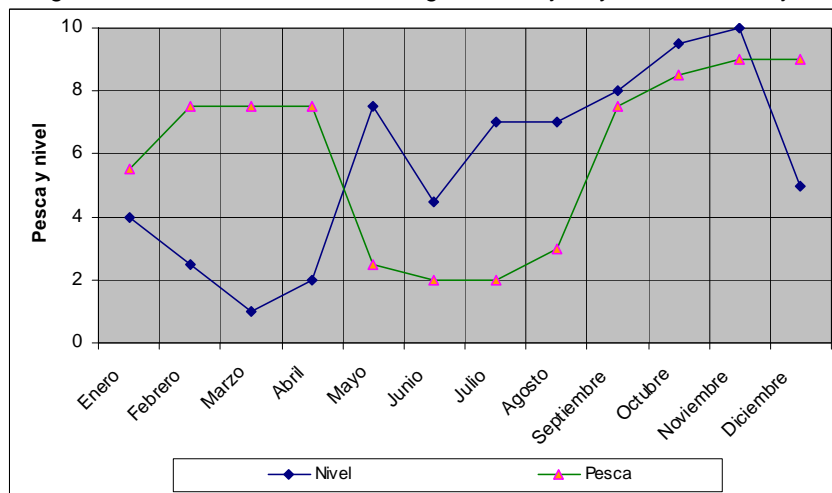


Como se ha visto, de acuerdo con la época es mejor la pesca en los ríos o en la ciénaga, con lo cual adicionalmente se determina la herramienta más apropiada para pescar, en verano la mejor pesca se alcanza en el río utilizando chinchorro y atarraya, mientras que en invierno las mejores oportunidades de captura se presentan en las ciénagas utilizando el trasmayo (ver **Anexo 4**).

Debe tenerse en cuenta que los habitantes de la región dedicados a la pesca realizan sus faenas en varios lugares, en sus propias palabras “salen a buscar donde estén los peces”, es decir pescan en el río, caños y ciénagas.

En la región de La Mojana el calendario de la pesca es diferente, puesto que la temporada de pesca abundante se extiende desde septiembre hasta abril, cubriendo la época de desarrollo de los peces en las ciénagas y la subienda de peces maduros (ver Figura No 7.19).

Figura No 7.19. Pesca vs nivel de agua en Orejero y Palmarito - Mojana



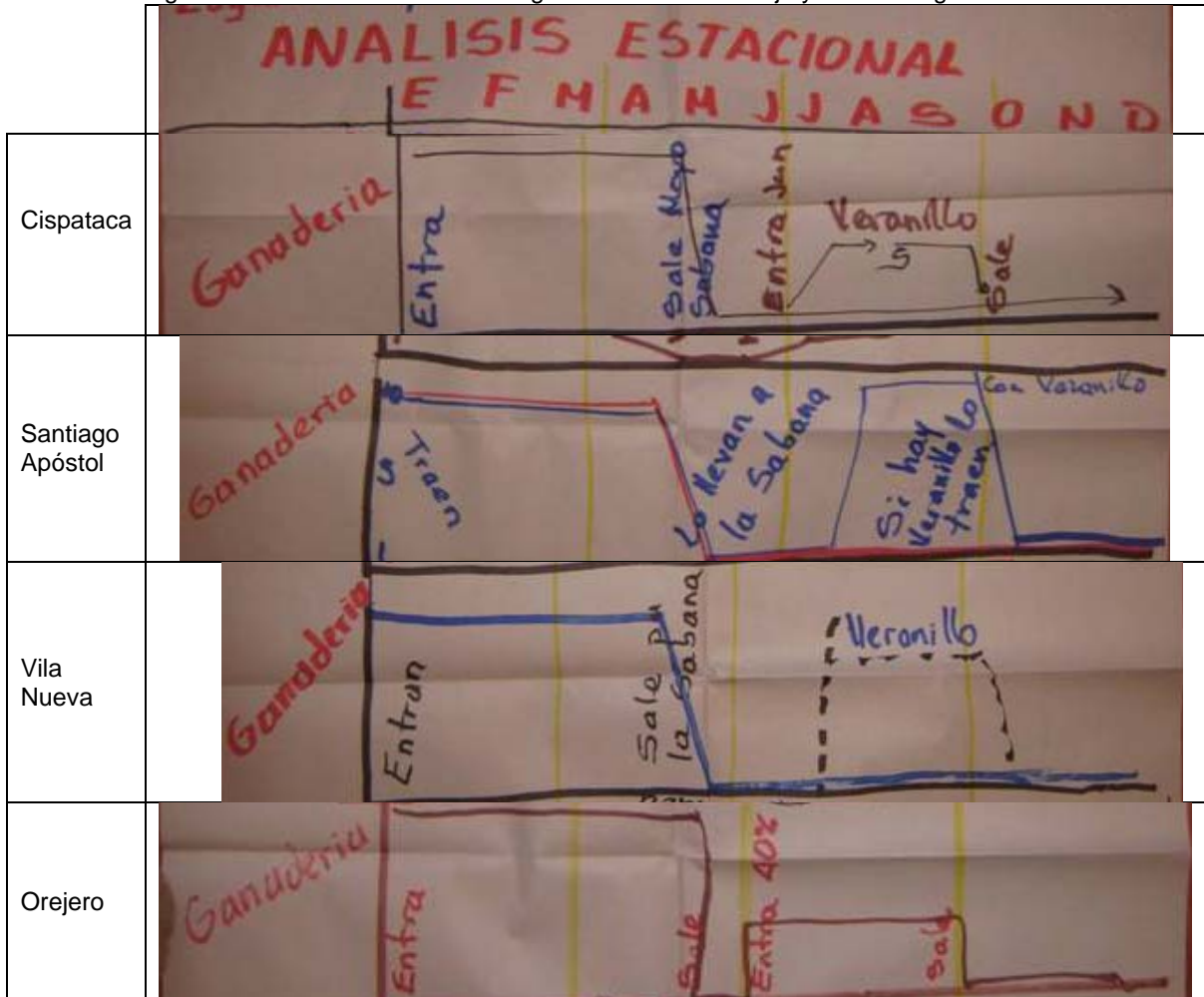
El comportamiento de la pesca a lo largo del año muestra una abundante producción concentrada en unos pocos meses, pero durante el resto del año la escasez es una constante, es decir, los pescadores requieren complementar su actividad con agricultura o jornales durante el resto del año (Marzo a Septiembre) aprovechando las tierras desocupadas por las aguas y esperando que las crecientes no sean muy intensas para sacarles el mayor beneficio posible.

La ganadería a través del ciclo hidrológico

Entre enero y mayo, ingresa a La Mojana ganado proveniente del Cesar y del norte de la Costa Caribe en busca de pastos frescos y abundantes producto de la reciente inundación, este hecho es denominado trashumancia ganadera. En mayo, cuando el nivel de las ciénagas empieza a aumentar, el ganado es llevado de regreso hacia las sabanas, de esta manera se garantiza alimento y agua durante todo el año.

En los años en que se presenta el veranillo de San Juan, parte del hato ganadero es llevado nuevamente a las tierras bajas de La Mojana por un período de hasta tres meses entre julio y septiembre. En la Figura No 7.20 se muestra la dinámica del hato ganadero en La Mojana y el San Jorge, la cual fue construida con el análisis estacional.

Figura No 7.20. Dinámica del hato ganadero en La Monaja y el San Jorge



La agricultura a través del ciclo hidrológico

Para entender la correspondencia entre la agricultura y el ciclo hidrológico en la región, el análisis se concentra en los dos cultivos principales, el arroz y el maíz.

El cultivo del maíz exige alta humedad en el suelo durante la primera etapa de crecimiento, posteriormente admite altas temperaturas y poca humedad en el suelo, razón por la cual resulta apropiado para cultivarse a comienzos del período seco. Por su parte, el arroz exige un suelo extremadamente húmedo, el cual debe estar inundado por la precipitación o de forma artificial, siendo un cultivo apropiado para el inicio de la temporada húmeda en La Mojana.

La siembra del maíz se realiza normalmente entre diciembre y enero para ser cosechado entre abril y mayo, sin desconocer que en algunos lugares se aprovecha el veranillo de San Juan para cultivar el maíz entre mayo y julio asumiendo un mayor riesgo por las inundaciones (ver Tabla No 7-4).

El arroz normalmente es sembrado en los meses de abril y mayo, para ser cosechado entre los meses de agosto y septiembre, de manera que el cultivo tenga gran disponibilidad de agua sin que sea arrastrado por las inundaciones o por los fuertes vientos del periodo invernal (ver Tabla No 7-4). En las zonas más altas es común que el arroz sea cultivado entre los meses de junio y noviembre.

Tabla No 7-4. Calendario agrícola en La Mojana y el San Jorge según análisis estacional

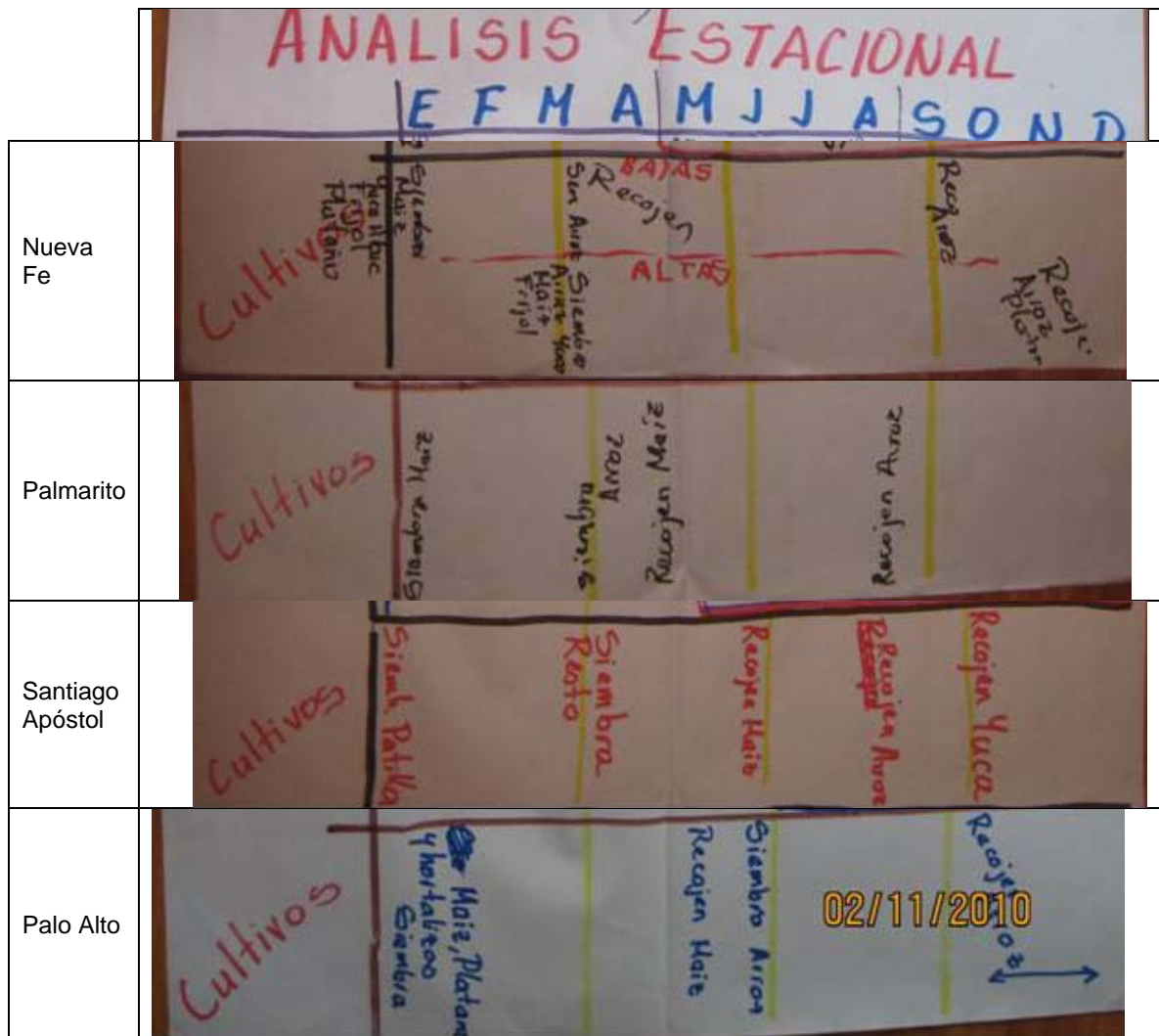
Taller o comunidad	Cultivo de maíz	Cultivo de arroz
Belén	enero - abril	junio - noviembre
Candelaria		abril - agosto
Cispataca	mayo - julio	mayo - septiembre
La Mejía	diciembre - abril	abril - agosto
El Mamón	febrero - abril	junio - noviembre
Nueva Fe	abril - junio	mayo - octubre
Palo Alto	enero - mayo	junio - octubre
Santiago Apóstol	mayo - junio	mayo - agosto
Villa Nueva	mayo - julio	mayo - septiembre
Orejero		abril - agosto
Palmarito	diciembre – mayo	abril - agosto
Mamarraya	enero - mayo	abril - septiembre

En la

Figura No 7.21 se muestran los períodos de siembra y cosecha de acuerdo a los resultados del análisis estacional.

Figura No 7.21. Períodos de siembra y cosecha en La Monaja y el San Jorge





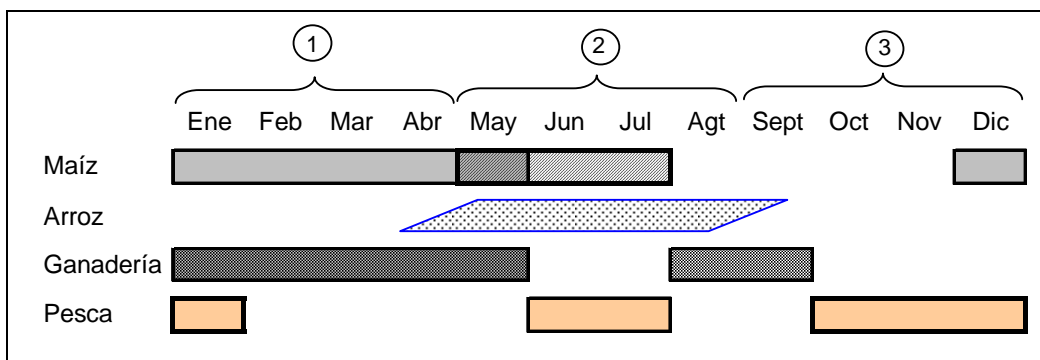
Segmentación del año según el ciclo hidrológico y las actividades productivas

De acuerdo con lo mostrado en el numeral 7.1.1.2, en el ciclo hidrológico pueden diferenciarse tres períodos con características diferentes:

- Enero – Abril. Período de aguas bajas
- Mayo – Agosto. Período de transición, inicia a subir el nivel del agua y ocasionalmente se presenta el veranillo de San Juan
- Septiembre – Diciembre. Período de aguas altas

De igual forma, el análisis de la relación entre el ciclo hidrológico y los sistemas productivos principales en la región, pesca, ganadería y agricultura, sugiere la posibilidad de segmentar el año según el ciclo productivo, para lo cual se graficaron los tiempos utilizados por cada actividad, permitiendo identificar períodos en los cuales coinciden algunas de estas actividades o períodos que sean claramente representativos para las actividades productivas (ver Figura No 7.22).

Figura No 7.22. Segmentación del ciclo productivo en La Mojana y el San Jorge



En correspondencia con este análisis se dividió el año en tres segmentos de cuatro meses cada uno, los cuales cumplen con las siguientes características:

- Enero – Abril. 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. 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. 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 está en su mejor momento.

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

Aunque la división del año propuesta, no considera actividades que se desarrollan en la transición de un período hacia otro, ni logra agrupar o recoger todas las condiciones hidrológicas locales que diferencian una región de otra, a juicio del investigador, con esta división se logra sintetizar las principales características del ciclo hidrológico y de los ciclos productivos, demostrando la sincronía entre los dos ciclos, y por ende la dependencia de estas actividades productivas al comportamiento de los ríos y ciénagas de la región.

Esta segmentación en tres períodos fue incorporada al Autómata Celular y al modelo conceptual de dinámica de usos del suelo, que se presenta en el Capítulo 8.

7.1.2 Población

De acuerdo con las encuestas, la mayoría de las familias de las veredas²¹, están conformadas por cinco o más integrantes, frecuentemente en una misma casa conviven los padres con algunos de sus hijos y sus familias, lo cual a su vez demanda mayor cantidad de ingresos y alimentos por familia (ver Tabla No 7-5). El número total de integrantes de las 69 familias encuestadas fue de 369 habitantes, de manera que en promedio las familias tienen 5,3 integrantes.

Tabla No 7-5. Tamaño de las familias en La Mojana y el San Jorge

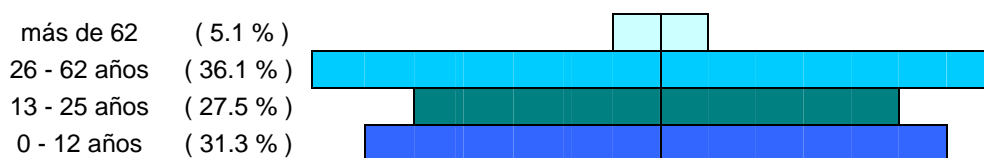
Rango integrantes por familia	1 a 4	5 a 8	> 8
No de familias	23	37	9
%	33.3	53.6	13.1

A cada persona encuestada se le indagó sobre la edad de los integrantes de su familia, a partir de esta información se construyó la Figura No 7.23 que muestra la distribución de la población por edad. De forma relevante se identificó el poco porcentaje de personas con más de 62 años

²¹ Esta información no se contrasta con cifras del DANE puesto que corresponde al nivel veredal, mientras que el DANE arroja información municipal y departamental.

(5,1%) mientras que los niños ocupan un peso importante con el 31,3% del total de la población²².

Figura No 7.23. Distribución por edad de la población en La Mojana y el San Jorge



Fotografía No 7. Niños y adolescentes de La Mojana



Con el gráfico histórico desarrollado en los talleres se encontró un continuo aumento de la población rural, coincidiendo con las cifras del DANE²³, lo cual muestra que a diferencia de otras zonas del país, en La Mojana la población rural no abandona las ocupaciones propias del campo (ver **Anexo 4**).

El alto porcentaje de niños y adolescentes y el continuo crecimiento de la población, sugieren que la población rural en la región continuara en ascenso, de manera que la presión sobre los recursos naturales será aún mayor en el futuro.

7.1.3 Acceso a servicios públicos y calidad de vida

El acceso a servicios públicos es un indicador del nivel de vida de los habitantes de cualquier región, en este caso se indagó a los encuestados sobre el servicio de acueducto, energía eléctrica, manejo de residuos sólidos, manejo de aguas residuales y combustible utilizado para cocinar.

7.1.3.1 Agua para cocinar y para beber - Acueducto

Teniendo en cuenta el ambiente rural y la existencia de abundantes fuentes de agua superficial, la pregunta sobre acceso a agua potable fue orientada específicamente al origen del agua utilizada para beber y para cocinar los alimentos (ver Tabla No 7-6).

Fotografía No 8. Transporte de agua en La Mojana - Mojana

²² Se definen los rangos de edad según características de acceso y reconocimiento del Estado a cada grupo de población, en este sentido, el DANE define que la población mayor de 12 años es población económicamente activa, la población mayor de 62 años es adulta mayor y los jóvenes hasta los 25 años tienen beneficios en cobertura del sistema de seguridad social por terceros.

²³ Según cifras y proyecciones del DANE, entre 1985 y 2010 la población creció 54% en San Marcos, 25% en Caimito, 27% en San Benito, 27% en Majagual, 25 en Sucre y 33% en Guaranda.



Fotografía No 9. Pozo de agua para consumo familiar – Palo Alto – San Jorge



En el San Jorge la mayoría de la población cuenta con acueducto, sin embargo la fuente de estos son las mismas ciénagas y los ríos aledaños que normalmente no reciben tratamiento alguno.

En La Mojana las principales fuentes de agua son las ciénagas, incluso varios manifiestan que el agua de la ciénaga sabe mejor y desconfían del agua de los pozos profundos.

En Mamarraya, a orillas del río Cauca, no hay acueducto y el agua se obtiene de la ciénaga y de agua lluvia.

Tabla No 7-6. Agua utilizada para cocinar y beber

De donde proviene el agua	MOJANA		SAN JORGE		CAUCA	
	No	%	No	%	No	%
Acueducto	5 de 11	45.5	46 de 52	88.5	0 de 6	0.0
Pozos y aljibes	2 de 11	18.2	7 de 52	13.5	0 de 6	0.0
Río o caño	0 de 11	0.0	0 de 52	0.0	2 de 6	33.3
Ciénaga	6 de 11	54.6	0 de 52	0.0	4 de 6	66.7
Lluvia	0 de 11	0.0	0 de 52	0.0	3 de 6	50.0

7.1.3.2 Energía eléctrica

El servicio de energía es generalizado en La Mojana y el San Jorge. En Mamarraya no hay servicio de energía (ver Tabla No 7-7).

Tabla No 7-7. Fuente u origen del servicio de energía eléctrica

Servicio de energía eléctrica	MOJANA		SAN JORGE		CAUCA	
	No	%	No	%	No	%
Empresa municipal	11 de 11	100.0	51 de 52	98.1	0 de 6	0.0
Planta propia	0 de 11	0.0	0 de 52	0.0	2 de 6	33.3
Ninguno	0 de 11	0.0	1 de 52	1.9	4 de 6	66.7

7.1.3.3 Manejo y disposición de residuos sólidos

En cuanto a disposición de residuos sólidos, en toda la región prima la quema de los mismos. Muy pocos los arrojan directamente a los cuerpos de agua, de otro lado, no se acostumbra a producir abono con los residuos sólidos (ver Tabla No 7-8).

Tabla No 7-8. Manejo y disposición de residuos sólidos

Manejo y disposición de residuos sólidos	MOJANA		SAN JORGE		CAUCA	
	No	%	No	%	No	%
Los deposita en la ciénaga o el río	2 de 11	18.2	0 de 52	0.0	0 de 6	0.0
Los deja al aire libre	3 de 11	27.3	17 de 52	32.7	2 de 6	33.3
Un carro de la basura los recoge	0 de 11	0.0	3 de 52	5.8	0 de 6	0.0
Los quema	8 de 11	72.7	34 de 52	65.4	3 de 6	50.0
Los entierra	0 de 11	0.0	9 de 52	17.3	2 de 6	33.3

Fotografía No 10. Enterrando los residuos sólidos en Nueva Fe – San Jorge



Fotografía No 11. Residuos sólidos a orillas del río San Jorge – El Mamón - Mojana



Fotografía No 12. Quema de residuos sólidos a orillas de la ciénaga – Santiago Apóstol



7.1.3.4 Disposición de aguas residuales

Ni siquiera en los centros poblados como Santiago Apóstol se cuenta con alcantarillado y PTAR, de manera preocupante se observa que una parte importante de la población arroja directamente a los cuerpos de agua las aguas residuales especialmente en La Mojana y Mamarraya (50%). Otra forma importante de disposición de residuos es el riego en el patio y aunque parte de las aguas se filtran en el suelo, parte de estas llegan finalmente a los cuerpos de agua. En conclusión cualquier aumento de población incidirá directamente en la calidad de los cuerpos de agua a no ser que se implementen sistemas seguros de tratamiento de agua residual (ver Tabla No 7-9).

Tabla No 7-9. Disposición de aguas residuales

Disposición de aguas residuales	MOJANA		SAN JORGE		CAUCA	
	No	%	No	%	No	%
Pozo séptico	1 de 11	9.1	6 de 52	11.5	3 de 6	50.0
Ciénaga ó río	5 de 11	45.5	12 de 52	23.1	3 de 6	50.0
Los riega o van al patio	5 de 11	45.5	30 de 52	57.7	0 de 6	0.0
A una zanja	3 de 11	27.3	12 de 52	23.1	1 de 6	16.7
Van a la calle	0 de 11	0.0	3 de 52	5.8	0 de 6	0.0

7.1.3.5 Combustible utilizado para cocinar

En toda la región el principal combustible para cocinar es la leña, que se reconoce cada día como más escasa. Se puede afirmar que ante el difícil acceso al gas propano (por costo y transporte) el consumo de leña no disminuirá y continuará la sobre explotación del bosque para este fin (ver Tabla No 7-10).

Tabla No 7-10. Combustible utilizado para cocinar

Disposición de aguas residuales	MOJANA		SAN JORGE		CAUCA	
	No	%	No	%	No	%
Gas	1 de 11	9.1	6 de 52	11.5	3 de 6	50.0
Gasolina	5 de 11	45.5	12 de 52	23.1	3 de 6	50.0
Leña	5 de 11	45.5	30 de 52	57.7	0 de 6	0.0

En la región del San Jorge el transporte terrestre tiene mayor importancia respecto a las otras dos regiones, así, se podría pensar que el mejoramiento de las vías de comunicación podría incidir positivamente en el consumo de gas propano.

Al contrastar el acceso a servicios públicos en las veredas analizadas con las cifras oficiales, se encuentra que en La Mojana hay precarias condiciones en los servicios públicos básicos de la vivienda especialmente en el sector rural, situación que coincide con lo encontrado en este trabajo (ver Tabla No 7-11).

Tabla No 7-11. Cobertura de servicios públicos en La Mojana

Servicios	Cabecera	Rural
Acueducto	80% - 90%	40% - 60%
Alcantarillado	40%	No hay
Aseo	37%	No hay

Fuente: Aguilar, 2004

Probablemente las dificultades de la población para acceder a servicios básicos incide en las condiciones de salud, pues Aguilar (2004) reporta que en La Mojana la tasa de mortalidad infantil es muy superior con respecto al promedio nacional, y las enfermedades más comunes son diarrea aguda (EDA) y la infección respiratoria aguda (IRA), asociadas a deficiencias en los servicios de agua potable, alcantarillado y aseo.

Tabla No 7-12. Mortalidad infantil (tasa x 1.000 nacidos vivos) en La Mojana

	1993
Colombia	34
La Mojana	80
Sucre	30

Fuente: Aguilar, 2004

Las precarias condiciones de vida fueron verificadas con información secundaria del Banco de la República. Las cifras sobre calidad de vida muestran la condición de pobreza y marginalidad de la mayor parte de la población (Aguilar, 2004), el índice de necesidades básicas insatisfechas es más alto que el promedio nacional e incluso que el promedio del departamento de Sucre, la población en situación de miseria alcanza el 57%, y el índice de calidad de vida (ICV) es de solo el 45%. Esto coincide con lo encontrado en las veredas analizadas.

Tabla No 7-13. Pobreza y NBI en La Mojana (1993)

	NBI (%)	Miseria (%)
Colombia	60	30
La Mojana	85	57
Sucre	80	48

Fuente: Aguilar, 2004

7.1.4 Ocupación y actividades productivas

7.1.4.1 Economía mixta de subsistencia

La región de La Mojana y el San Jorge ha sido reconocida históricamente por su producción pesquera, ganadera y arrocera, tres actividades que en la cotidianidad de sus pobladores se complementan en un entorno de marginalidad y pobreza para constituir una economía mixta de subsistencia.

Efectivamente la pesca y la agricultura son las principales actividades productivas de la región, o por lo menos de los pequeños y medianos campesinos (ver Tabla No 7-14), sin embargo para menos del 10% de las personas encuestadas representan su única fuente de ingresos (ver Tabla No 7-15), puesto que dependiendo de la época del año desarrollan actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras o se emplean como jornaleros de manera complementaria, incluso las mujeres dedicadas principalmente al hogar constituyen un apoyo fundamental en el arreglo y comercialización del pescado, en la agricultura y cuidado de los animales.

Tabla No 7-14. Principales actividades productivas en La Mojana y el San Jorge

Actividad	Pesca	Agricultura	Hogar	Otro	Comercio
No	30	18	15	6	1
%	43.5	26.1	21.7	8.7	1.5

Fotografía No 13. Mujeres del Orejero - Mojana

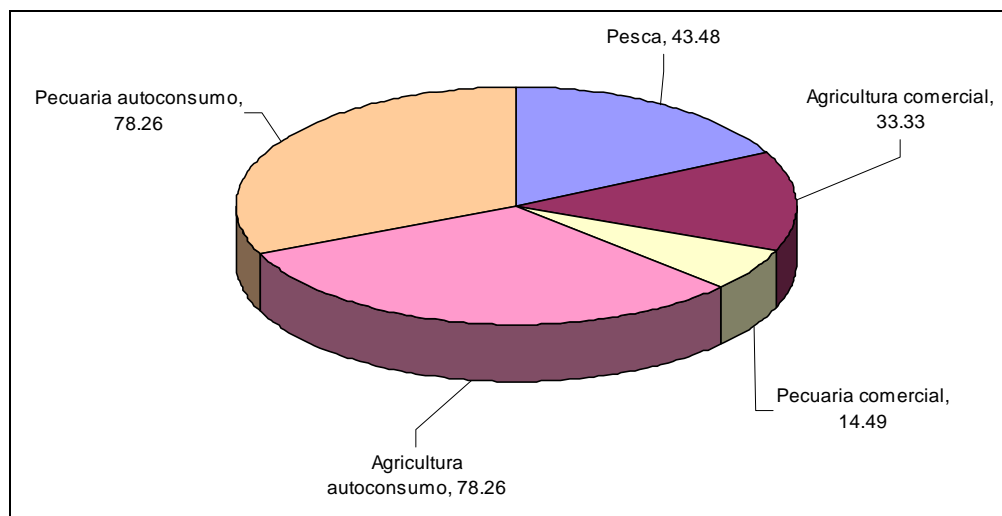


Tabla No 7-15. Personas dedicadas a una sola actividad económica en La Monaja y el San Jorge

Actividad	Pesca únicamente	Agricultura únicamente	Hogar únicamente	Otra actividad únicamente
No	2 de 30	2 de 18	2 de 15	1 de 6
%	6.7	11.1	13.3	16.7

De acuerdo con la Figura No 7.22, 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. Esta condición es confirmada con el perfil productivo desarrollado en los talleres (ver **Anexo 4**).

Figura No 7.24. Actividades productivas con fines comerciales y de autoconsumo en La Mojana y el San Jorge



En la Figura No 7.24 se aprecia que agricultura y producción pecuaria de autoconsumo es desarrollada por cerca del 80% de la población campesina²⁴, adicionalmente es necesario considerar que para los pescadores la pesca no solo representa el sustento de sus familias sino parte fundamental de su alimentación. De igual forma solo el 33,3% de los encuestados tienen la capacidad para producir excedentes de alimentos para comercializar y el 14,5% reporta ingresos provenientes de la producción pecuaria.

7.1.4.2 Producción agrícola para autoconsumo

Los valores mostrados en la Tabla No 7-14 corresponden a la actividad principal que desarrolla cada uno de los encuestados, sin embargo el 78,2% de toda la población tiene agricultura de autoconsumo (ver Figura No 7.24). En la Tabla No 7-16 se muestra la proporción de personas que ejercen la agricultura de autoconsumo como complemento a su actividad principal²⁵, de manera que más del 70% de las personas dedicadas a la pesca, el hogar u otras actividades como el comercio, la albañilería o la modistería, tienen cultivos para autoconsumo, y casi todos los agricultores (94,4%) dedican parte de sus tierras para cultivos destinados al consumo familiar, de hecho es una práctica común almacenar parte de la cosecha de arroz para el alimento de sus familias durante el resto del año.

Tabla No 7-16. Personas que practican la agricultura de autoconsumo como complemento de su actividad principal

Actividad	Pesca	Agricultura	Hogar	Otro
No	22 de 30	17 de 18	11 de 15	4 de 6
%	73.3	94.4	73.3	66.7

Fotografía No 14. Pequeño cultivo de yuca en el patio de la casa – Palo Alto, San Jorge

²⁴ La proporción de personas dedicadas a actividades con fines comerciales esta expresada en porcentaje, y es calculada respecto a las 69 personas encuestadas. La suma de porcentajes es superior a 100 puesto que la mayoría de la población complementa estas labores.

²⁵ El porcentaje mostrado en la Tabla 7-8 es calculado respecto del número de personas por actividad principal.