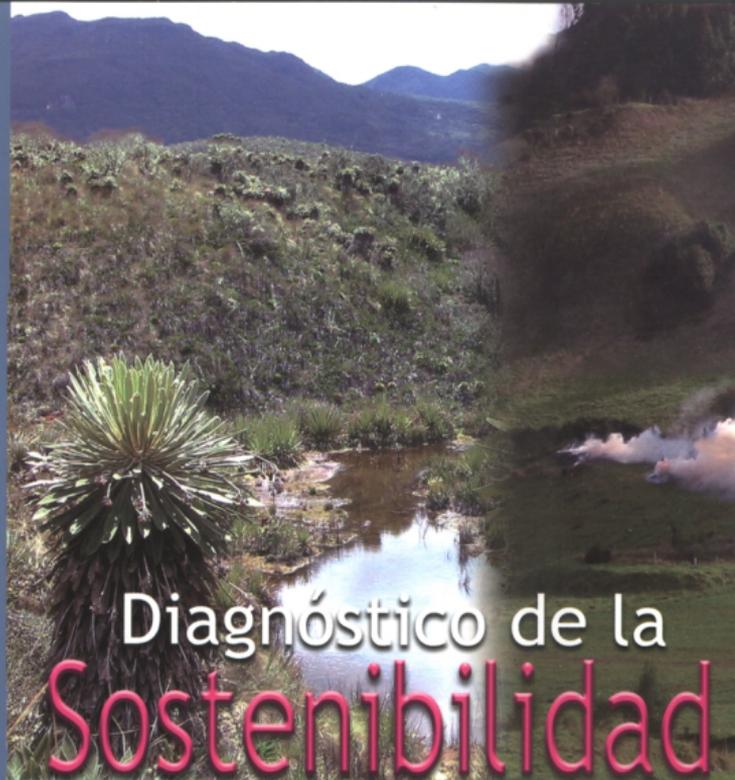


Beatriz  
Elena  
Alzate  
Atehortúa

IDEAS  
11



INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEA  
Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo - PMAD



Diagnóstico de la  
**Sostenibilidad**  
**Ambiental**

Bajo un enfoque sistémico de las  
interrelaciones sociedad-naturaleza



# Diagnóstico de la Sostenibilidad Ambiental

Bajo un enfoque sistémico de las interrelaciones sociedad-naturaleza

Base teórico-metodológica y aplicación a través de Indicadores Sistémicos Ambientales - ISA  
espaciales o de tercera generación

BEATRIZ ELENA ALZATE ATEHORTÚA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA  
SEDE BOGOTÁ

INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEA  
Programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo PMAD

**Beatriz Elena Alzate Atehortúa** es profesora adscrita al departamento de Geografía de la Facultad de Ciencias humanas en la Universidad Nacional de Colombia. Obtuvo su grado de geóloga y un Magíster en Ciencias del Instituto de Prospección Geológica de Moscú (MGRI). Realizó dos especializaciones. Una en Sistemas de información Geográfica (SIG) en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y otra en percepción remota en el centro de investigaciones CIAF del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. En el año 2006 culminó su Magíster en medio ambiente y desarrollo, dentro del cual realizó el trabajo de investigación que se publica

en este libro. Ha explorado en campos como la tecnología de los SIG y sus perspectivas sociales y científicas, al igual que su desarrollo en la era digital y en el contexto de la sociedad de la información. En los últimos años realizó varias investigaciones mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección, en campos relacionados con la gestión ambiental y análisis y manejo del territorio bajo perspectivas geográficas. Sus más recientes temas de investigación se han centrado en el análisis integral de tópicos relacionados con las dinámicas de transformación ambiental que afectan la sostenibilidad ambiental.

El autor agradece el envío de sus comentarios, sugerencias o inquietudes al correo [bealzatea@unal.edu.co](mailto:bealzatea@unal.edu.co).

Beatriz Elena Alzate Atehortúa, profesora asistente, Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas  
Universidad Nacional de Colombia

Este libro es el resultado de la investigación realizada dentro del programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo del IDEA.  
La investigación fue dirigida por la profesora Nohra León Rodríguez, PHD.

ISBN 978-958-701-856-1  
1a edición, Abril de 2008  
IDEA - Universidad Nacional de Colombia

Edición y Diagramación: *Olga Cecilia Parías López*  
Diseño Gráfico: *Édgar E. Rivas Ortiz*  
Corrección de estilo: *Jesús Villamizar*

Universidad Nacional de Colombia  
Instituto de Estudios Ambientales - IDEA  
Cra. 50 No.27-70 Bogotá  
Teléfonos: 316 5085 - 316 5000, ext 10565/ 10563  
Fax: 316 5205  
Correo electrónico: [maema\\_bog@unal.edu.co](mailto:maema_bog@unal.edu.co)

A ti esposito, con la convicción que “el fuego del amor  
es una llama que Dios mismo ha encendido!.  
¡No hay mares que puedan apagarlo,  
ni ríos que puedan extinguirlo!”



# Contenido

Prólogo .....	11	1.6.3 Aproximaciones globales para la construcción de indicadores... 29	
Prefacio .....	13	1.6.3.1 Aproximación Presión-Estado-Respuesta .....	29
Reconocimientos .....	15	1.6.3.2 La aproximación mejorada P-E-R del NCCR .....	29
		1.6.3.3 Aproximación mejorada de síndrome .....	30
		1.7 Sostenibilidad ambiental más allá de límites disciplinares y escalares .....	30
		1.7.1 Transdisciplinariedad y teoría de sistemas .....	30
		1.7.2 Integración de los enfoques idiográfico y nomotético en la investigación.....	31
<b>1 Marco teórico y conceptual para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental .....</b>	<b>17</b>	<b>2 Un esquema metodológico para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental .....</b>	<b>33</b>
1.1 La interacción sociedad-naturaleza y algunos enfoques de su concepción.....	17	2.1 Esquema metodológico general.....	33
1.2 Enfoques pesimista y optimista del desarrollo de la interacción sociedad-naturaleza .....	18	2.2 Síndromes como indicadores de sostenibilidad ambiental .....	34
1.3 Interacción sociedad-naturaleza y cambio global (CG) .....	19	2.3 Desarrollo metodológico por etapas .....	34
1.4 La sostenibilidad ambiental y el sistema sociedad-naturaleza ...	20	2.3.1 Mapa conceptual de interrelaciones sociedad-naturaleza: la integración horizontal.....	34
1.4.1 Enfoque sistémico.....	20	2.3.1.1 Determinación de síntomas (tendencias) derivados de la transformación ambiental .....	34
1.4.2 Sostenibilidad ambiental dentro del sistema de desarrollo sostenible.....	20	2.3.1.2 Primeras hipótesis sobre las conexiones sistémicas.....	34
1.4.3 El sujeto de la sostenibilidad .....	22	2.3.1.3 Asignación de síntomas a determinados síndromes .....	34
1.4.4 Aspectos relevantes de la investigación sobre desarrollo sostenible.....	22	2.3.1.4 Diseño de las redes de interrelaciones a una mesoescala funcional sistémica .....	35
1.5 Síndromes: la red sistémica de vínculos para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental.....	23	2.3.2 Ordenación y levantamiento de la información ambiental .....	35
1.5.1 Teoría sobre síndromes de sostenibilidad.....	23	2.3.3 Caracterización y evaluación de tendencias y sus interrelaciones dentro de un síndrome .....	35
1.5.1.1 Síndromes y condición operativa de la noción de sostenibilidad ambiental .....	23	2.3.3.1 Las cualidades de la transformación ambiental - ISA espaciales descriptivos.....	36
1.5.1.2 Síndromes de CG identificados por el WBGU .....	24	2.3.3.2 Disposición al síndrome e intensidad de síndrome activo - ISA espaciales analíticos .....	36
1.5.1.3 Identificación y caracterización de problemas ambientales. Enfoque de síndrome.....	24	2.3.3.3 Análisis temporal de los procesos de transformación - ISA espaciales de dinámica .....	37
1.5.2 El concepto de síndrome y sus elementos .....	25	2.3.4 Diseño de la investigación para la mitigación de Patrones Sistémicos Peligrosos: la integración vertical.....	37
1.5.2.1 Síntomas (o tendencias) .....	25		
1.5.2.2 Interacciones .....	26		
1.5.2.3 Patrones funcionales de la transformación ambiental .....	26		
1.6 Indicadores de sostenibilidad ambiental (IDSA) y aproxima- ciones al diagnóstico de las transformaciones ambientales.....	27		
1.6.1 Generaciones de indicadores de desarrollo sostenible - IDS .....	28		
1.6.2 Clasificación jerárquica de indicadores .....	28		

2.4	Fuentes de información .....	37	3.2.6	Ordenación y levantamiento de la información ambiental .....	69
2.5	Calidad de datos y de información obtenida.....	38	3.2.7	Caracterización y evaluación de las interrelaciones sociedad-naturaleza a través de ISA espaciales.....	70
2.6	Métodos de integración y análisis espacial .....	38	3.2.7.1	Las cualidades de la transformación ambiental - ISA espaciales descriptivos.....	70
2.6.1	La integración de lo cualitativo y cuantitativo.....	38	3.2.7.2	Disposición al síndrome de sobreutilización de suelos marginales - ISA espaciales analíticos.....	70
2.6.1.1	Lógica difusa.....	39	3.2.7.3	Intensidad del síndrome por veredas - ISA espaciales analíticos y dinámicos.....	89
2.6.1.2	Ecuaciones cualitativas diferenciales.....	40	3.2.7.4	Ubicación de sitios con actividad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales .....	90
2.6.2	Modelos de información espacial.....	40	3.2.7.5	Validez de los indicadores de disposición e intensidad .....	90
			3.2.7.6	Análisis multitemporal de los procesos de transformación de coberturas vegetales - ISA espaciales de dinámica .....	96
<b>3</b>	<b>Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental a través de ISA espaciales o de tercera generación.....</b>	<b>43</b>	<b>4</b>	<b>Interpretación de ISA espaciales y cotejo con indicadores de primera y segunda generación .....</b>	<b>103</b>
3.1	Fundamentos y consideraciones para el desarrollo de isa espaciales .....	43	4.1	Antecedentes sobre indicadores de sostenibilidad ambiental - IDSA .....	103
3.2	Estudio de caso páramo de Guerrero.....	44	4.2	Las tres generaciones de IDSA y cómo están relacionadas .....	107
3.2.1	Marco contextual .....	44	4.3	Pertinencia del acercamiento sistémico para la generación de IDSA.....	107
3.2.2	Síntomas (tendencias) de la transformación ambiental en el páramo de Guerrero .....	45	4.4	Isa espaciales construidos y su interpretación .....	107
3.2.3	Primeras hipótesis de interconexiones sistémicas sociedad-naturaleza en el páramo de Guerrero.....	48	<b>5</b>	<b>Diseño de la investigación para la mitigación de PSP(s): la integración vertical en el enfoque de síndromes.....</b>	<b>111</b>
3.2.3.1	Síndrome de sobreutilización de suelos marginales.....	48	5.1	Diseño de la estructura básica de la red de investigación .....	111
3.2.3.2	Síndrome de degradación ambiental por explotaciones mineras .....	51	5.1.1	Grupos de problemas centrales de investigación - segundo nivel .....	111
3.2.3.3	Síndrome de inseguridad hídrica.....	51	5.1.2	Componentes de la investigación - tercer nivel.....	112
3.2.3.4	Síndrome de especies foráneas .....	53	5.1.3	Consideración de principios de integración - cuarto nivel .....	113
3.2.3.5	Síndrome de daños ambientales por construcción del embalse del Neusa.....	54	<b>6</b>	<b>Consideraciones finales.....</b>	<b>115</b>
3.2.3.6	Otros síndromes puntuales .....	55	<b>7</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>117</b>
3.2.4	Asignación de tendencias o síntomas a determinados síndromes.....	55			
3.2.5	Diseño del síndrome de sobreutilización de suelos marginales a una mesoescala funcional sistémica.....	55			
3.2.5.1	Mecanismo central del síndrome .....	59			
3.2.5.2	Subred de cambio climático .....	60			
3.2.5.3	Subred de condiciones socioeconómicas y políticas.....	61			
3.2.5.4	Subred de ciencia y tecnología.....	66			
3.2.5.5	Subred de respuesta de la población afectada .....	67			
3.2.5.6	Retroacciones positivas .....	68			

# Lista de figuras

Figura 1	Dimensión ambiental y su relación con otras dimensiones del desarrollo .....	21
Figura 2	Modelo de “barrera de quiebre” .....	23
Figura 3	Nociones sistémicas relacionadas con el concepto de síndrome .....	26
Figura 4	El enfoque P-E-R mejorado del NCCR (SARPI, 2000). .....	30
Figura 5	Combinación de los enfoques idiográfico y nomotético en una mesoescala sistémica .....	31
Figura 6	Esquema marco de la metodología aplicada .....	33
Figura 7	Esquema de aspectos teórico conceptuales y temáticos para el desarrollo de isa espaciales.....	43
Figura 8	Delimitación del área de estudio. Zona de páramo de Guerrero (Cundinamarca) .....	46
Figura 9	Síntomas (tendencias) de la transformación ambiental en el páramo de Guerrero.....	47
Figura 10	Red de interrelaciones del síndrome de sobreutilización de suelos marginales (nivel de hipótesis) .....	49
Figura 11	Red de interrelaciones para el síndrome de sobreutilización de suelos marginales a escala mesosistémica .....	58
Figura 12	Quemas en la vereda quebrada honda, detectada en el momento de la toma de la imagen satelital spot-5 (2004) .....	60
Figura 13	Ejemplos de ISA espaciales descriptivos para el páramo de Guerrero.....	71
Figura 14	Interrelaciones abordadas en el modelo de disposición al síndrome .....	71
Figura 15	Regresión lineal temperatura-altura .....	77
Figura 16	Función sigmoideal de membresía difusa para la temperatura .....	77
Figura 17	Función sigmoideal de membresía difusa para la condición alta pendiente y alta longitud.....	77
Figura 18	Membresías a categoría lingüística alta fragmentación de la tierra.....	81
Figura 19	Árbol de decisión difusa para hallar la disposición natural y socioeconómica al síndrome de sobreutilización de suelos marginales.....	83
Figura 20	Condiciones insuficientes para la producción agrícola.....	85
Figura 21	Alta disposición a la erosión .....	86
Figura 22	Alta disposición natural al síndrome .....	86
Figura 23	Alta disposición socioeconómica al síndrome .....	87
Figura 24	Alta disposición al síndrome de sobreutilización de suelos marginales.....	88
Figura 25	Procedimiento en la obtención de ISA espaciales de intensidad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales.....	91
Figura 26	Cambio promedio de la actividad agropecuario para los años 88-2004.....	92
Figura 27	Cambio promedio de la sobreutilización del suelo para el período 88-2004 .....	93
Figura 28	Cambio promedio de la marginalidad socioeconómica en el período 88-2004.....	94
Figura 29	Resultados del cambio temporal relativo e intensidad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales por veredas.....	95
Figura 30	Localización de sitios con síndrome activo dentro de la zona de estudio .....	98
Figura 31	Porcentajes de sitios con síndrome activo en valores de disposición al síndrome.....	98
Figura 32	Dinámica de procesos de recuperación de la cobertura vegetal (décadas del 40 al 2004) .....	98
Figura 33	Dinámica de intervención de páramos y bosques en el páramo de Guerrero (décadas del 40 al 2004) .....	100

# Lista de tablas

Tabla 1	Síndromes de sostenibilidad (wbgu) .....	24	Tabla 15	Costos promedio de producción de papa en Cundinamarca.....	82
Tabla 2	Asignación de síndromes del wbgu a los problemas nucleares del cg .....	25	Tabla 16	Tenencia de la tierra de las unidades productoras de papa. Departamento de Cundinamarca. Segundo semestre 2001.....	82
Tabla 3	Desventajas de los enfoques nomotético e idiográfico .....	32	Tabla 17	Alta proporción de grandes productores por vereda en páramo de Guerrero.....	82
Tabla 4	Matriz de relaciones ecosistemas dimensión económica, en el marco ordenador estado-presión-gestión .....	36	Tabla 18	Integración de variables lingüísticas para la disposición natural al síndrome de sobreutilización de suelos marginales ...	84
Tabla 5	Asignación de problemas a los síndromes identificados en páramo de Guerrero.....	56	Tabla 19	Integración de variables lingüísticas para la disposición socioeconómica al síndrome de sobreutilización de suelos marginales .....	87
Tabla 6	Variables lingüísticas de disposición natural al síndrome.....	73	Tabla 20	Integración de variables lingüísticas para la disposición final al síndrome de sobreutilización de suelos marginales.....	88
Tabla 7	Variables lingüísticas para la disposición socioeconómica del síndrome.....	74	Tabla 21	ISA espaciales para medir la intensidad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales en páramo de Guerrero .....	92
Tabla 8	Funciones de membresía de las variables para determinar el grado de inclusión a la cláusula lógica alta/baja/insuficiente x .....	75	Tabla 22	Cálculo de cambios promedio, cambio temporal relativo - tr e intensidad por vereda para el mecanismo central del síndrome de sobreutilización de suelos marginales en el período 1988-2004 .....	96
Tabla 9	Membresía del régimen de humedad del suelo para estimar la baja disponibilidad de agua .....	75	Tabla 23	Procesos de transformación y consolidación.....	99
Tabla 10	Membresía de la profundidad del suelo para estimar la condición baja de enraizamiento.....	75	Tabla 24	Estadísticas de la intensidad de los procesos de transformación y consolidación. Período 77 al 2004 .....	101
Tabla 11	Membresía del drenaje del suelo para estimar la condición de drenaje insuficiente.....	76	Tabla 25	Principales características de los marcos ordenadores de IDS. Limitaciones y bondades .....	105
Tabla 12	Membresía a baja protección del suelo por uso .....	78	Tabla 26	Tabla resumen de modelos e ISA espaciales desarrollados.....	109
Tabla 13	Alta dependencia de la actividad agropecuaria por vereda.....	79			
Tabla 14	Membresía de características del suelo y alta disposición al síndrome.....	81			

# Mapas Digitales en CD

- Mapa 1. Dinámica de uso y cobertura vegetal. Décadas 1940 - 2004*
- Mapa 2. Ubicación espacial de la transformación y consolidación. Décadas 1940 - 2004*
- Mapa 3. Intensidad de los procesos de transformación y consolidación. Décadas 1940 - 2004*
- Mapa 4. Velocidad de los procesos de transformación de la cobertura vegetal. Décadas 1940 - 2004*

# Abreviaturas

<b>DS</b>	Desarrollo sostenible
<b>ISA</b>	indicadores sistémicos ambientales
<b>IDS</b>	Indicadores de desarrollo sostenible
<b>IDSA</b>	Indicadores de sostenibilidad ambiental
<b>CG</b>	Cambio global
<b>SIG</b>	Sistemas de información geográfica
<b>DEM</b>	Modelo Digital de Elevación
<b>CDS</b>	Comisión de Desarrollo Sostenible
<b>NCCR</b>	Swiss National Centre of Competence in Research
<b>WBGU</b>	Consejo Consultivo Alemán sobre el cambio global
<b>PIK</b>	Potsdam Institute for Climate Impact Research
<b>QUESTIONS</b>	Qualitative Dynamics of Syndromes and Transition to Sustainability
<b>PR</b>	Percepción Remota
<b>SCOPE</b>	Scientific Committee on Problems of the Environment of ICSU (International Council of Scientific Unions)
<b>TARGETS</b>	Tool to Assess Regional and Global Environmental and Health Targets for Sustainability
<b>SARPI</b>	Swiss Association of Research Partnership Institutions
<b>PSP(s)</b>	Patrones sistémicos peligrosos
<b>UPP</b>	Unidades productoras de papa
<b>CIAT</b>	Centro internacional de agricultura tropical
<b>PNUMA</b>	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>IBES</b>	Índice del Bienestar Económico y Social
<b>LPI</b>	Índice de Propiedades de Hogar
<b>ISA</b>	Índice de Sustentabilidad ambiental
<b>TIG</b>	Tecnologías de la información geográfica





# Prólogo

El interesante trabajo elaborado por la profesora Beatriz Alzate bajo el título: “Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental bajo un enfoque sistémico de las interrelaciones sociedad-naturaleza. Base teórico-metodológica y aplicación a través de indicadores sistémicos ambientales –ISA espaciales o de tercera generación”, es una invitación para los académicos e interesados en la economía ecológica a propósito de la sostenibilidad ambiental. Varios elementos convergen en las discusiones de los estudiosos del tema: de un lado, las hipótesis formuladas por quienes consideran la ambigüedad del término<sup>1</sup> y en segundo lugar la reciente preocupación por su re-conocimiento en los debates del desarrollo desde una perspectiva de orden global, la cual considera que dicho sistema se configura por las interacciones entre sistemas humanos y naturales; lo cual implica nuevas visiones, enfoques, teorías, métodos y percepciones que dan lugar a cambios para re-dimensionar la realidad compleja de las relaciones sociedad-naturaleza. En este marco, se requieren nuevos abordajes para contextualizar la sostenibilidad y el desarrollo integral humano. Siguiendo a Jiménez Herrero e Higón (2003.p.39-41), conviene precisar nuevos modos de ver, pensar, conocer, interpretar y actuar a través de:

1. Una visión global, holística que permita ver por qué el conjunto puede ser más o menos la suma de los elementos; que se adentre en las profundidades de la relación sociedad-naturaleza en su complejidad, en su totalidad y en su dinámica propia.
2. Un enfoque integral sistémico que sea capaz de superar el análisis fragmentario y que en consecuencia desentrañe las interdependencias entre sistemas y subsistemas.
3. Una conciencia de la complejidad y la coevolución de los sistemas para adentrarse en el universo invisible de la complejidad sociedad-medio ambiente. Una aproximación que fomente propuestas favorables al desarrollo, donde

las actividades humanas y económicas puedan contribuir simultáneamente al bienestar social y a reforzar la capacidad ecológica de los sistemas que soportan la vida.

4. Una metodología interdisciplinaria que marque el camino hacia la construcción de una ciencia global, conjugando los procesos ambientales y humanos en diferentes escalas intertemporales, propiciando el diálogo de saberes.
5. Una percepción holográfica de las relaciones sistémicas que ayude a percibir la forma multilineal de las relaciones del sistema económico y los sistemas ecológicos en sus múltiples niveles y funciones; en otras palabras la comprensión de las relaciones sistémicas a través de flujos de materia, energía e información.

En este contexto la presente obra entrega tres grandes aportes a saber:

En primera instancia y ante las fuertes restricciones en la generación de indicadores, obtiene o construye indicadores sistémicos, ambientales espaciales o de tercera generación, los cuales incluyen características que parten de la complejidad sistémica entre sociedad y naturaleza o segunda naturaleza, como diría Milton Santos.

Pero el objetivo de la profesora Beatriz va más allá de lo meramente instrumental, al partir de una fina disertación teórica sobre la sostenibilidad ambiental, logrando superar viejos discursos, rompiendo los límites disciplinares, temporales y escalares que se encuentran en trabajos que de esta naturaleza le han precedido<sup>2</sup>. El aplicar todo este bagaje teórico-metodológico para la obtención de los ISA espaciales o de tercera generación al páramo de Guerrero, le permitió entregar 40 indicadores sistémicos que expresan las diversas y complejas interacciones sociedad-naturaleza que caracterizan

---

<sup>1</sup> En este sentido Serafy El (1994.p.108) plantea que .."la búsqueda de un significado preciso de sostenibilidad se ha mantenido como algo vago, y ahora hay una conciencia creciente de que para propósitos prácticos la sostenibilidad debería percibirse solamente en términos aproximados".

---

<sup>2</sup> Como diría Bejarano al referir el papel de la economía ecológica, estos interrogantes de magnitud y de escala, sólo ahora se están comenzando a formular. (Bejarano, 1998).

recientemente este espacio. Sin duda, se puede afirmar que en este sentido se trata de un trabajo pionero en el diseño e implementación de la metodología de ISA a una realidad compleja y de enorme significación dentro de los ecosistemas estratégicos de Colombia. En consecuencia la bondad de este instrumento se encuentra no sólo en la identificación de las complejas tendencias insostenibles de la transformación ambiental, sino que también las evalúa.

En este marco, sus aportes además de la apuesta teórica, lo configuran los métodos de integración de lo cualitativo y lo cuantitativo utilizados en el proceso investigativo como la lógica difusa, las ecuaciones diferenciales, cualitativas y las diversas relaciones espaciales funcionales, expresadas en el manejo de herramientas tan relevantes como el SIG, el procesamiento de imágenes fotográficas y satelitales. En este sentido dichos instrumentos, además de abrir nuevos caminos con la utilización de tecnologías de punta, le confieren nuevos y sólidos argumentos que intentan viabilizar salidas a viejos problemas que caracterizan estos espacios tan dinámicos, pero tan complejos a la hora de definir la condición operativa de su sostenibilidad ambiental: los vacíos y restricciones para resolver las asimetrías informacionales, sin pretensiones distintas que las de brindar una contribución al dispendioso trabajo que aún le espera a la investigación, la ciencia y la técnica en procura de una relación más armónica entre la sociedad y la naturaleza.

Pero quizás lo más plausible del trabajo realizado por la profesora Alzate está referido a los resultados, los cuales se convierten en insumos para quienes tienen en sus manos el diseño e implementación de políticas públicas ambientales y de ordenamiento territorial, pero por sobre todo son relevantes para las comunidades que diariamente construyen territorio y quienes de alguna manera hicieron parte de este proceso.

Finalmente y como lo planteara el profesor Bermejo en sus profundas reflexiones: “la quiebra del paradigma dominante abre la vía para la creación

de otro, acorde con la gran transición [....]. No somos dueños de la naturaleza, sino tutores, administradores, regentes o simplemente huéspedes [....] no somos una especie superior y aparte, sino una especie más dentro de la red de la vida. Esta visión nos vuelve a colocar donde hemos estado siempre, dentro de la naturaleza, y determina las características de una economía sostenible. Al ser la especie humana parte de la naturaleza, la economía humana no puede ser más que un subsistema de la economía general de los materiales y la energía que es el componente no vivo de la ecología. Y el principio de la jerarquía natural determina que el subsistema no puede transgredir las normas del sistema, así que sólo será sostenible cuando imite la naturaleza” (Bermejo, 2005). En este sentido la perspectiva de la sostenibilidad ambiental<sup>3</sup> reclama una nueva cultura del ser, del estar y del producir-consumir, en un horizonte de largo plazo. He aquí el reto que espera a futuros trabajos de nuestros docentes y a las nuevas promociones de académicos en formación en nuestra alma Mater.

Nohra León Rodríguez

Docente-Investigadora Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

- Bermejo Roberto. 2005. La gran transición hacia la sostenibilidad. Principios y estrategias de economía sostenible. Catarata. Madrid.
- Jiménez Herrero y Francisco Higón. 2003. Ecología y economía para el desarrollo sostenible.
- Serafy, El, S. 1994. Sostenibilidad, medida del ingreso y crecimiento. En: Robert Goodland, Herman E. Daly. Desarrollo económico sostenible. Avances sobre el informe de Brundtland. Tercer Mundo Editores. P. 108.

---

<sup>3</sup> No se puede entender la dimensión, la protección del entorno natural, separada de los factores económicos y sociales que lo están deteriorando.

# Prefacio

Este libro es un aporte al logro de la condición operativa de la sostenibilidad ambiental, a través de la implementación de indicadores, soportados en un marco teórico congruente con el enfoque sistémico, esencial para el abordaje de las interrelaciones complejas, sostenibles o no sostenibles entre la sociedad y la naturaleza.

El desarrollo de indicadores es profuso en el ámbito mundial pero, frecuentemente, ellos carecen de un andamiaje teórico y conceptual pertinente, lo cual conduce a su generación aislada y por fuera de interacciones. Los indicadores sistémicos ambientales, ISA espaciales o de tercera generación propuestos aquí, incluyen características sistémicas como complejidad, dinamismo, potencial de desarrollo, grado de conexión y retroacción, los cuales parten de considerar la red compleja sistémica de vínculos sociedad-naturaleza y de los caminos hacia los cuales conduce su coexistencia consonante o inconsonante.

A lo largo de los diversos capítulos del libro se busca rescatar el carácter sinérgico y vinculante de las dimensiones donde tienen lugar los conjuntos específicos de patrones de interacciones sociedad-naturaleza, percibidos como peligrosos por el posible deterioro de lo social y/o económico y/o físico-biológico que ellos pueden acarrear. Esto es abordado a través del concepto de síndromes de sostenibilidad ambiental, soporte básico para el diseño de indicadores sistémicos. Bajo esta noción se toma en cuenta que las interacciones del sistema van más allá de límites disciplinares, de sectores, del medio ambiente y de escalas temporales y espaciales. Por ello, el enfoque adoptado es funcionalmente agregado y combina diversas disciplinas y escalas.

Existen en Colombia regiones como la del páramo de Guerrero, en las cuales se hace aun más perentorio el análisis de su sostenibilidad ambiental, si se considera la fragilidad de los ecosistemas allí presentes y su deterioro, frente a la transformación histórica que ellos han sufrido por ser estratégicos en el aprovisionamiento de bienes y servicios ambientales. Esta es la zona en la que se llevó a cabo la aplicación de los conceptos y métodos propuestos.

En el libro se presenta la construcción teórica y conceptual que sirvió de fundamento y referencia al desarrollo de indicadores sistémicos ambientales,

denominados de tercera generación. Además se muestra la consolidación de una metodología para la conceptualización y el diseño de dichos indicadores y su aplicación en la zona del páramo de Guerrero-Cundinamarca. Se obtuvieron aproximadamente 40 indicadores sistémicos del tipo descriptivo, analítico y de dinámica que caracterizaron el sistema de interacciones sociedad-naturaleza de esa zona, usando métodos de integración como la lógica difusa, las ecuaciones diferenciales cualitativas y diversas relaciones espaciales funcionales, materializadas a través de software SIG (sistemas de información geográfica) y de procesamiento de imágenes fotográficas y satelitales.

Algunos argumentos dan validez a la labor que se ejecutó y que se describe en el presente libro. Ellos son:

1. El logro de la condición operativa de los caminos de sostenibilidad ambiental, hacia la toma de decisiones para una mitigación de los desarrollos no sostenibles de la interacción sociedad-naturaleza.
2. La propuesta de métodos científicos para alcanzar esta condición operativa de la sostenibilidad ambiental, bajo el enfoque sistémico, incluyendo características de funcionalidad y dinámica y el abordaje transdisciplinario de los tópicos ambientales.
3. Se vio la posibilidad de abordar integralmente dos enfoques que frecuentemente entran en dicotomía: el idiográfico y nomotético, exaltando la importancia que cobra el analizar este tipo de problemáticas bajo diversas perspectivas, con gran flexibilidad tanto de escalas sistémicas como de representaciones espaciales y temporales. También es de destacar la utilización conjunta de métodos cuantitativos y cualitativos de valoración de interrelaciones sistémicas.
4. Propició algunas bases para el diseño y organización de la investigación de los tópicos ambientales relevantes para la sostenibilidad ambiental en una zona de interés.

El libro consta de cuatro partes principales:

En la primera de ellas se desarrolla el andamiaje teórico y conceptual necesario para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental, donde se analizan aspectos sobre la interacción sociedad-naturaleza y los enfoques de su concepción. Se muestra la importancia que tiene el tema para el cambio global y se despliega la relación estrecha existente entre la sostenibilidad ambiental y el sistema sociedad-naturaleza. También se presenta la noción de síndrome como la red sistémica de vínculos que mapean la sostenibilidad ambiental y la evolución de las aproximaciones para el desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental. Todo lo anterior permite destacar la importancia de abordar esta sostenibilidad, más allá de límites disciplinares y escalares.

En la segunda parte se desarrolló el esquema metodológico para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental a través de ISA espaciales o de tercera generación. En pasos organizados se discernió inicialmente el sistema dinámico y funcional de interrelaciones sociedad-naturaleza, para posteriormente desarrollar los indicadores de sostenibilidad ambiental, que condujeron, junto con otras consideraciones, hasta los pasos preliminares de acción para mitigar síndromes. Se desarrolló un proceso de identificación y análisis de síndromes que integra el nivel macro (teorías globales, conocimiento general del sistema) con el nivel micro (perspectiva local) en un meso nivel o mesoescala sistémica agregada.

Se plantearon métodos cualitativos y cuantitativos de análisis, cuya integración involucró conceptos de escala sistémica y de representación espacial y temporal. También se presentaron diversas técnicas de recolección de información y de diseño e implementación de los ISA espaciales. Entre ellos se cuentan técnicas de teledetección, modelamiento con Sistemas de Información Geográfica (SIG), empleo de lógica difusa y de conjuntos difusos y algunos algoritmos de análisis de dinámica (como las ecuaciones diferenciales cualitativas).

En la tercera parte se lleva a cabo la aplicación del diagnóstico de la sostenibilidad ambiental a través de ISA espaciales o de tercera generación en la región de páramo de Guerrero. Allí se desarrolló todo el esquema teórico-metodológico construido y presentado en las dos partes anteriores y se obtuvieron los ISA espaciales de diversos tipos (descriptivos, analíticos y dinámicos). También se llevó a cabo una interpretación de esos ISA espaciales generados y se cotejaron los últimos con los indicadores de primera y segunda generación, hacia la argumentación de la pertinencia del acercamiento sistémico, de los instrumentos, métodos y técnicas empleados.

En una cuarta parte se presenta el diseño de la investigación para la mitigación de los patrones sistémicos peligrosos detectados a partir de la interacción sociedad-naturaleza, los cuales corresponden a la integración vertical en la noción de síndrome. Esto se realiza a través de la estructuración de la red de investigación.

Dos anexos complementan algunos aspectos del libro. Ellos son el de técnicas de SIG y Percepción Remota y el de vuelos fotográficos e imágenes satelitales empleadas en las diversas tareas abordadas. En CD, se presentan cuatro mapas que ilustran algunos de los ISA espaciales obtenidos, que dan cuenta de la distribución y estados de las variables que son definitivas en el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental.

Se aclara que las representaciones gráficas espaciales de indicadores sistémicos ambientales y otros elementos de la transformación ambiental presentados dentro del texto no son mapas y, como tal, no cumplen con reglas cartográficas. Estas figuras son ilustrativas de los conceptos presentados. Los mapas digitales presentados en el CD sí cumplen con dichas reglas.



# Reconocimientos

Este libro es el resultado de un trabajo de investigación que se inicia en el marco de la maestría que realicé en el campo del saber sobre Medio Ambiente y Desarrollo, en el Instituto de Estudios Ambientales – IDEA de la Universidad Nacional de Colombia. Gracias a los dos años que pude dedicar a la investigación se desarrolló la tesis “Indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación en la gestión ambiental sistémica. Caso páramo de Guerrero. Cundinamarca”. Dicha tesis recibió el reconocimiento de laureada, por lo cual se me dio la oportunidad de publicar el trabajo. Después de varias ediciones, de repensar algunos capítulos, de adicionar algunos enfoques y reflexionar sobre otros, de reorganizar las partes del documento y los resultados, surgió esta publicación que aquí presento.

Agradezco al IDEA por su ofrecimiento de publicar este trabajo, al profesor Tomás León y a la profesora Carmenza Castiblanco por su constante motivación para que lo hiciera.

Es de destacar el acompañamiento que hizo en el trabajo de campo la socióloga Olga Lucía Méndez, con quien se realizaron las salidas de campo y quien dirigió las entrevistas y el trabajo con la comunidad. Este acompañamiento fue fundamental para el abordaje de los aspectos de la dimensión social de la sostenibilidad ambiental. A ella mi más profunda gratitud por sus invaluable aportes y por la magnífica experiencia de trabajar en compañía.

De otro lado, se expresa el más sentido agradecimiento a quienes apoyaron la investigación cuyos resultados se presentan en este libro. En primer lugar al IDEA, por su ayuda financiera y a mi directora de tesis de maestría profesora Nohra León, por su orientación y grandes aportes temáticos; a Conservación Internacional y los Ingenieros Víctor Vásquez, Alejandro Ayala y Juan Carlos Rubiano por los datos e información proporcionados, los cuales sirvieron de soporte en cada etapa del proceso; al CIAF del IGAC, por su valioso apoyo en relación con las imágenes satelitales, fotografías aéreas y modelo digital de elevación de la zona; a mi ex alumno Juan Gabriel León por su oportuna y diligente ayuda en la consecución de material de apoyo tan substancial; a la Alcaldía de Zipaquirá, específicamente a los ingenieros Alejandro Franco y Mario Cubillos, por su apreciable orientación; al profesor Joel Martínez de agronomía, por compartir abiertamente sus trabajos sobre la zona; a los habitantes de páramo de Guerrero por sus historias de vida únicas; a la bióloga Adriana Sarmiento y a la profesora Esperanza La Rotta, por sus asesorías de campo; al Ingeniero Sergio Galindo y a Javier Ñañez. Al Dr. Martin Cassel-Gintz quien sin ningún reparo me envió sus publicaciones desde Suiza. A mi esposo, mi hija, todos mis amigos y compañeros de trabajo que me brindaron su apoyo y comprensión durante las largas jornadas de trabajo; muy especialmente a mis profesores de maestría y a la Universidad Nacional que me concedió el tiempo y brindó la tranquilidad para dedicarme los dos años de comisión de estudios a la maestría, cuyo fruto es este trabajo.

Beatriz Elena Alzate Atehortúa





# 1

## Marco teórico y conceptual para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental

La sostenibilidad ambiental, acá abordada, se deduce de la interacción sistémica sociedad-naturaleza y sus caminos de coexistencia consonantes e inconsonantes. Dicha interacción juega un papel específico dentro del desarrollo sostenible y constituye con sus dimensiones un sistema. Su diagnóstico, requiere de la consolidación de una base conceptual pertinente, que caracterice los patrones de desarrollos sostenibles y no sostenibles de esas interrelaciones sociedad-naturaleza y se enmarque en un contexto sistémico. Este abordaje exige acciones concretas en relación con la interdisciplinariedad y las escalas sistémica, temporal y espacial.

### 1.1 La interacción sociedad-naturaleza y algunos enfoques de su concepción

Las concepciones de la interacción sociedad-naturaleza a través de la historia han establecido para esos dos elementos diversas relaciones. En los dos extremos, mientras unas los han ubicado como dos elementos exteriores entre sí, otras los han definido como unidad. De cualquier modo, la comprensión de esa interacción, junto con el funcionamiento de los fenómenos y leyes de la naturaleza, constituirá siempre la base fundamental para que la sociedad organice sus acciones prácticas, destinadas a adaptar la oferta medioambiental a sus necesidades básicas.

En la época primitiva, el ser humano se consideraba fundido a la naturaleza y no había diferenciación entre ellos. El aún no había domeñado a esa naturaleza y su desconocimiento sobre los fenómenos naturales, conllevaba la dependencia de ella y de sus inexplicables fuerzas. Los descubrimientos de medios para la subsistencia, como el caso del fuego, eran atribuidos a las fuerzas de la naturaleza o a fuerzas sobrenaturales o dioses (Garkovenko, *et al.* 1977).

Con el desarrollo de la producción material, que estuvo acompañado del perfeccionamiento de los instrumentos de trabajo, la técnica y la tecnología

de producción, la naturaleza empieza a ser domeñada por el ser humano y con dicha dominación, el poder de la humanidad, permitía que ella se reconociera cualitativamente diferente a la naturaleza restante y contrapuesta a ella (Ibíd. p. 80).

Desde la aparición de la filosofía de Bacon y Descartes se da la separación progresiva y contradicción exterior entre la sociedad y la naturaleza. Fue notoria, entonces, la diferenciación unilateral de los dos aspectos, donde la naturaleza era el “contenedor” pasivo, fuente de recursos y sujeto para la transformación. La naturaleza, extraña a la humanidad, era conquistada y avasallada por el hombre. Los procesos en las dos esferas se daban separadamente y se “situaban una al lado de la otra, en coexistencia mecánica y exteriormente relacionadas” (Ibíd. p. 82). A partir de esta misma concepción metafísica surge la percepción de los recursos de la naturaleza como algo ilimitado e inagotable, en comparación con las necesidades de la reducida población humana del planeta. Dicha percepción tuvo que transformarse cuando las intervenciones humanas alcanzaron escalas globales perceptibles y los recursos empezaron a escasear. Fue entonces, cuando la naturaleza dejó de ser la fuente dócil y paciente, proveedora de recursos ilimitados.

En esta etapa de absolutidad del dominio del hombre sobre la naturaleza, sobresalieron otros aspectos como la contraposición de los procesos productivos orientados hacia procesos espontáneos de la naturaleza, de lo artificial a lo natural y las diferencias marcadas entre técnica y naturaleza. Esa separación de la naturaleza y la sociedad se da también en los principios metodológicos, que conducen, a su vez, a la dicotomía entre ciencias naturales y ciencias sociales (Ibíd. p. 83).

Como producto de la resistencia a la filosofía metafísica de la “absolutidad” surgen otras filosofías como la de Rousseau, que desembocó en el determinismo geográfico, como necesidad de subordinación del hombre a la naturaleza. Allí los factores naturales eran determinantes de la vida de la sociedad. Esto condujo a otra “absolutidad”, del papel de la naturaleza sobre

el comportamiento humano. Se continuaba pues con la unilateralidad de la naturaleza y la sociedad, externas la una a la otra. El otro extremo al que se llegó, intentó hermanar el hombre a la naturaleza, disolviendo lo social en lo biológico, tratando de formar metafísica y unilateralmente la unidad sociedad-naturaleza. En definitiva, se promulgaba o la separación total o la disolución absoluta de las dos. (Ibid. p. 84).

La separación sociedad-naturaleza se acentuó, aún más, con el desarrollo de la tecnología mecanizada en la producción social. Desde la vertiente mecánica de la comprensión de las interacciones sociedad-naturaleza, la naturaleza era objeto de las acciones transformadoras del hombre y sus instrumentos. Esto se manifestó en la ausencia de participación energética de la naturaleza y sus fuerzas en el trabajo industrial (Ibid. p. 85).

Ya con la filosofía marxista, surge la concepción dialéctico-materialista de la interacción sociedad-naturaleza. Bajo este enfoque se ahondó en el conocimiento de la naturaleza, el cual se materializó en las técnicas de alto desarrollo y en las tecnologías de la producción material. Igualmente, se develó el papel de las fuerzas productivas en el desarrollo de la sociedad, mostrando “la esencia explotadora y antihumana de las relaciones sociales capitalistas y de los vínculos de la sociedad con la naturaleza” (Ibid. p. 87).

Bajo esta última concepción, existe una unidad indisoluble y orgánica entre la sociedad y la naturaleza. A diferencia de los planteamientos anteriores sobre unidad (“absolutistas”), acá se concibe no como un todo homogéneo, idéntico, sino como un todo diferenciado cualitativamente, que permanece orgánicamente inseparable. La interacción sociedad-naturaleza se mira como un proceso histórico-natural, internamente contradictorio y dialéctico, en donde el dominio práctico de la naturaleza depende del carácter de las relaciones sociales productivas (Ibid. p. 88).

Hoy prevalecen las diferencias en la comprensión de los principios de la interacción sociedad-naturaleza. Estas diferencias se reflejan en los debates sobre crisis ecológica, algunos de los cuales poseen una base optimista y otros pesimistas.

## ***1.2 Enfoques pesimista y optimista del desarrollo de la interacción sociedad-naturaleza***

Quizá el momento histórico hasta el cual se notó en forma más clara el dominio del ser humano sobre la naturaleza y su irrefrenable marcha por su “domesticación” coincide con las décadas del setenta, cuando surgen las visiones

pesimistas sobre el ulterior desarrollo de la interacción sociedad-naturaleza. Allí se hicieron explícitas las limitantes del crecimiento de la población por agotamiento de recursos, insuficiencia de alimentos y contaminación del medio ambiente. El conflicto con la naturaleza y la crisis ecológica eran latentes. Representantes de este último enfoque escribieron importantes trabajos, para la década del setenta, en contraposición al enfoque optimista que le da a la crisis ecológica un carácter puramente tecnológico, engendrado por la industrialización. Dicha crisis podría ser superada, según sus defensores, con base en el desarrollo científico y tecnológico (Ibid. p. 90).

El enfoque pesimista consideró además de los aspectos científico-naturales y tecnológicos, los socioeconómicos; sin embargo, desde la concepción dialéctico-materialista, aún no se ven superados en esos trabajos, los principios metafísicos tradicionales de separación sociedad-naturaleza, sobretodo, en relación con la unidad orgánica indisoluble entre ellos. La naturaleza sigue viéndose como el objeto transformado, depósito de basuras o almacén de bienes y servicios ambientales, siendo “la producción la acción destructora sobre esta naturaleza exterior” (Ibid. p. 91).

La concepción dialéctico-materialista critica las formas restringidas que los pesimistas proponen para evitar la catástrofe ecológica, como son: la limitación del crecimiento de la población, la reducción de los ritmos de desarrollo de la producción material o su estabilización en el nivel alcanzado. En otras palabras, se pasaría del gran optimismo en el progreso técnico-científico a “la concepción pesimista, sin salida, de la desaparición del desarrollo técnico para la humanidad” (Ibid., p. 95).

El “optimismo ecológico” de los dialéctico-materialistas invita a considerar el papel internamente contradictorio de la naturaleza en la producción material, la unidad histórica de la naturaleza con la de la sociedad y el carácter dialéctico del problema de proteger la naturaleza. “...La humanidad es capaz de conocer con mayor complejidad y profundidad las leyes objetivas de la naturaleza y las relaciones de la sociedad con aquella y utilizar estos conocimientos con mayor efectividad en la organización de sus relaciones prácticas con la naturaleza, orientadas a la creación en el medio circundante de condiciones óptimas para el desarrollo de la humanidad”. Por supuesto, esto no es suficiente, pues sería necesario considerar la propiedad social sobre los medios de producción, con lo que se tendría “control sobre la planificación y regulación del desarrollo de las relaciones sociales, de la producción material y de la organización de las interacciones entre la sociedad y la naturaleza” (Ibid. p. 95).

Entre los aspectos del “optimismo ecológico” relacionados con la contradicción de la unidad orgánica sociedad-naturaleza se plantea la contradicción interna de la producción material, pues por un lado se contraponen la sociedad

al resto de la naturaleza, independizándose de ella y dominándola; por el otro, la producción material es una expresión de la relación mutua sociedad-naturaleza. Marx subrayó en el *Capital* que el hombre, en su trabajo “se apoya constantemente en las fuerzas naturales” y que “se sirve de las cualidades mecánicas, físicas y químicas de las cosas para utilizarlas conforme al fin perseguido, como instrumentos de actuación sobre otras cosas” (Ibíd. p. 27). Con esto se podría aseverar entonces que la técnica no es contraria a la naturaleza, como se afirma por parte del “pesimismo”.

Otro aspecto que se debe considerar sería que la sociedad realiza la producción con ayuda de la naturaleza, pues usa sus materiales y se ayuda de sus fuerzas actuando en correspondencia con sus leyes objetivas. Así, la naturaleza sería un factor activo y no algo pasivo, objeto de transformación de las acciones humanas.

Engels subraya que “todo nos recuerda a cada paso que el hombre no domina, ni mucho menos, la naturaleza a la manera como un conquistador domina un pueblo extranjero, es decir como alguien que es ajeno a la naturaleza, sino que formamos parte de ella con nuestra carne, nuestra sangre y nuestro cerebro, que nos hallamos en medio de ella y que todo nuestro dominio sobre la naturaleza y la ventaja que en esto llevamos a las demás criaturas consiste en la posibilidad de llegar a conocer sus leyes y de saber aplicarlas acertadamente” (Ibíd. p. 35). De allí que para la actividad productiva del hombre se haga perentorio el conocimiento de la naturaleza, sus leyes y de la interacción humana con ellas.

### **1.3 Interacción sociedad-naturaleza y cambio global (CG)**

La sostenibilidad ambiental objeto del presente trabajo de investigación, requiere ser analizada a partir de las transformaciones surgidas en la interacción sociedad-naturaleza. Dichas transformaciones están sucediendo, actualmente, en escenarios del nivel global. El cambio global en su totalidad y dinámica representa un sistema complejo de esa interacción. Desde la cumbre de la tierra de Río en 1992, la comunidad internacional reconoció que los patrones actuales del desarrollo económico, ambiental y social no eran sostenibles. El conjunto de estos desarrollos conducen al llamado cambio global (CG), un proceso que evolucionó en un problema mayor no solamente a nivel global, sino también a nivel regional y local (Cassel-Gintz, 2003).

En el proceso de desarrollo de la sociedad, el ambiente natural fue transformado siempre para resolver las necesidades humanas. Este proceso de

transformación del ambiente ganó más y más ímpetu. Al final del milenio, la influencia humana en dicho ambiente ha llegado a ser evidente; así como la de éste último en la esfera social. Esta influencia mutua tiene ahora unos impactos fundamentales, los cuales están siendo estimados a través de diversas técnicas y métodos. (Ibíd. p. 17).

El abordaje de estos problemas es compatible con un enfoque sistémico, agregado e integrado (de las disciplinas y las escalas espacial y temporal), el cual se abarca, en parte, en la presente investigación.

Desde un enfoque dialéctico-materialista, las particularidades actuales de la interacción sociedad-naturaleza, tendrían que abordarse como avances cualitativos en la tecnología de la producción social. Esto incluiría el análisis de la utilización práctica de las propiedades físicas, químicas y biológicas de la materia y la regulación racional del intercambio de materias de los productores con la naturaleza. El presente trabajo no aborda ese tipo de interrelaciones, pues alcanzar la condición operativa de la sostenibilidad ambiental resultaría una tarea exhaustiva y poco práctica. De allí que el presente trabajo se enfoque más bien hacia las acciones entre las diversas esferas de lo ambiental, tratando de rescatar su carácter sinérgico y vinculante, usando para ello el enfoque sistémico.

Una de las realidades actuales es la inseparabilidad de los diversos problemas del CG. “La interacción cercana de los diversos elementos de esta crisis global lleva a que algunas (a menudo las más simples) soluciones de un problema conduzcan al desencadenamiento posterior de otro problema”. Por ejemplo, si los recursos de agua disponibles se utilizan en la irrigación, para asegurar el suministro de alimentos, el agua no estará disponible para consumo humano, lo que podría conducir a problemas de salud (Cassel-Gintz, *op cit.* p.23).

Lo anterior demuestra la posibilidad que “vía mecanismos de conexión ocultos, el logro de la sostenibilidad dentro de un subsistema pueda conducir a la violación de la sostenibilidad de otro subsistema” (Rotmans 1998, en Cassel-Gintz, 2003. p. 24). Por lo tanto, es necesario abordar el CG con todos sus mecanismos esenciales de causa-efecto.

El objeto son pues los vínculos externos sociedad-naturaleza, sin perder la visión de esa relación como unidad orgánicamente inseparable, pero diferenciada cualitativamente. Es precisamente dicha diferenciación cualitativa la substancia del trabajo. Para ello, se pretende identificar y caracterizar la red de conexiones existentes entre las dimensiones de lo ambiental o dentro de la interfaz sociedad-naturaleza, las cuales conforman el sistema de transformación ambiental, con características específicas de sostenibilidad.



## 1.4. La sostenibilidad ambiental y el sistema sociedad-naturaleza

El abordaje de la sostenibilidad ambiental y su diagnóstico requiere la consideración del sistema sociedad-naturaleza y sus patrones funcionales de transformación ambiental. Solo el entendimiento de esos patrones dinámicos y su caracterización, permitiría llegar a conclusiones acerca de caminos de desarrollo favorable o desfavorable de la sostenibilidad.

### 1.4.1 Enfoque sistémico

Las interacciones sociedad-naturaleza se entenderán como parte del sistema Tierra, con la suposición subyacente básica de que el desarrollo diferencial y los procesos en el ambiente natural sobre el planeta Tierra y sus interdependencias con la sociedad se pueden abordar desde una perspectiva teórica del sistema (Cassel-Gintz, *op cit.* p. 11).

La teoría de sistemas es una aproximación holística y transdisciplinaria para investigar la organización abstracta de fenómenos, independiente de su substancia, el tipo, o la escala espacial o temporal de su existencia. Investiga tanto los principios comunes a todas las entidades complejas, como los modelos (generalmente matemáticos) que se pueden utilizar para describirlos (Heylighen y Joslyn 1992). El foco principal apunta a los procesos del sistema descrito y no tanto al estado de los elementos singulares del sistema.

Algo importante en teoría de sistemas es la necesidad del pensamiento complejo. El análisis de procesos aislados y de pares causa-efecto aislados es insuficiente para la comprensión del comportamiento dinámico del sistema total. Debido a la naturaleza, a menudo cíclica, de las causalidades, los efectos sinérgicos posibles, o los mecanismos de retroacción positiva y negativa, hacer una asignación clara de causas solas a los efectos es muy difícil y a veces incluso imposible. Solamente el análisis del sistema completo puede contribuir a la comprensión de las interacciones dinámicas, algunas veces complejas, en un sistema (Ibíd. p. 12). Ver **Figura 3**.

### 1.4.2 Sostenibilidad ambiental dentro del sistema de desarrollo sostenible

Hay quienes reportan que el concepto de sostenibilidad se liga históricamente al manejo alemán de la silvicultura a principios del siglo XVII, con Hans Carl von Carlowitz (1645 - 1714). Este científico criticó la falta de equilibrio entre la tala y la plantación de árboles en el estado de Sajonia y precisó que para

tener una fuente continua de madera, el recurso tendría que ser manejado concordantemente con sus tasas de regeneración natural. Pero él también transfirió sus pensamientos sobre el recurso de madera a un concepto amplio de sostenibilidad, que se aproxima a las tres esquinas del triángulo moderno de sostenibilidad, de la ecología, la economía y el bienestar social (Dierkes, 1951, en Cassel-Gintz, 2003).

El concepto de sostenibilidad mencionado arriba, constituye el marco más amplio denominado sostenibilidad del desarrollo, que abarca aspectos como productividad económica, equidad social, desarrollo institucional y participativo, y la preservación de las funciones ecosistémicas y de la calidad de vida.

Gallopín (2003) muestra los elementos básicos del desarrollo sostenible y las perspectivas teóricas que han sido utilizadas para caracterizarlo.

Una primera consideración que realiza el autor tiene que ver con que sostenibilidad no es lo mismo que inmovilidad, así se le define como el mantenimiento de un estado del sistema en un valor fijo. Esta consideración no es tan correcta si se tiene en cuenta que todos los sistemas vivos son cambiantes y lo “fundamental no es eliminar los cambios, sino evitar la destrucción de las fuentes de renovación, que facilitan su recuperación a las transformaciones recibidas de afuera” (Gallopín, 2003. p. 21).

Los conceptos de desarrollo sostenible y sostenibilidad son diferentes, pues desarrollo apunta a cambio gradual y direccional. Desarrollo no significa necesariamente crecimiento cuantitativo, sino que “se asemeja al despliegue cualitativo de potencialidades de complejidad creciente” (Ibíd. p. 22). Lo que debe hacerse sostenible es el mejoramiento de la condición humana (es decir, del sistema sociedad-naturaleza del que hace parte), que no necesariamente requiere del crecimiento indefinido del consumo de energía y materiales.

“El desarrollo sostenible debe orientarse no solo a preservar y mantener la base ecológica del desarrollo y la habitabilidad, sino también a aumentar la capacidad social y ecológica de hacer frente al cambio y la capacidad de conservar y ampliar las opciones disponibles para confrontar un mundo natural y social en permanente transformación” (Ibíd.).

En el debate actual, existen principalmente tres principios necesarios en el desarrollo sostenible del sistema sociedad-naturaleza (Cassel-Gintz, *op cit.* p.23):

1. *Justicia intergeneracional*: las necesidades y deseos de las generaciones futuras no deben ser limitadas por la satisfacción de las demandas de la generación actual.



2. *Justicia intrageneracional*: la necesidad de estrechar la brecha del desarrollo entre las naciones menos desarrolladas y las más desarrolladas, que no necesariamente implica el derecho/necesidad de repetir todos los errores hechos por las naciones industrializadas, pero sí realizar los ajustes de ambos lados.
3. El énfasis del valor *intrínseco de los ecosistemas y de la población indígena*.

Se pueden distinguir dos formas de aproximarse al concepto de sostenibilidad ambiental: una es destacando el mantenimiento de ciertos recursos y otra sustentando los procesos de desarrollo. La primera mide stocks y evalúa cambios en las variables de estado. La segunda, analiza escenarios alternativos, evaluando intercambios entre distintos objetivos, atributos, horizontes de tiempo y jerarquías de los sistemas del proceso de desarrollo. Esto lleva implícito que no se maximice una única función objetivo (agronómica, económica o ambiental). Cuando dichos intercambios no se alcanzan se producen desequilibrios o insostenibilidad (síndromes). (Berdegú y Guifj, 2000, en Rabinovich y Torres, 2004).

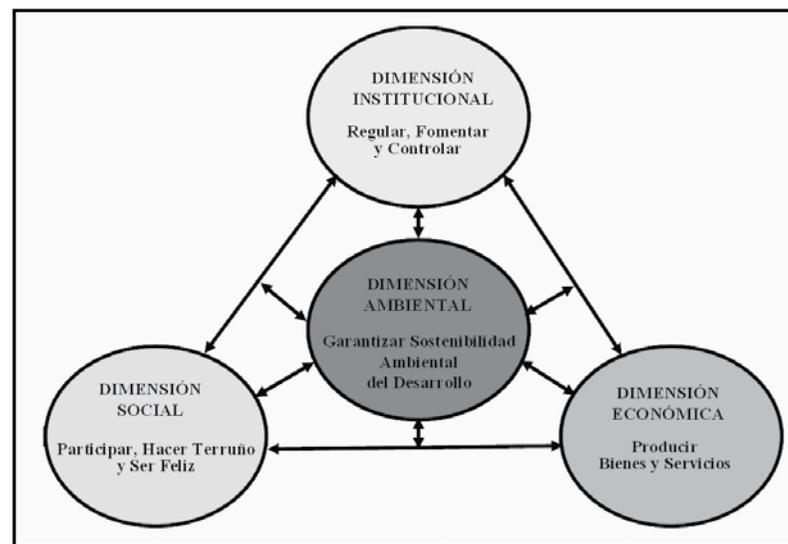
El término de sostenibilidad ambiental tiene que ver, ante todo, con la preservación de las funciones ecosistémicas, las cuales deberían analizarse en el contexto de las interrelaciones sociedad-naturaleza, pues la sociedad no está solamente funcionando como agente de cambio, sino que está respondiendo a las condiciones ambientales cambiantes. Estos enlaces hacen que tenga que mirarse la sostenibilidad ambiental en el espacio de esa interfaz (sociedad-naturaleza), la cual se llama habitualmente la dimensión ambiental.

El desarrollo consta entonces de varias dimensiones, dentro de las cuales la ambiental, cumple la función de garantizar la sostenibilidad ambiental del desarrollo. “Esta representa la base natural sobre la que se sustenta el desarrollo, es decir, de un lado las posibilidades ecosistémicas para generar bienes y servicios ambientales y del otro, las posibilidades culturales para entender aprovechar y proteger responsable y sosteniblemente al medio ambiente”. Esta dimensión es entonces transversal a las demás dimensiones del desarrollo (Vega, 2005 p. 41-42).

En la **Figura 1** puede observarse la disposición de las demás dimensiones del desarrollo en relación con la ambiental. Queda claro, entonces que esta investigación se concentra en la sostenibilidad de esa dimensión, pero que es imposible separarla de las demás, pues existen vínculos entre ellas, que llevan a considerar estas interrelaciones como sistémicas. Los sistemas naturales como sistemas abiertos sufren evolución, que se produce con un proceso paralelo de entropía. Si el límite de máxima entropía se alcanzara,

entonces el proceso evolutivo terminaría, pero lo que no permite que esto suceda son los procesos negentrópicos que retroalimentan continuamente el sistema, permitiendo estados de equilibrio dinámicos, como en los seres vivos. Mediante la relación del ser humano con la naturaleza, esta retroacción continúa, no solo en términos biofísicos, sino culturales; a través del aprendizaje, mediante transmisión de conocimiento al interior de cada una de las dimensiones del desarrollo, para garantizar la sostenibilidad tanto de la naturaleza, como de la vida y la cultura misma (Ibíd.).

**Figura 1.** Dimensión ambiental y su relación con otras dimensiones del desarrollo



Fuente: Vega, 2005 p. 43

Es necesario que dicha retroacción y mejoramiento continuo se realice en forma equilibrada y equitativamente, en todas las dimensiones que son permeadas por lo ambiental. (Ibíd.).

La sostenibilidad ambiental entonces, además de requerir la permanencia en el tiempo y espacio, retroacción y mejoramiento continuo, implicará la búsqueda de un adecuado equilibrio entre cada uno de sus pilares. Dicha sostenibilidad ambiental deberá “garantizar en tiempo y espacio, por un lado, la dotación de recursos naturales y de servicios ambientales y, por otro, que las actividades humanas sean realizadas en armonía con las leyes de los sistemas naturales de tal manera que se preserve la integridad de los procesos que rigen los flujos de energía, materia y biodiversidad de los ecosistemas” (Ibíd. p.40).

La dimensión ambiental tiene entonces la misión de garantizar la sostenibilidad ambiental del desarrollo, misión que cumple a través de procesos sistémicos. “Esta dimensión representa la base natural sobre la cual se sustenta el desarrollo de una nación”, cuyo deber ser es la recuperación y rehabilitación de los ecosistemas; el aprovechamiento sostenible de los bienes y servicios ambientales y la conservación de ecosistemas estratégicos. (Ibíd. p. 42).

### 1.4.3 *El sujeto de la sostenibilidad*

Según Gallopín (2003), este planteamiento ayuda a esclarecer algunas de las diferencias que subyacen en las discusiones acerca de sostenibilidad y desarrollo sostenible. Al respecto, podrían diferenciarse dos extremos: la sostenibilidad del sistema social (económico, social, demográfico, cultural, etc.) y la sostenibilidad de la naturaleza. Entre ellas dos existe la sostenibilidad del sistema socio-ecológico.

En la sostenibilidad del sistema humano “el sistema que importa es la economía y la naturaleza se relega a la función de proveedora de recursos y servicios naturales y a sumidero de los desechos producidos por la actividad humana” (Ibíd. p.13). Esta corresponde a la sostenibilidad muy débil de Turner. Dicho enfoque considera que el capital natural y el manufacturado pueden sustituirse entre sí, es decir no es necesario preservar el capital natural en particular.

La sostenibilidad de la naturaleza, es la del sistema ecológico principalmente. Bajo esta sostenibilidad se le da el mayor valor a la sostenibilidad ecológica, sin que esté subordinada a la sostenibilidad económica y social. Este enfoque es consistente con el de sostenibilidad muy fuerte. Acá se considera que los recursos naturales no pueden ser sustituidos por el capital elaborado por el hombre. Si se agotan los recursos se produce una pérdida irreversible del bienestar social. Esto llevaría a una “sostenibilidad ecológica que merma el interés por los aspectos sociales y económicos”. (Ibíd. p. 15).

La opción que pareciera tener más sentido es la de la sostenibilidad del sistema socio-ecológico completo. Esta opción surge al considerarse que la sociedad y la naturaleza tienen importantes vínculos. La perspectiva es compatible con la de sostenibilidad fuerte, que considera que los tipos de capital no son necesariamente sustituibles. Acá se consideran los recursos naturales como insumos esenciales de la producción económica, del consumo o del bienestar, que no pueden sustituirse por capital humano o físico. “En relación con la sostenibilidad, significa que habría que mantener el agregado total del capital natural, esencialmente en sus niveles actuales. Así aumenten otras formas de capital, toda dirección de desarrollo que conduzca a una disminución del acervo de capital humano ó a una disminución por debajo del mínimo ya no sería sostenible” (Ibíd. p. 16).

Otro sujeto de la sostenibilidad tendría que definirse bajo la óptica del “optimismo ecológico” de los dialéctico-materialistas. El sujeto bajo este enfoque también sería el sistema socio-ecológico, sólo que se rechaza la actividad productiva de dominancia y transformación de la naturaleza que obliga a ocuparse de su conservación o de colaborar con la biósfera en la realización de sus diferentes procesos de importancia para la humanidad o en la elevación de su poder productivo (Garkovenko et al. Op cit. p. 96).

Este se centra, más bien, en la optimización de las relaciones entre el ser humano y la naturaleza, a través de la “utilización productiva de las posibilidades objetivas que ofrecen las diferentes formas del automovimiento de la materia, de las capacidades de la naturaleza, sobretodo en sus formas superiores como: el quimismo, la actividad vital de los organismos y de todo el aparato de la biósfera” (Ibíd. p. 100).

Este último enfoque estaría condicionando la sostenibilidad no solo a los grandes avances tecnológicos de la producción material social que posibilite la combinación armónica del desarrollo técnico con las leyes objetivas de la biósfera y del medio, sino a las transformaciones socioeconómicas y de la “naturaleza explotadora y rapaz del capitalismo” (Ibíd. p. 103).

### 1.4.4 *Aspectos relevantes de la investigación sobre desarrollo sostenible*

En esta instancia vale la pena mencionar algunos aspectos relevantes de la investigación del desarrollo sostenible, los cuales se tendrán en cuenta a lo largo del libro (según Cassel-Gintz, 2003).

1. La investigación del desarrollo requiere un enfoque basado en contextos específicos que permita simultáneamente la posibilidad de un referenciamiento global.
2. La investigación del desarrollo debe comenzar con escalas de valores relevantes al desarrollo, negociadas explícitamente. Esto significa que los tópicos deben ser determinados como resultado de la interacción con las sociedades involucradas.
3. El potencial para el conflicto dentro del sistema económico, social y ecológico requiere incluir y vincular las perspectivas y aproximaciones de las ciencias naturales y sociales conjuntamente.
4. La búsqueda de soluciones a los problemas en la investigación del desarrollo debe ocurrir en colaboración cercana con los actores y los grupos sociales involucrados, permitiendo el uso del conocimiento y de la capacidad por fuera del campo de la ciencia.

Lo anterior permite aseverar que la investigación transdisciplinaria del desarrollo sostenible es interdisciplinaria, contexto-específica y participativa, con respecto a la identificación de problemas, así como a la búsqueda para la implementación de soluciones a los problemas de sostenibilidad ambiental (Ibíd. p. 26).

## 1.5 Síndromes: la red sistémica de vínculos para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental

### 1.5.1 Teoría sobre síndromes de sostenibilidad

La interdependencia entre los sistemas humano y natural exige un acercamiento que asegure que los problemas complejos de transformación ambiental se analicen en forma integrada desde diversas perspectivas. Para esa integración uno de los instrumentos clave usado es el del síndrome. Este es derivado de la red global de interrelaciones del sistema Tierra y representa “perfiles clínicos complejos” de no sostenibilidad de las relaciones sociedad-naturaleza (WBGU, 1997).

La aproximación de síndrome fue propuesta originalmente por el Consejo Consultivo Alemán sobre el cambio global - (WBGU) como instrumento para ocuparse de la naturaleza transdisciplinaria compleja de los procesos de la interacción sociedad-naturaleza en el contexto del cambio global (CG). Durante los últimos diez años, la idea inicial ha sido conceptualizada y desarrollada más allá dentro de una herramienta de trabajo por el grupo de investigación QUESTIONS (dinámicas cualitativas de síndromes y transición a la sostenibilidad) en el instituto de Potsdam para la investigación del impacto del clima - (PIK)<sup>4</sup>. La idea básica detrás del concepto de síndrome no es describir el CG por regiones o sectores, sino por patrones arquetipos, dinámicos, de co-evolución de la interacción sociedad-naturaleza (Cassel-Gintz y Petschel-Held, 2000).

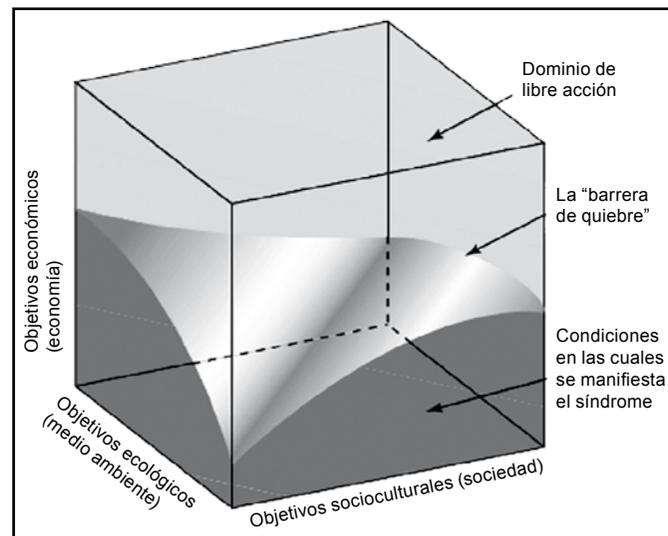
El enfoque de síndrome ofrece un análisis de integración desde dos perspectivas: integración horizontal y vertical. La integración horizontal se refiere a los problemas, sus estructuras básicas y sus interconexiones. La integración vertical permite generar estrategias de respuesta para cada área problema. Esta última procede por etapas desde el análisis de un problema basado en políticas, a través de la implementación de instrumentos apropiados para el

monitoreo de la efectividad posterior (Ibíd. p 105), lo cual facilita la gestión ambiental sistémica.

### 1.5.1.1 Síndromes y condición operativa de la noción de sostenibilidad ambiental

Para caracterizar la sostenibilidad, se definen las condiciones amenazantes e indeseables de las esferas biofísica, social, económica y cultural. Esos dominios no sostenibles, vistos en un diagrama, estarían demarcados del espacio de acción permisible por “barreras de quiebre” (o “superficies de límite” en una visión 3D). Dentro de este espacio de acción permisible la sociedad permanece en capacidad de realizar acciones y tomar decisiones libres con respecto a las acciones humanas. Solo cuando la sociedad se aproxima a las superficie de límite, hay un riesgo alto y pérdida de estabilidad. La principal consideración tendría que ver con que una caída del sistema Tierra más abajo de las barreras de quiebre (al dominio de no sostenibilidad en el cual el síndrome se manifiesta) deben evitarse a toda costa (Ibíd. p 114). Ver **Figura 2**.

Figura 2. Modelo de “barrera de quiebre”



Fuente: WBGU, 1997

La complejidad del sistema y la incertidumbre inherente a los datos disponibles, hacen que estas barreras no sean definidas con exactitud. Ellas deben ser sin embargo consideradas como *zonas de límites con contornos difusos*. La estimación de dónde están localizadas esas zonas varía acorde

4 Potsdam Institute for Climate Impact Research.

con el estado actual del conocimiento, prevaleciendo los valores y la voluntad de la población a aceptar el riesgo, de tal forma que ellos tenderán a cambiar con el tiempo. La tarea del manejo del sistema Tierra es frenar cualquier tendencia en el espacio más allá de las barreras de quiebre (Ibíd.).

El concepto de síndrome se constituye en un excelente instrumento para la implementación del modelo de barrera de quiebre. La sostenibilidad ambiental podría ser abordada como la ausencia o mitigación de síndromes y éstos a nivel regional serían evaluados, entonces, en relación con este caso ideal (utópico) determinando su distancia desde la condición deseada. Esto último se podría lograr mediante el uso de indicadores sistémicos (Ibíd. p. 115).

Esta tarea, requería entonces la identificación de los diversos síndromes y su evaluación frente a las condiciones de sostenibilidad deseada. De allí que los primeros pasos en el camino de los síndromes se hayan orientado hacia esa actividad. El resultado arrojó la caracterización de 16 síndromes del cambio global (CG).

#### 1.5.1.2 Síndromes de CG identificados por el WBGU

Estos síndromes pretenden describir el CG de una manera apropiada. Ellos abarcan los patrones que describen mecanismos de uso del suelo agrícola, así como patrones para los procesos de urbanización e industrialización, degradaciones ambientales debido a las disposiciones de residuos o extracción de recursos. Los nombres de los síndromes corresponden a las regiones típicas donde existen o a las palabras claves de los respectivos mecanismos de interacción sociedad-naturaleza. (Cassel-Gintz y Petschel-Held, 2000).

El conjunto de síndromes representa una primera hipótesis de los patrones no sostenibles del desarrollo. Cada uno de los patrones es caracterizado por diversas fuerzas impulsoras y posee variados esquemas de redes causa-efecto. Ganan su importancia global contribuyendo significativamente a uno o más de los problemas centrales del CG (degradación del suelo, cambio climático, amenaza de la biodiversidad o deforestación global, etc.) y por su aspecto global (WBGU, *op cit.* p 115-116). Ver **Tabla 1**.

#### 1.5.1.3 Identificación y caracterización de problemas ambientales. Enfoque del síndrome

Los problemas centrales de CG se relacionan con diversos síndromes y sus esquemas específicos o patrones funcionales causa-efecto de la interacción sociedad-naturaleza.

En la **Tabla 2** puede apreciarse que las filas en la matriz corresponden a los 16 “perfiles clínicos” (síndromes) del sistema Tierra; mientras que las columnas representan los problemas ambientales de significancia global. Todos los problemas centrales de la transformación ambiental producen una relación a diversos síndromes al tiempo. Esto permite ver las debilidades inherentes al acercamiento tradicional, que analiza los problemas desde una perspectiva reduccionista. El análisis de síndromes retorna los problemas a su lugar apropiado en una red causa-efecto de retroacciones que se dan en las diversas esferas de lo ambiental, no en esferas particulares (Ibíd. p 125).

**Tabla 1.** Síndromes de sostenibilidad (WBGU)

Síndromes de “utilización”
1. Sobreproducción de suelo marginal: Síndrome Sahel
2. Sobreexplotación de ecosistemas naturales: Síndrome de sobre explotación
3. Degradación ambiental a través del abandono de prácticas agrícolas tradicionales. Síndrome éxodo rural
4. Uso agro-industrial no sostenible de suelos y cuerpos de agua: Síndrome “Dust bowl”
5. Degradación ambiental por el agotamiento de recursos no renovables: Síndrome “Katanga”
6. Desarrollo y destrucción de la naturaleza para fines recreacionales: Síndrome de turismo masivo
7. Destrucción ambiental por guerra y acción militar: Síndrome tierra arrasada
Síndromes del desarrollo
8. Daños ambientales de paisajes naturales como resultado de grandes proyectos: Síndrome Mar Aral
9. Degradación ambiental a través de la introducción de técnicas agrícolas inadecuadas: Síndrome de revolución verde
10. Indiferencia hacia los estándares ambientales en el curso del crecimiento económico rápido: Síndrome “Tigres asiáticos”
11. Degradación ambiental por crecimiento urbano incontrolado: Síndrome Favela
12. Destrucción de paisajes por la extensión de infraestructuras urbanas planeadas: Síndrome de urbanización irregular
13. Desastres ambientales antropogénicos singulares con impactos a largo plazo: Síndrome grandes accidentes
Síndromes de contaminación
14. Degradación ambiental por difusión a gran escala de sustancias de larga vida: Síndrome chimenea
15. Degradación ambiental por disposición controlada e incontrolada de basuras: Síndrome basurero
16. Contaminación local de recursos ambientales en localizaciones industriales: Síndrome tierra contaminada

Fuente: WBGU, 1997

**Tabla 2.** Asignación de síndromes del WBGU a los problemas nucleares del CG

	Degradación del suelo	Cambio climático	Pérdida de biodiversidad	Deforestación	Escasez de agua pura	Sobreexplotación y contaminación del océano	Desarrollo global de disparidades
Síndrome Sahel	•	•	•	•	•		•
Síndrome de sobreexplotación	•	•	•	•	•	•	•
Síndrome éxodo rural	•						
Síndrome “Dust bowl”	•	•	•	•	•		•
Síndrome “Katanga”	•		•	•	•		•
Síndrome de turismo masivo	•	•	•	•	•	•	•
Síndrome tierra arrasada	•	•	•			•	
Síndrome Mar Aral	•	•	•	•	•		•
Síndrome de revolución verde	•	•	•		•		•
Síndrome “Tigres asiáticos”	•	•	•	•	•		•
Síndrome de urbanización irregular	•		•		•		•
Síndrome Favela	•	•			•		
Síndrome grandes accidentes	•		•		•	•	
Síndrome chimenea	•	•	•	•	•	•	
Síndrome basurero	•	•	•		•	•	
Síndrome tierra contaminada	•		•		•		

Fuente: Cassel-Gintz, 2003

### 1.5.2 El concepto de síndrome y sus elementos

La aproximación de síndrome se basa en la descomposición de la dinámica intrincada del CG en patrones de interacciones sociedad-naturaleza (llamados también síndromes del CG) por un proceso iterativo de observaciones, de análisis teórico sistémico de los datos; además del modelamiento basado en técnicas especiales. Estos síndromes de CG caracterizan los desarrollos

peligrosos y riesgosos de la interacción sociedad-naturaleza y representan una línea base para medir e indicar la no sostenibilidad. (Cassel-Gintz y Petschel-Held *op cit.* p. 3).

Acá el concepto se abordará como una aproximación mejorada por el NCCR<sup>5</sup>, que toma en cuenta los enlaces de retroacción y efectos sinérgicos de la interrelación sociedad-naturaleza. En lugar de intentar cuantificar las relaciones entre los diversos elementos de una cadena causal con modelos matemáticos, el concepto de síndrome utiliza *relaciones sinópticas, cualitativas* entre las calidades principales del cambio global en forma de *tejidos causales* según lo representado en la **Figura 3**. (Cassel-Gintz, *op cit.* p. 34).

Algunos conceptos relacionados con este enfoque son los síntomas, las interacciones y los patrones funcionales.

#### 1.5.2.1 Síntomas (o tendencias)

Son los elementos básicos para la descripción sistemática de la dinámica del CG en el concepto de síndrome. Ellos dan una descripción transdisciplinaria de los desarrollos más importantes del CG en forma de elementos cualitativos, describen los fenómenos dinámicos naturales o antropogénicos complejos sin dibujar los procesos internos en detalle y son los primeros de todos los definidos verbalmente sin implicaciones de un juicio. Además, incluyen las características temporales de las tendencias específicas, por lo tanto un síntoma X es definido por  $X = (X, X\&, X\&\&...)$  [Cassel-Gintz y Petschel-Held, *op cit.* p. 3]

Estos síntomas retratan ya una primera abstracción de los procesos más importantes del CG. Como por ejemplo, el síntoma “intensificación de la agricultura” puede comprender diversos cambios de la práctica agrícola, como un aumento en la producción, un acortamiento del período de barbecho o un cambio de las técnicas de arado con buey (Ibíd.).

Un primer grupo de síntomas fue formulado a través del conocimiento experto. Existen aproximadamente 80 - 90 tendencias o síntomas tanto antropogénicas como naturales (WBGU, 1997). Estas se pueden considerar como primera tentativa de sistematizar el CG y con base en ellas es posible entonces identificar regionalmente interrelaciones dependientes entre los elementos principales del CG.

Cada influencia ejercida por una tendencia sobre otra se describe en términos cualitativos como “el refuerzo” o “la atenuación”. Puede asumirse, por ejemplo, que el incremento antropogénico del efecto invernadero refuerza el aumento

<sup>5</sup> Swiss National Centre of Competence in Research.

del nivel del mar, o que la tendencia hacia la emancipación de mujeres atenúa el crecimiento de la población (Ibíd. p. 111).

Algunos ejemplos de esas tendencias son para la biosfera: introducción de especies foráneas y sobreexplotación de recursos biológicos. Para la población: extensión urbana y daño a la salud causado por factores ambientales. Para la esfera psicosocial: demanda por estándares más altos y crecimiento del conocimiento medioambiental. Para la atmósfera: agotamiento del ozono de la estratosfera y polución de la troposfera; etc. (Ibíd. p. 108).

Las tendencias diversas y sus interacciones pueden ser combinadas en una red cualitativa de interrelaciones; las cuales describen la transformación ambiental como un sistema y representan el punto de arranque para un análisis más extenso de dinámica del sistema sociedad-naturaleza. Con ayuda de esta descripción empírico-fenomenológica de transformación ambiental, es posible producir los modelos cualitativos (Ibíd.).

### 1.5.2.2 Interacciones

Son los elementos de conexión de la descripción sistémico-analítica de la dinámica del CG en el concepto de síndrome. Especifican la clase de relación causal entre los síntomas bajo ciertas condiciones. Dichas relaciones pueden ser monotónicas, con un efecto creciente o decreciente. Pueden ser activas en una relación causal entre un solo par de síntomas o sinérgicas entre varios síntomas (Cassel-Gintz y Petschel-Held, *op cit.* p. 4). Ver **Figura 3**.

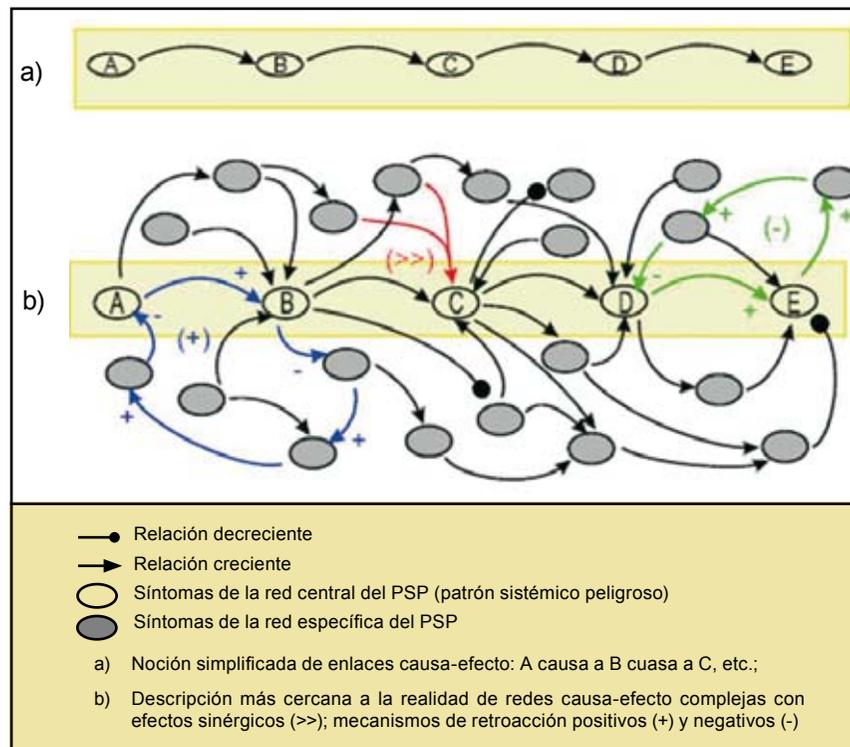
El efecto *creciente* indica que si la variable donante crece o disminuye, la variable recipiente cambia en la misma dirección. El efecto *decreciente* indica que un aumento en la variable donante incluye una disminución en la variable recipiente, y viceversa<sup>6</sup>.

Este aspecto cobra significado, debido a que el conocimiento de las relaciones causales entre los diversos elementos de la transformación ambiental por la interrelación sociedad-naturaleza, conduce a la comprensión de los procesos, al abordaje y reacción eficaces a los problemas de la sostenibilidad ambiental.

### 1.5.2.3 Patrones funcionales de la transformación ambiental

La red de interrelaciones puede ser desarrollada también para un nivel regional. El análisis regional del sistema Tierra usando este instrumento, provee claras evidencias de que las interrelaciones en ciertas regiones entre sociedades

**Figura 3.** Nociones sistémicas relacionadas con el concepto de síndrome



Fuente: Cassel-Gintz, 2003. Modificado por Alzate. B., 2006

humanas y la naturaleza operan frecuentemente a lo largo de líneas típicas (patrones funcionales). Ellos son redes desfavorables, que caracterizan las tendencias naturales y sociales y sus respectivas interacciones, las cuales pueden ser identificadas en muchas regiones del mundo. La tesis es que el ambiente global complejo y los problemas de desarrollo, pueden ser atribuidos a un número discreto de esos patrones de degradación ambiental (WBGU. *Op cit.* p. 111).

Cassel-Gintz (2003), dentro de este contexto de patrones funcionales puntualiza acerca de los *Patrones sistémicos peligrosos (PSPs)*; definidos por él como “patrones dinámicos típicos de las interacciones sociedad-naturaleza que se perciben como problemáticos debido a sus posibles efectos de degradación en lo social y/o económico y/o físico biótico” y relaciona con ellos los siguientes conceptos (Cassel-Gintz, *op cit.* p. 36):

*Caminos de desarrollo no sostenible de los PSPs:* caminos sintomáticos (camino hacia la no sostenibilidad). Miden el tiempo de los desarrollos o de

6 Página WEB del proyecto ESALC. <http://www.eclac.cl/dmaah/proyectos/esalc/>

los caminos de desarrollo de los patrones sistémicos peligrosos (PSPs) que conducen a estados deteriorados de seres vivos o del ambiente.

*Caminos sostenibles del desarrollo de los PSPs:* caminos favorables o caminos hacia la sostenibilidad. Miden el tiempo de los desarrollos o de los caminos del desarrollo de los PSPs que conducen a estados mejorados de los seres vivos o del ambiente (por ejemplo a través de la consolidación de los potenciales locales).

Los PSPs describen los patrones de la interrelación sociedad-naturaleza posiblemente peligrosos, potencialmente no sostenibles que se pueden explicar solamente vía las interrelaciones entre sus elementos *particulares*.

En resumen, los síndromes son trans sectoriales en su naturaleza. Unos problemas específicos pueden afectar diversos sectores como economía, la biosfera, la población, pedósfera o geósfera. Ellos están siempre relacionados directa o indirectamente con los recursos naturales. Cada uno de esos “perfiles clínicos” del sistema Tierra por lo tanto, representa un patrón básico diferente de degradación ambiental, inducida por la sociedad (WBGU. *Op cit.*).

Puede darse un traslazo pasivo o interacción activa entre esos síndromes o patrones funcionales. Se pueden distinguir varias formas de pares de patrones: coincidencia, acople a través de tendencias comunes, infección, refuerzo, atenuación y sucesión<sup>7</sup>.

## **1.6 Indicadores de sostenibilidad ambiental (IDSA) y aproximaciones al diagnóstico de las transformaciones ambientales**

Existen diversos tipos de indicadores relacionados con lo ambiental y la sostenibilidad. De allí la importancia de dejar plasmadas algunas diferencias entre ellos.

Los *indicadores ambientales* son parte de los indicadores de desarrollo sostenible, pero su particularidad es que caracterizan el medio natural y sus transformaciones.

Los *indicadores de sostenibilidad ambiental* son aquellos que dibujan un cambio temporal en la capacidad de mantenimiento de los ecosistemas.

<sup>7</sup> Ver ampliación de los conceptos en WBGU, 1997.

Los *indicadores de desarrollo sostenible* son aquellos que requieren representar un progreso en el desempeño (ejemplo, disminución de la pobreza) y en la sostenibilidad de ese desarrollo (Gallopín, 2003).

Los *índices* también constituyen aproximaciones conmensuralistas en la construcción de indicadores y se construyen agregando diversas variables que se asumen como componentes de un fenómeno y a las cuales se les asigna un peso relativo con respecto al resto a la hora de sumar todos los efectos (Quiroga, 2001).

Para entender el papel que juegan los indicadores en el logro de la condición operativa de la sostenibilidad ambiental, se hace necesario repasar el proceso mismo de transformación ambiental (que conduce indefectiblemente al cambio global). Dichos indicadores deberían proporcionar la información relevante, sustancial y suficiente de ese proceso de transformación ambiental y de su estado de sostenibilidad. Sin embargo, esto no puede lograrse sin un armazón consistente que sirva de mapa a las conjunciones e interdependencias relevantes entre los diversos elementos de un modelo conceptual de sostenibilidad. Este mapeo es necesario puesto que la transformación ambiental es un proceso altamente complejo y crítico, con muchos mecanismos de retroacción implicados, que al desarrollarse ponen en peligro la sostenibilidad (WCED, 1987, en Cassel-Gintz, 2003).

Para entender y, por lo tanto, ser capaz de indicar la dinámica, las fuerzas motrices y la dirección de los caminos no sostenibles en la transformación ambiental, es necesario entender las estructuras de las interdependencias entre todos sus elementos constitutivos (Petschel-Held et al. 1995, en Cassel-Gintz, 2003).

“La complejidad de los componentes y las interacciones de esos procesos tienen que ser reducidas a un nivel donde ellos todavía estén lo suficientemente caracterizados y al mismo tiempo cualitativamente o cuantitativamente mensurables. Es decir, hay que realizar una simplificación adecuada de los procesos de transformación ambiental”. Dicha simplificación en forma de cantidades, usadas para la representación y la evaluación de la sostenibilidad se conoce como *indicadores* (Ibíd. p. 27).

“Generalmente, un gran número de observaciones y datos tienen que ser sistematizados y condensados dentro de características claves para poder determinar y evaluar el estado actual y la dinámica del sistema considerado. Si los indicadores se eligen correctamente, incluso una fracción de los datos disponibles es suficiente para caracterizar o clarificar una situación compleja” (Schirnding, 2002).



Los indicadores para los problemas complejos, como los de sostenibilidad ambiental, necesitan abordar las interdependencias entre los elementos de la dimensión ambiental y aquellos que la circundan (como fue presentado en el numeral 1.4.2).

### 1.6.1 Generaciones de indicadores de desarrollo sostenible - IDS

El concepto de generaciones aplica en general para los IDS, pero los de sostenibilidad ambiental son parte fundamental de ellos.

Existen IDS de diversas generaciones (Quiroga, 2001). Así los de *primera generación* son aquellos de carácter sectorial o ambientales<sup>8</sup> usados para medir, sobre todo, los aspectos físicos del ambiente, que no incorporan interrelaciones entre los componentes de un sistema. Por ejemplo emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los de *segunda generación* son aquellos compuestos por cuatro grupos de variables económicas, sociales, institucionales y ambientales, pero que en la mayoría de los casos materializan relaciones bi direccionales, entre cualquier par de esas variables.

Los de *tercera generación* son los indicadores que están actualmente en construcción. Corresponden a indicadores vinculantes, sinérgicos o transversales, que incorporan simultáneamente varios atributos o dimensiones de la sostenibilidad (Quiroga, *op cit.* p. 5).

En el marco del presente trabajo se abordó el desarrollo de indicadores de tercera generación; para ello, se adopta el concepto de Cassel-Gintz, 2003 que los muestra como una representación de elementos interrelacionados en un modelo estructural, constituido por una mixtura heterogénea de naturaleza cualitativa y cuantitativa, destacando las interrelaciones complejas frecuentes y los mecanismos de retroacción en la interacción sociedad-naturaleza.

### 1.6.2 Clasificación jerárquica de indicadores

Dependiendo del tema, del indicador elegido y de la disponibilidad de los datos, un indicador puede caracterizar el estado de una variable (una observación) o de su dinámica (por lo menos dos conjuntos de observaciones) [Herweg et al. 1998, en Cassel-Gintz, 2003].

<sup>8</sup> En la bibliografía consultada sobre el tema, el término ambiental hace alusión exclusivamente al componente físico-biótico del ambiente. En este trabajo lo ambiental se ubica en la interfaz de las interacciones sociedad-naturaleza.

A pesar del uso común de los indicadores, no hay un esquema de clasificación uniforme para ellos. Una posible clasificación jerárquica que va de simple a compuesto hasta sistémico se introduce a continuación (Ibíd. p. 28):

1. *Los indicadores simples* son variables mensurables usadas para elementos individuales donde las posibles características sinérgicas o antagónicas todavía no se han tomado en consideración. Por ejemplo CO<sub>2</sub> en gases de emisión.
2. *Los indicadores compuestos* son combinaciones específicas de los elementos del sistema con un significado independiente (ejemplo, agregaciones de características relacionadas o complementarias), que pueden indicar características más complejas del sistema analizado. Por ejemplo el daño de un bosque puede evaluarse por un grupo de características empíricas (adelgazamiento de las coronas, la decoloración de las hojas, el crecimiento excesivo de frutos, etc.) [WBGU, 1997. p. 109].
3. *Los indicadores sistémicos* proporcionan información sobre las relaciones y las interacciones que existen entre las características simples y compuestas, las cuales se derivan no aditivamente de las variables medidas y observadas. Los indicadores especiales incluyen características del sistema tales como complejidad, estabilidad, capacidad de reparar el daño, potencial de desarrollo, densidad de una red e intensidad de una retroacción (Schirnding, 2002). Ejemplos: la diversidad de especies de un ecosistema, es un indicador del grado de entramado de ese sistema; la pérdida de especies en una escala temporal, es un indicador de la intervención a la cual es expuesto el sistema ecológico total (WBGU. *Op cit.*). Desde otra dimensión estos indicadores sistémicos pueden ser analíticos, descriptivos y normativos.

*Los indicadores analíticos* son características claves para la descripción del estado del sistema analizado, que se puede averiguar generalmente con la observación directa o la medición. Ejemplo: las concentraciones de cadmio y otros elementos asociados en sitios para disposición de basuras son indicadores de la peligrosidad de los desechos.

*Los indicadores descriptivos* muestran el estado o el desarrollo dinámico de una variable del sistema analizado.

*Los indicadores normativos* se requieren para la evaluación de normas de un sistema (en términos de estándares externos éticos, políticos o económicos) y pueden extenderse de simples a sistémicos. Podrían ser indicados vía la determinación de las características claves, la calidad del estado de

un sistema o lo correcta de una tendencia sistémica. Ejemplo: clasificación de vehículos motores como de emisión baja (Cassel-Gintz. *Op cit.* p. 28).

Los indicadores simples y compuestos acá presentados, podrían asimilarse como indicadores de primera y segunda generación respectivamente. Los demás podrían ser asimilados como indicadores propios de las características y dinámica de un sistema y, por ende, harían parte de los *indicadores de tercera generación*.

### 1.6.3 Aproximaciones globales para la construcción de indicadores

La construcción de IDS ha manejado varios enfoques y perspectivas teóricas. En la mayoría de casos se registra como enfoque principal al *sistémico* en donde se “reconocen los problemas metodológicos y axiológicos de la inconmensurabilidad, y se renuncia al intento agregatorio para construir megaindicadores” (Quiroga, 2002 b. p 9). Dentro de este enfoque “correspondientemente, se trabaja en la construcción de un conjunto de indicadores que muestren tendencias vinculantes y/o sinérgicas, o sea que en su conjunto puedan dar cuenta de las principales tendencias, tensiones y causas subyacentes a los problemas de sostenibilidad” (Ibíd.). Sin embargo, en el proceso de generación de esos indicadores se utilizan habitualmente *enfoques comensuralistas*, que emplean la agregación o sumatoria de variables de diversa índole, mediante una escala común de valor o contabilización. Dentro de este enfoque se cuentan los que agregan indexando y los que agregan mediante unidades monetarias, físicas o energéticas (Ibíd.).

De cualquier forma es necesario tomar en consideración que para el desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental, un marco de referencia adecuado debe integrar tanto las descripciones de los elementos esenciales del sistema sociedad-naturaleza y de sus dinámicas (variables, capacidades y vínculos de retroacción), como también los elementos normativos, externamente definidos como metas ambientales y los principios de orientación (Cassel-Gintz. *Op cit.* p. 29).

#### 1.6.3.1 Aproximación Presión-Estado-Respuesta

Con la aproximación presión-estado-respuesta se realizaron progresos posteriores, más difundidos actualmente. Esta tiene sus orígenes en la cumbre de Río, como un concepto proferido inicialmente por la Comisión de Desarrollo Sostenible - CDS. Bajo este enfoque los indicadores señalan los cambios inducidos por los humanos en una categoría de PRESIÓN, sobre los

recursos naturales que tienen un ESTADO, con otros indicadores para las RESPUESTAS percibidas por la sociedad y las instituciones políticas.

Esta aproximación tiene dos debilidades principales que muestran la necesidad de un acercamiento sistémico:

El desarrollo sostenible se puede percibir solamente como característica dinámica del sistema Tierra. Por lo tanto los conflictos resultantes entre los tres elementos principales del triángulo de sostenibilidad (economía, ecología, sociedad) no pueden ser expresados adecuadamente bajo un enfoque lineal de P-E-R.

Las interconexiones estrechas y numerosas entre la sociedad y la naturaleza están retratadas en el acercamiento de P-E-R solamente en los enlaces horizontales causa-efecto (Ibíd.).

Esto lleva a pensar en esquemas diferentes que expresen el alto grado de interconexiones, a través de jerarquías de indicadores, que reflejen redes complejas causa-efecto y estén orientados a los diversos elementos de la dimensión ambiental.

Más adelante surgen modelos como el TARGETS<sup>9</sup>, que amplía la aproximación P-E-R a una de presión, estado, impacto y respuesta (P-E-I-R). Con un nuevo grupo de indicadores se observa el impacto/efecto de las actividades humanas sobre el medio ambiente y viceversa.

#### 1.6.3.2 La aproximación mejorada P-E-R del NCCR

Hacia el año 2000, el acercamiento de P-E-R fue mejorado por enlaces de retroacción, en el seno del SARPI<sup>10</sup>. Este es un enfoque abierto que facilita cambios y nuevos enlaces.

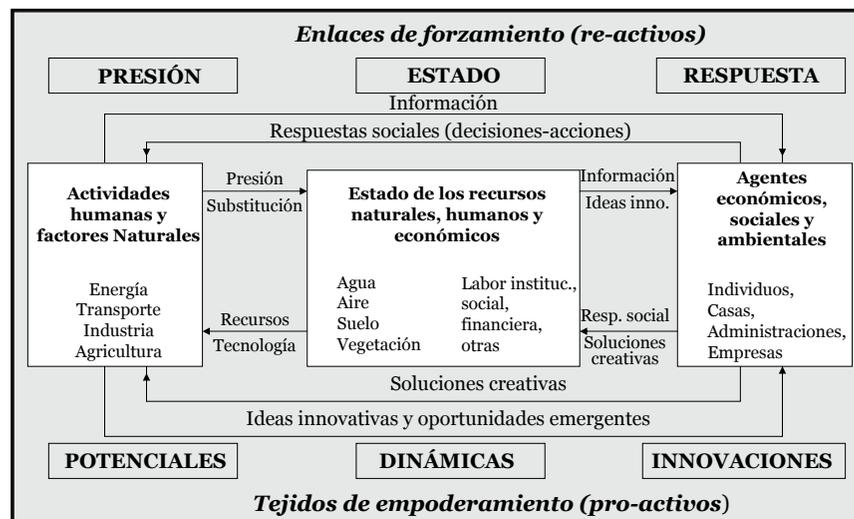
La primera hipótesis en la aproximación mejorada de P-E-R del NCCR afirma que la PRESIÓN está ejercida en cierto ESTADO del ambiente y de los recursos, al cual hay RESPUESTA social en forma de reacciones, conduciendo así a los “enlaces reactivos de forzamiento”. Esto último representa una explicación comportamental de adaptación humana al cambio. La segunda hipótesis afirma que en lugar de PRESIÓN, el cambio puede también generar *acciones positivas*. Éstas conducen a las *innovaciones* y a las oportunidades

9 Tool to Assess Regional and Global Environmental and Health Targets for Sustainability.

10 Swiss Association of Research Partnership Institutions.

emergentes que se materializan como soluciones creativas, tales como nuevas tecnologías y adaptación institucional. Entonces un sistema tendrá siempre sus DINÁMICAS. Esta última situación se puede describir como “tejidos pro-activos de empoderamiento” (Ibid. p. 32). Ver **Figura 4**.

**Figura 4.** El enfoque P-E-R mejorado del NCCR (SARPI, 2000)



Fuente: Cassel-Gintz, 2003. p. 32

Estas dos hipótesis son adoptadas posteriormente por la aproximación mejorada de síndrome, donde son descritas como retroacciones. Estas últimas pueden ser también positivas y conducirán a desarrollos favorables para la sostenibilidad ambiental, desacentuando, en parte, los caminos desfavorables o sintomáticos.

### 1.6.3.3 Aproximación mejorada de síndrome

Esta es la aproximación en la que se basa el desarrollo de indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación, propuesta en este trabajo. Los indicadores desarrollados se denominan *indicadores sistémicos ambientales (ISA) espaciales*, y así serán nombrados a lo largo de los subsiguientes capítulos.

El concepto de síndrome y las bases teóricas que lo sustentan fue desarrollado en el numeral 1.5.

## 1.7 Sostenibilidad ambiental más allá de límites disciplinares y escalares

### 1.7.1 Transdisciplinariedad y teoría de sistemas

Los proyectos y programas de investigación siguen siendo diseñados, frecuentemente, consolidados y realizados a lo largo de líneas tradicionales de pensamiento, con disciplinas discretas, concepciones del mundo y metodologías reduccionistas. En efecto, es poco frecuente encontrar perspectivas genuinamente inter o transdisciplinarias que vayan, además, de la definición y descripción de los problemas a través del diseño e implementación de proyectos de investigación, hacia una interpretación orientada al usuario y comunicación de los resultados (WBGU, 1997).

Toda investigación sobre las interacciones problemáticas sociedad-naturaleza en el sistema Tierra, dentro del CG se enfrenta con dos dificultades fundamentales (Cassel-Gintz, *op cit.* p. 13):

- Las interacciones del sistema van más allá de los límites de las disciplinas, de sectores, del medio ambiente y de escalas temporales y espaciales, por ello la investigación sobre el sistema Tierra requiere un enfoque integral.
- La otra dificultad fundamental yace en la naturaleza compleja de esas interacciones, que obstaculizan su descripción, análisis y modelamiento.

Debido a estos dos problemas fundamentales, se hace necesario un enfoque agregado funcionalmente, que combine diversas disciplinas y escalas. La gran dificultad que ello trae consigo, hace que sean muy escasas, actualmente, las reflexiones teóricas sistémicas adecuadas, pero sobre todo, sus aplicaciones. Los supuestos acercamientos “tradicionales” principalmente desde disciplinas independientes, que usan sus propias herramientas metodológicas en aspectos aislados, no harán posible este abordaje integral.

En los primeros acercamientos teóricos sistémicos a los fenómenos de CG, la necesidad de cuantificar todas las interacciones en el sistema, demostró ser un problema mayor. Específicamente la inclusión cuantitativa de los aspectos socioculturales del CG. Eso condujo a la necesidad de superar las limitaciones del análisis clásico de sistemas y a identificar las maneras y los métodos de combinar aspectos cualitativos y cuantitativos de los sistemas examinados (Ibid. p.14).

Un paso hacia el establecimiento de tal aproximación transdisciplinaria se dio con el concepto de síndrome del WBGU y del PIK. Este acercamiento propicia una transdisciplinaria orientada tanto a la detección de problemas dentro del análisis del CG; así como a la mitigación y prevención de sus desarrollos potencialmente peligrosos.

## 17.2 Integración de los enfoques idiográfico y nomotético en la investigación

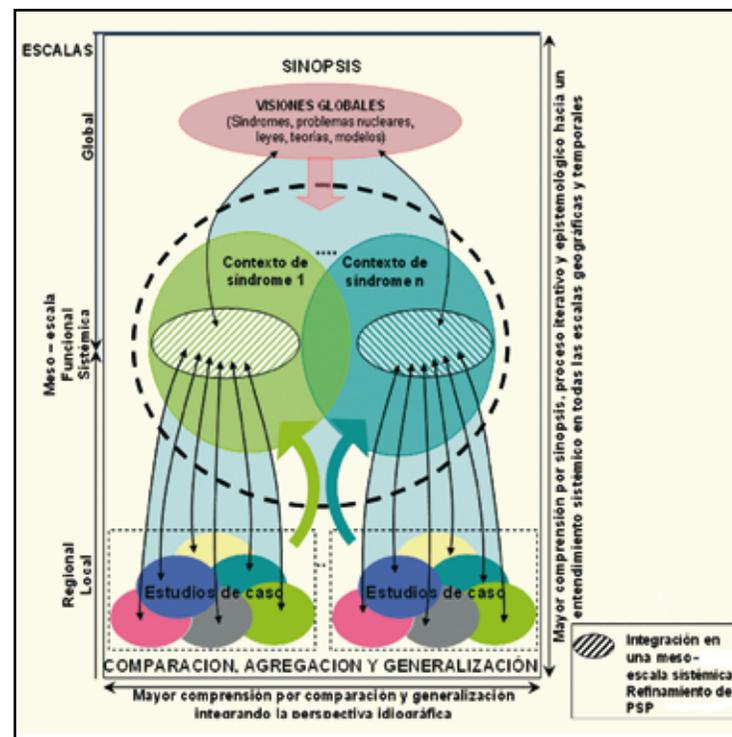
Uno de los objetivos del enfoque de síndrome es orientarse a la investigación aplicada de la sostenibilidad ambiental, para contribuir en forma concreta al desarrollo sostenible. La adaptación específica del concepto por el NCCR complementa su utilidad para apoyar la investigación transdisciplinaria, bajo la conjunción de los enfoques idiográfico y nomotético<sup>11</sup>.

Lo que se busca es traspasar su dicotomía histórica para que puedan ser desarrolladas investigaciones con una comprensión mayor en una mesoescala sistémica, con la combinación adecuada de las dos aproximaciones. La hipótesis subyacente del NCCR es:

*“El cambio global se manifiesta indistintamente en diversos entornos o ambientes con diversos problemas y potenciales, conduciendo a impactos y a respuestas localmente diferentes. A pesar de estas diferencias, los patrones típicos de las interacciones civilización-ambiente se pueden identificar en un nivel sistémico agregado”* (Cassel-Gintz, op cit. p. 30). La integración de estos dos enfoques involucra conceptos de escala sistémica, de representación espacial y temporal. Su combinación se da en dos direcciones “bottom-up” (desde lo idiográfico) y “top-down” (desde lo nomotético) conducentes a una comprensión acumulativa sistémica en una mesoescala, que es donde ambos convergen. Ver **Figura 5**.

En la escala sistémica global, se proporciona una sinopsis para los desarrollos problemáticos del cambio ambiental global. Con base en evaluaciones de sistemas globales y el conocimiento experto, los modelos y las teorías, se formula una primera hipótesis de las conexiones sistémicas de los elementos agregados de la interacción sociedad-naturaleza. A esta escala, se define solamente las relaciones cualitativas, monotónicas<sup>12</sup> y las funciones no específicas (Ibid. p. 45).

**Figura 5.** Combinación de los enfoques idiográfico y nomotético en una mesoescala sistémica



Fuente: Cassel-Gintz, 2003. Modificado por Alzate, B.

Allí se describen la extensión temática, espacial y temporal de los elementos de la transformación ambiental y de su sostenibilidad. Un papel metodológico de esas visiones a escala global es proporcionar caminos para la evaluación integrada y el posicionamiento global (distribución espacial, dinámica temporal y calidad de la ocurrencia) de los problemas centrales de la interacción sociedad-naturaleza en contextos o entornos específicos<sup>13</sup> (Ibid.). Ver en la **Figura 5** el lugar de esos contextos.

En una aproximación más idiográfica, proveniente de la escala local, los resultados de investigaciones combinadas contribuirán a una comprensión

<sup>11</sup> **Idiografía:** del griego idios: propio para uno; para describir casos aislados e intentando entender cada caso separadamente (Webster's 1989 en Cassel-Gintz 2003).

**Nomotesis:** del griego nomos: ley, costumbre; seguir una ley singular. Aquí las leyes de la Tierra. Búsqueda de los principios universales abstractos (Cassel-Gintz, 2003).

<sup>12</sup> El razonamiento deductivo es una forma **monotónica** de razonar, que produce argumentos que preservan la verdad. En un sistema monotónico todos los axiomas utilizados se conocen como verdaderos por sus propios méritos, o pueden ser derivados de otros hechos conocidos como verdaderos (Rodríguez, P. F).

<sup>13</sup> Estos contextos de síndromes según el NCCR describen los entornos o ambiente biofísico, sociocultural, económico, institucional y político, donde tienen lugar los conjuntos específicos de patrones de interacciones civilización-ambiente (PSPs). En ese sentido definen los límites del sistema en los cuales se asume que diversos conjuntos de PSPs conectados pueden ser identificados. Tres contextos han sido determinados: Áreas de Montaña-Tierra baja; Áreas semiáridas en transición; Áreas urbanas y peri-urbanas.

acumulativa, que mejorará el entendimiento de los procesos en los contextos globales de síndrome empleando la *comparación, agregación y generalización*. Esto permite la incorporación de una variedad de relaciones funcionales específicas derivadas de diversos estudios de caso dentro del patrón general causa-efecto de un PSP, siempre que ellos satisfagan los criterios monotónicos. La integración de estos focos más locales se utiliza como base para una evaluación integrada total de la situación y para la formulación de las medidas

de mitigación apropiadas concernientes a los diversos contextos de síndrome (Ibíd. p. 32). Ver en la **Figura 5** la elipse rayada donde se da esa integración.

Este proceso se da bajo la integración de las diversas disciplinas, investigadores y estudios de caso que se ocupan de los tópicos del desarrollo y de la transformación ambiental. El ánimo es superar las desventajas de ambos enfoques, presentadas en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.** Desventajas de los enfoques nomotético e idiográfico

Desventajas de la nomotesis	Desventajas de la idiografía
Despojado de contexto	No hay reproducción
Los resultados estadísticos no son aplicables para estudios de caso aislados	Carencia de generalización
Vacíos en los datos	Enfocado en los detalles. Carencia de concentración en lo esencial

Fuente: Cassel-Gintz, 2003

El conflicto de la ideografía y la nomotesis también se presenta en la cuestión de la escala. Las escalas grandes (estudios locales) se podrían relacionar con los acercamientos idiográficos y las escalas pequeñas (estudios globales o regionales) con la investigación nomotética.

Un problema fundamental en la investigación dirigida hacia la sostenibilidad ambiental ocurre por la no correspondencia de las escalas entre los tópicos

de los impactos y las intervenciones en el dominio político/socioeconómico y ecológico/ambiental. Aún cuando las interacciones entre la sociedad y el suelo ocurren principalmente en los niveles más detallados de escala (Leemans 2001, en Cassel-Gintz, *op cit.* p. 34), los esfuerzos de la política hacia la sostenibilidad ambiental se emprenden en las escalas globales y regionales en forma de tratados y de agendas de sostenibilidad (Cassel-Gintz, *op cit.*).

# 2 Un esquema metodológico para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental

En esta instancia se consolida un esquema metodológico que conduzca al diagnóstico de la sostenibilidad ambiental, bajo los enfoques teóricos y conceptuales presentados anteriormente y que sirven de andamiaje a los procesos y desarrollo metodológico por etapas.

## 2.1 Esquema metodológico general

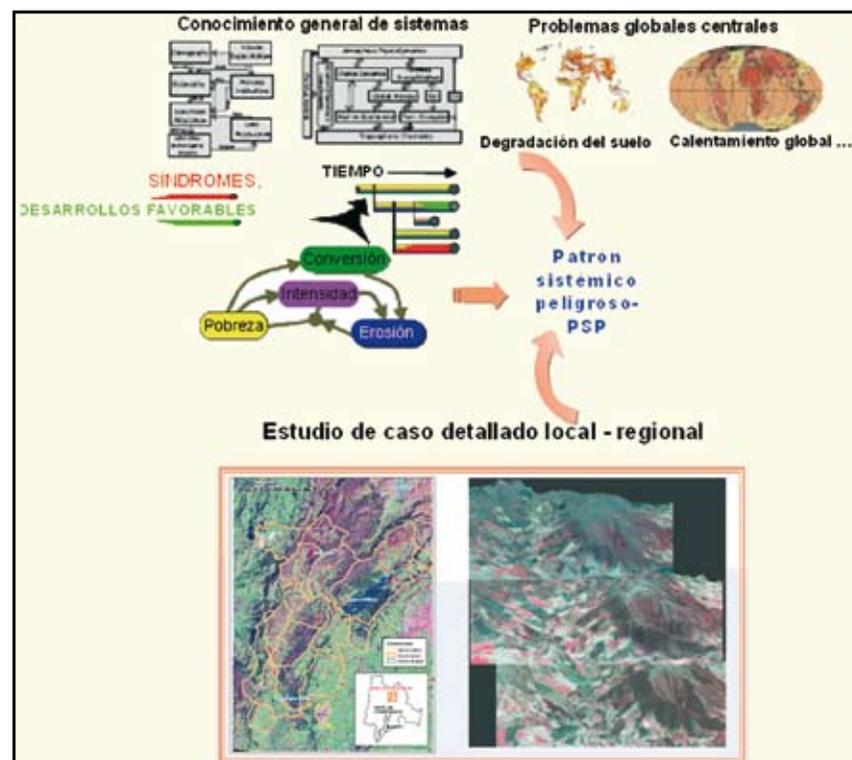
El esquema metodológico planteado se basa en el enfoque propuesto por el NCCR (presentado en el numeral 1.7.2). Lo que se pretende entonces es abordar el análisis de las interacciones sociedad-naturaleza a una mesoescala funcional sistémica. Allí se tendrá la convergencia de los enfoques nomotético e idiográfico. De arriba hacia abajo, lo nomotético se abarcará mediante las visiones globales existentes sobre síndromes (que fueron descritas anteriormente), las leyes y modelos que delinean las redes causa-efecto dentro de las interacciones sociedad-naturaleza. De abajo hacia arriba, lo idiográfico será abordado a través de información secundaria e información primaria de los niveles regional y local.

Esto conducirá al diseño, a un nivel sistémico agregado, del patrón sistémico peligroso (PSP), donde podrán ser develados caminos hacia la no sostenibilidad ambiental y caminos favorables o caminos hacia la sostenibilidad. Dicho patrón de deterioro ambiental explicará las interrelaciones entre elementos *particulares* (obtenidos desde lo local) y definirá funciones específicas dentro del patrón general causa-efecto. Esa convergencia de enfoques de lo local con las visiones globales, será la base para la evaluación integral de la sostenibilidad ambiental.

Este mismo mapa de la interacción sociedad-naturaleza abarcará diversas escalas temporales y espaciales y reflejará aquellas subredes con sus vínculos

para los cuales la política hacia la sostenibilidad ambiental deberá emprenderse en escalas locales, regionales y globales. Ver **Figura 6**.

**Figura 6.** Esquema marco de la metodología aplicada



Fuente: Cassel-Gintz, 2003. Modificado por Alzate B.

## 2.2 Síndromes como indicadores de sostenibilidad ambiental

Para acercarse al diagnóstico de la sostenibilidad ambiental, el concepto de síndrome se hace operativo de diversas formas. Una de ellas es a través de los indicadores sistémicos ambientales – ISA espaciales, los cuales hacen parte de los *indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación*, que se constituyen en la base para la identificación y evaluación de la transformación ambiental con un método estandarizable.

Los ISA espaciales son compilados en las diversas etapas de desarrollo del análisis de síndromes. Ellos pueden presentar características del síndrome respectivo (por ejemplo, dimensiones cualitativas y cuantitativas, síntomas, características del sistema, evaluación de daños) y constituyen perfiles de síndromes específicos (WBGU, 1997). Para una región se pueden tener varios de esos *perfiles de síndromes*. Estos serían ya indicadores sistémicos o de *tercera generación* (ver discusión sobre estos indicadores en el capítulo 4).

Los mencionados indicadores no solamente identifican tendencias complejas e insostenibles dentro de la transformación ambiental sino que también las evalúan. La sostenibilidad está presente cuando la manifestación regional de perfiles individuales o todos los perfiles de síndromes se mantienen dentro de ciertos límites (ver modelo de barrera de quiebre en 1.5.1.1).

El presente trabajo solo abarcará el desarrollo de ISA espaciales para la caracterización y evaluación de algunas tendencias y sus interrelaciones, dentro de un síndrome específico. Esto se desarrollará como un ejemplo de aplicación a partir de la construcción teórica, conceptual y metodológica adelantada. Sin embargo, para el abordaje de esa tarea, se hace necesario conceptualizar y diseñar, inicialmente, el mapa de interacciones del sistema sociedad-naturaleza para el síndrome objeto de estudio, permaneciendo indudablemente, un amplio potencial de investigación para el diseño y aplicación de muchos otros indicadores de tercera generación, a partir de ese último aporte entregado.

## 2.3 Desarrollo metodológico por etapas

Este desarrollo metodológico se plantea para cualquier zona de interés, donde se haga perentorio el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental, con un alcance de análisis y síntesis a una mesoescala sistémica, bajo los enfoques ya descritos.

### 2.3.1 Mapa conceptual de interrelaciones sociedad-naturaleza: la integración horizontal

Dentro del enfoque de síndrome, el mapa conceptual hace alusión a la integración horizontal de interacciones del sistema sociedad-naturaleza. En esta etapa serán identificadas las interdependencias entre los síntomas específicos de los síndromes, sus estructuras básicas y sus interconexiones. Es desarrollada en diversas fases que a continuación se detallan.

#### 2.3.1.1 Determinación de síntomas (tendencias) derivados de la transformación ambiental

Los síntomas<sup>14</sup> o tendencias se consideran como cualidades de la transformación ambiental, que surgen de los desarrollos problemáticos en curso, de la interacción sociedad-naturaleza. Se diferencian de acuerdo con las diversas esferas que traspasa lo ambiental: biósfera, atmósfera, hidrósfera, pedósfera, litósfera, población, economía, psicosocial, social, técnico-científica y político-institucional. Para cada una de ellas existen detectados, hipotéticamente, determinados síntomas (en el nivel global), los cuales van siendo detallados mediante la revisión de los estudios de caso de un nivel más detallado (regional o local).

#### 2.3.1.2 Primeras hipótesis sobre las conexiones sistémicas

Partiendo de los síndromes de cambio global establecidos por el WBGU (ver **Tabla 1**), se fundan unas primeras hipótesis sobre las conexiones sistémicas de los diversos síntomas involucrados en la interacción sociedad-naturaleza. Con este fin son determinados, preliminarmente, los síndromes presentes y se esquematizan sus conexiones sistémicas o patrones de interacciones. Para cumplir con este último objetivo, se emplea un instrumento en el cual las tendencias e interrelaciones se presentan en forma gráfica (ver **Figura 3**). Con ayuda de las redes de interrelaciones hipotéticas, es posible describir las conexiones más relevantes y obtener un cuadro general claro y comprensivo de los síndromes de transformación ambiental para una zona de interés.

#### 2.3.1.3 Asignación de síntomas a determinados síndromes

En esta fase se diseña una matriz donde las columnas corresponden a los síndromes (como generalidades) detectados en el área de interés; mientras que las filas representan las tendencias ambientales, como causas-consecuencias de la transformación ambiental (detectadas anteriormente). Las celdas de la

<sup>14</sup> Ver detalles en el concepto de síndrome y sus elementos 1.5.2.

matriz son marcadas donde quiera que una tendencia contribuya significativamente a un síndrome dado. Esto se realiza con el fin de observar que los síntomas o las tendencias centrales de la transformación ambiental, en la zona analizada, producen una relación a diversos síndromes al tiempo.

En esta etapa resultan ser de utilidad, además de la detección de síndromes para la zona y su caracterización (que se realiza en la etapa anterior) la información primaria que se obtenga del trabajo de campo desde lo local y los resultados de la problemática ambiental obtenidos a partir de ese ejercicio.

Una vez obtenida la matriz, se procede a analizar cuáles síndromes se relacionan con la mayor cantidad de tendencias y la relación existente entre los mismos síndromes, debido a que comparten esas tendencias o síntomas.

#### 2.3.1.4 Diseño de las redes de interrelaciones a una mesoescala funcional sistémica

Hasta este momento se tiene una caracterización cualitativa del comportamiento generalizado para la zona. Esta caracterización es cierta solamente bajo ciertas condiciones naturales y socioeconómicas (la suposición básica del concepto de síndrome es la existencia de varios de tales grupos de interrelaciones). Esas condiciones, para la zona objeto, se detallan en esta instancia de integración con la perspectiva local/regional.

Para los diversos síndromes son refinadas las primeras hipótesis de patrones, con base en esas perspectivas locales/regionales<sup>15</sup>, las cuales se integran para conformar una estructura analítica sobre *el patrón sistémico peligroso - PSP*. Dicho PSP establece el mecanismo central o nuclear del síndrome, con los tipos de funciones y retroacciones o subredes de interacción.

El proceso se materializa a través de la incorporación de una variedad de relaciones funcionales específicas (derivadas de los estudios existentes y de nueva información local, recogida en el trabajo de campo), dentro del patrón funcional general causa-efecto.

#### 2.3.2 Ordenación y levantamiento de la información ambiental

Ya con el mapa de interrelaciones sociedad-naturaleza conceptualizado y diseñado, se procede a ordenar la información ambiental<sup>16</sup> alrededor de tal mapa. Es decir, este último es el que orienta la organización de información

<sup>15</sup> Abarcan la percepción y el conocimiento de la comunidad, de los tomadores de decisiones y expertos, los estudios existentes sobre problemas locales y problemas potenciales locales del área de interés, entre otros.

<sup>16</sup> La información ambiental hace alusión aquí a la relacionada con todas las dimensiones de la interacción sociedad-naturaleza (social, económica, fisicobiótica, política e institucional).

secundaria y la detección de vacíos para levantar nuevos datos, lo cual es fundamental pues se optimizan costos y tiempo en esta actividad, que la mayoría de veces se realiza como punto de partida, sin tener una orientación clara y concisa de lo que requiere realmente el análisis de la sostenibilidad ambiental.

Es deseable emplear inicialmente un esquema matricial, como el propuesto por Vega (2005), que parta de la consideración de la interrelación de los ecosistemas con las dimensiones ambientales. Ese marco de organización de la información es un aporte valioso, además, para la generación de indicadores de sostenibilidad ambiental simples y compuestos (o de primera y segunda generación).

El esquema matricial se alimentará por las filas con los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas o con sus peligros y perjuicios; por las columnas con el estado (cantidad, calidad, disponibilidad); presión (uso, deterioro); y gestión (procesos, productos-servicios, impactos, efectos) de cada dimensión que permea lo ambiental (Ibid, p. 129).

La información de *estado*, estará relacionada con la cantidad, calidad y disponibilidad de los bienes y servicios ambientales; la información de *presión* con los factores de uso y/o deterioro de esos bienes; y la información de *gestión* con procesos adelantados, productos-servicios obtenidos, así como los impactos y efectos generados por la sociedad y el Estado en la búsqueda de la sostenibilidad ambiental (Ibid., p. 128).

En la matriz se incluye además la información referente a peligros o perjuicios de los ecosistemas, específicamente las amenazas de origen natural, que bajo la intervención humana pueden adoptar un origen antropogénico. En la **Tabla 4**, se muestra un ejemplo de matriz de organización de información ambiental para la interacción de la dimensión económica con los ecosistemas. Las otras dimensiones consideradas podrían agregarse a dicha matriz. Obsérvese que esta última puede utilizarse como insumo para la relación simple de las dimensiones de lo ambiental con los ecosistemas de la zona de interés.

Cada una de las relaciones se verificará dentro del mapa de interrelaciones sociedad-naturaleza conceptualizado y se podrá concluir acerca de los datos e información que se posee y la que será necesario levantar.

#### 2.3.3 Caracterización y evaluación de tendencias y sus interrelaciones dentro de un síndrome

En esta etapa se hacen operativos algunos aspectos de la sostenibilidad ambiental, a través de ISA, los cuales se enfocan en diversas características y en la funcionalidad y dinámica del sistema sociedad-naturaleza. A continuación se describen las etapas para la construcción de diversos tipos de esos indicadores.



**Tabla 4.** Matriz de relaciones ecosistemas – dimensión económica, en el marco ordenador Estado-Presión-Gestión

ECOSISTEMA			DIMENSIÓN ECONÓMICA									
	Tema	Identificación	Estado			Presión		Gestión				
			Cantidad	Calidad	Disponibilidad	Uso	Deterioro	Procesos	Prod-servicios	Impactos	Efectos	
Bienes y servicios	Recursos naturales renovables	Agua	ID1	K1	Q1	Dp1	U1	D1	P1	PS1	I1	E1
		Aire	ID2		Q2			D2	P2	PS2	I2	E2
		Suelo	ID3	K3	Q3	Dp3	U3	D3	P3	PS3	I3	E3
		Flora	ID4	K4	Q4	Dp4	U4	D4	P4	PS4	I4	E4
		Fauna	ID5	K5	Q5	Dp5	U5	D5	P5	PS5	I5	E5
	Recursos naturales no renovables	Petróleo	ID6	K6	Q6	Dp6	U6	D6	P6	PS6	I6	E6
		Carbón	ID7	K7	Q7	Dp7	U7	D7	P7	PS7	I7	E7
		Gas Natural	ID8	K8	Q8	Dp8	U8	D8	P8	PS8	I8	E8
		Metales	ID9	K9	Q9	Dp9	U9	D9	P9	PS9	I9	E9
	Servicios ambientales	Minerales	ID10	K10	Q10	Dp10	U10	D10	P10	PS10	I10	E10
Regulación (clima, ciclos naturales, atmósfera)		ID11	K11	Q11		U11	D11	P11	PS11	I11	E11	
Soporte (biodiversidad y actividades antrópicas)		ID12	K12	Q12		U12	D12	P12	PS12	I12	E12	
Peligros o perjuicios	Control (contaminación, erosión)	ID13	K13	Q13		U13	D13	P13	PS13	I13	E13	
	Amenazas	Geología	ID14				U14	D14	P14	PS14	I14	E14
		Geomorfología	ID15				U15	D15	P15	PS15	I15	E15
		Enfermedades	ID16	K16			U16	D16	P16	PS16	I16	E16
		Plagas	ID17	K17			U17	D17	P17	PS17	I17	E17
Incendios		ID18	K18			U18	D18	P18	PS18	I18	E18	

**Nota:** En los cuadros con rayado no está presente la relación.  
**Fuente:** Vega, 2005. Modificado por Alzate, B., 2006.

### 2.3.3.1 Las cualidades de la transformación ambiental - ISA espaciales descriptivos

Los síntomas de los síndromes específicos, cuyas redes causa-efecto ya fueron diseñadas, bajo una identificación y caracterización específicas se constituyen en indicadores *descriptivos* de las cualidades de la transformación ambiental. A ellos pueden ser asignados valores de verdad continuos dentro de unas categorías lingüísticas (“alto”, “bajo”, “fuerte”, “débil”, etc.)<sup>17</sup>, las cuales los describen. Ellos pueden ser ubicados espacialmente y combinados con otros para generar indicadores compuestos de las cualidades ambientales de la zona. Ver ejemplos en el numeral 3.2.7.1

<sup>17</sup> Ver detalle en el numeral 2.6.1.1 de lógica difusa

### 2.3.3.2 Disposición al síndrome e intensidad de síndrome activo – ISA espaciales analíticos

Con estos indicadores espaciales se busca caracterizar el síndrome analizado y realizar una evaluación sistémica de la transformación ambiental en el área de estudio. Las ubicaciones de características en el espacio materializan ISA complejos y analíticos para el PSP y su síndrome. El proceso emplea la metodología del grupo QUESTIONS del instituto de Potsdam para la investigación del impacto climático (Cassel-Gintz et al.1997; Cassel-Gintz y Petschel-Held 2000).

Fueron manejados dos conceptos: *propensión o disposición e intensidad (Cassel-Gintz, 2003)*.

*Propensión o disposición:* Este concepto es importante para analizar la funcionalidad de los PSP(s) de los síndromes y para la identificación de áreas con condiciones desfavorables, que conducirían a desarrollos no sostenibles de activarse allí algún síndrome. Con dicho concepto se identifican, entonces, las condiciones bajo las cuales las interacciones entre los síntomas llegan a ser activas.

El análisis se efectúa empleando la lógica difusa (conjuntos difusos y operadores difusos) para integrar aspectos cualitativos con la información cuantitativa (Cassel-Gintz et al. 1997; Cassel-Gintz y Petschel-Held 2000). El concepto de lógica difusa se utiliza para definir los valores de membresía de las variables o pertenencia a categorías lingüísticas (alto, bajo, etc.) con respecto a su contribución a la disposición del PSP. Además, se utilizan operadores difusos apropiados para la combinación de las diversas variables de disposición. El modelamiento espacial se lleva a cabo a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

*Intensidad:* Mientras que la propensión determina si existen las condiciones para que un PSP se active, la intensidad mide si sus caminos no sostenibles están realmente activos en cierta región. La intensidad es la medición de las fuerzas de los desarrollos sintomáticos del mecanismo del PSP. Los síntomas y las interacciones de la base constitutiva del PSP, deben estar activos como una condición necesaria para la existencia del PSP y de sus caminos sintomáticos posibles. Por lo tanto, los indicadores de los síntomas y las interacciones centrales contributivas tienen que ser examinados.

### 2.3.3.3 Análisis temporal de los procesos de transformación – ISA espaciales de dinámica

En el paso analítico siguiente, se identifican diversos desarrollos temporales del PSP en cuestión con ayuda del análisis multitemporal de dinámica ambiental. El avance de la transformación ambiental es caracterizado mediante el uso de indicadores de intensidad, velocidad y es ubicado espacialmente para cada fecha. Con este análisis también se trata de identificar dos posibles caminos:

- De desarrollo no sostenibles o síndromes - que conducen a estados degradados de las condiciones de vida y del ambiente
- De desarrollos favorables de tiempo - gana-gana - que conducen a los estados mejorados de las condiciones de vida o del ambiente. Estos también se entienden como caminos sostenibles del desarrollo, los cuales hay que tender a alcanzar (Cassel-Gintz, *op cit.* 2003).

### 2.3.4 Diseño de la investigación para la mitigación de Patrones Sistémicos Peligrosos: la Integración vertical

Una vez los síndromes de transformación ambiental se han identificado, organizado y diagnosticado, a través de ISA o de tercera generación, es entonces posible diseñar la investigación necesaria, para la mitigación de los PSP de los síndromes, como parte fundamental de la gestión ambiental sistémica.

Con esta fase se puede demostrar que el concepto de síndrome es un medio adecuado para desarrollar la investigación acerca de la transformación ambiental, en el marco de la interrelación sociedad-naturaleza, e integrarla dentro de una nueva estrategia. La metodología que se puede usar es la del WBGU, 1997. En ésta, son separados los enlaces centrales y las subredes del síndrome y para cada uno de estos complejos se establecen los aspectos relevantes de la investigación.

## 2.4 Fuentes de información

La información que se usa para el desarrollo de este tipo de investigaciones proviene de fuentes primarias y secundarias.

*Fuentes primarias:* consiste en información proveniente del contacto personal con la comunidad y con actores institucionales relacionados con el tema de trabajo a través de entrevistas, talleres, observación o cuestionarios. Estas se llevan a cabo indagando acerca del vínculo entre el individuo y el entorno físico y social, aproximándose a las motivaciones, creencias, tradiciones e interpretaciones de ese entorno por parte del primero<sup>18</sup>.

De otro lado, la información espacial multitemporal, por ejemplo de uso y cobertura vegetal, puede ser generada a partir de mosaicos fotográficos digitales y de imágenes satelitales. El procesamiento de algunos datos de entrada, a través de funciones de análisis espacial, puede dar origen también a información nueva, con un valor agregado.

*Fuentes secundarias:* consiste en estudios de caso desarrollados en las zonas de interés. La información espacial y alfanumérica empleada para el modelamiento con SIG, puede provenir de bases de datos ya desarrolladas y georreferenciadas.

<sup>18</sup> Méndez O. L. Comunicación oral.



## 2.5 Calidad de datos y de información obtenida

Para la validación de los indicadores que se deben obtener, pueden llevarse a cabo ejercicios de comparación, que indirectamente muestran la calidad de los datos usados como entradas a los modelos y su aceptabilidad; sin embargo este es un tema que abarca además estimaciones sobre la exactitud temática y de posicionamiento (en relación con la georreferencia), para establecer si ellos se encuentran dentro de los umbrales aceptados por los diversos estándares a nivel nacional y mundial.

Como esto resulta ser un proceso largo y de cuidado, que además requiere recopilación de datos “fieles” de campo, lo cual se sale del alcance del presente trabajo, en este numeral se hacen algunas observaciones sobre los errores de los datos de entrada y las inconsistencias que de alguna manera podrían, alejar los resultados obtenidos de la realidad.

1. Las resoluciones espaciales de las fotografías y las imágenes de satélite pueden ser diferentes. Las fotografías podrían poseer escalas desde 1:25.000 hasta 1:60.000 (como se experimentó en la aplicación desarrollada en el marco de la investigación). Incluso la escala más pequeña es óptima para el objetivo del trabajo, pero, son mucho más detalladas que las que ofrecen las imágenes con resoluciones espaciales de 20 m. y hasta 80 m, como ocurre con las imágenes MSS del 77. De allí que la discriminación de elementos realizada por cada una de las imágenes sea variable y mientras en unas existe mayor detalle, en otras hay generalización. Lo deseable sería unificarlas.
2. La resolución espectral de esas imágenes también es variable. Las fotografías trabajan únicamente en el rango visible del espectro electromagnético (monocromático), lo cual impide una buena diferenciación de tipos de coberturas y dificulta la clasificación automática. Las imágenes satelitales también presentan resoluciones espectrales diversas. Mientras unas ofrecen discriminación en cuatro o más bandas del espectro electromagnético, otras sólo ofrecen tres.
3. De otro lado, las georreferenciaciones tampoco son precisas el 100%. Ellas dan errores por deformaciones debidas a la geometría de la tierra o al movimiento del sensor en el momento de la captura de datos. Se suman a éstas las interferencias radiométricas por la existencia de nubosidad, topografías y sombras.
4. La cartografía en formato vector, también posee errores cartográficos, y,

en muchos casos, una georreferenciación diferente a la obtenida para las imágenes.

5. Los errores inherentes al temático experto, que puede hacer omisiones aplicando los algoritmos, realizando operaciones o plasmando su criterio que no tiene que ser precisamente el aceptado por los demás expertos temáticos.

Cada una de estas dificultades se pueden enfrentar en el desarrollo de este tipo de trabajos. Para ellas se buscan salidas, se realizan las mayores correcciones posibles y se efectúa un seguimiento detallado a cada fase de los modelos con el fin de corregir las inconsistencias. Con técnicas de procesamiento digital también se superan algunos obstáculos y, para otros, es necesario realizar largas ediciones en forma manual y supervisada.

## 2.6 Métodos de integración y análisis espacial

### 2.6.1 La integración de lo cualitativo y cuantitativo

El estudio de problemáticas propias de situaciones dinámicas y complejas, como es el caso de la sostenibilidad ambiental, en la cual confluyen una cantidad significativa de variables, se puede realizar empleando diversos enfoques. Uno de ellos utiliza técnicas basadas en análisis cuantitativos que se fundamentan en el cumplimiento de leyes representadas mediante modelos matemáticos exactos, los cuales dada su efectividad y el grado de madurez alcanzado en campos de aplicación resultaron muy adecuados. Sin embargo, el uso de estas técnicas cuantitativas para el análisis de sistemas urbanos, biológicos, sociales y ambientales resulta incompatible, ya que este tipo de sistemas no está gobernado por ecuaciones diferenciales o integrales (Zadeh, 1973).

Las técnicas cuantitativas convencionales empleadas para el análisis de sistemas, son intrínsecamente inadecuadas para tratar sistemas humanísticos o sistemas cuya complejidad es comparable con los humanísticos. El problema aquí es que a medida que se incrementa la complejidad de un sistema, disminuye la habilidad para realizar aseveraciones precisas y aún con algo de significado acerca de su comportamiento (Ibíd.).

En relación con la dinámica ecósfera-antropósfera, se han dado dos caminos de acercamiento. De un lado, los acercamientos disciplinarios sectoriales tradicionales o “reduccionistas”, que de forma muy competente establecen las facetas cuantitativas particulares del cambio global. Por ejemplo, al determinar

los componentes de la estratosfera. Los resultados de estas investigaciones son impresionantes y muy importantes. Ellos constituyen una base esencial para caracterizar los elementos particulares, como punto de partida para una visión sistemática del espectro total de problemas. Sin embargo, la sola acumulación de tales resultados sin articulación, ni conexión, no refleja el carácter complejo de ese sistema bajo investigación (Schellnhuber *et al.* 1997).

En contraste con este primer enfoque, los supuestos modelos del mundo abordan holísticamente el análisis sistémico de la tierra; para eso hacen uso de simulaciones y de la realidad virtual. Ellos deben su existencia, en gran parte, al advenimiento de los computadores. La tendencia de dichos modelos es a mejorar la simulación, para acercarse cada vez más al carácter dinámico original, que requiere un grado de sofisticación tecnológica excesivo. Esto sería equivalente a generar un mapa a escala 1:1 de la realidad. Sin embargo, las dimensiones del comportamiento humano individual y colectivo no pueden ser uniformemente integradas en estos modelos con ecuaciones diferenciales para generar, en última instancia, “*máquinas de historia*” (Ibíd. p. 2).

De esta forma se está viendo la necesidad de desarrollar nuevos acercamientos. “*Esto requerirá sacrificar el rigor cuantitativo significativamente, pero no drásticamente, en favor de los aspectos cualitativos, intuitivos y de tipificación. La idea básica aquí es que el fenómeno total de cambio global no sea dividido en regiones, sectores o procesos sino sea entendido como co-evolución de patrones dinámicos de carácter evidente*” (Ibíd.).

De allí que el presente trabajo aborde métodos basados en una evaluación semi-cuantitativa específica, que reúne elementos de la teoría de los sistemas complejos, de la lógica difusa y de evaluaciones de juicio de los expertos.

A continuación se detallan algunos de esos métodos.

### 2.6.1.1 Lógica difusa

Una percepción difusa es un juicio de una condición física que no se mide con base en un método preciso sino que más bien se le asigna un valor intuitivo. Los defensores de la lógica difusa, afirman que cualquier cosa en el universo tiene algo de difuso, independientemente del equipo con el cual ha sido medido. No obstante, los datos medidos no difusos son la principal fuente de entrada al método de lógica difusa (por ejemplo la temperatura, la velocidad del motor, datos económicos, datos de los mercados financieros, etc.).

Cuando los seres humanos son la base para un análisis, se debe tener un mecanismo mediante el cual se asigne un cierto valor racional a los juicios

intuitivos sobre elementos individuales de un sistema difuso. Por lo tanto se debe traducir de lo difuso (“humano”) a los números que pueden ser utilizados por una computadora. Esto se realiza asignando a cada “juicio de las condiciones” un valor que está en el intervalo de cero a uno. Por ejemplo, si lo que se desea establecer es “qué tan caliente está un cuarto” alguien puede clasificarlo en 0.2 si la temperatura es -4 oC, y alguien más puede clasificar el cuarto en 0.9, o aún 1, si el termómetro marca los 34 oC<sup>19</sup>.

Esta técnica ha promovido el progreso de los sistemas expertos. En contraste con la lógica booleana<sup>20</sup> clásica, la lógica difusa hace uso de valores de verdad continuos entre 0 y 1, que de alguna manera reflejan evaluaciones difusas. Estos valores de verdad continuos corresponden a categorías lingüísticas<sup>21</sup> (caliente, nublado, alto, etc.) las cuales componen el conocimiento incierto.

La idea esencial de dicha técnica es que sobre la base de tanta información disponible como sea posible, las contribuciones diferentes de dicha información se evalúen en términos de categorías difusas, que entonces se compilan en forma de un árbol de evaluación lógica para obtener una sola medida difusa para la evaluación total (Petschel-Held *et al.*, 1999).

Este tipo de análisis fue apropiado dentro del presente trabajo, pues permitió combinar información de tipo cualitativo y cuantitativo, con grados de certeza variables tanto para los datos en sí mismos, como para el tipo de interrelaciones sistemáticas.

De acuerdo con Zadeh (1973), los elementos claves en el pensamiento humano no son los números sino más bien clasificaciones ontológicas en las cuales la transición de una clase a otra es más bien difusa en lugar de precisa. De hecho, según este mismo autor, la omnipresencia de lo difuso en el proceso del pensamiento humano sugiere que la lógica detrás del razonamiento humano no es la lógica bivaluada (verdadero o falso) tradicional y ni siquiera multivaluada, sino una lógica con verdades, conectividades y reglas de inferencia difusas.

Algunas de las ventajas de la técnica es que permite mapear el razonamiento cualitativo, usando indicadores cuantitativos, evitando así el modelamiento cuantitativo explícito con base en parámetros inciertos (Ibíd.).

<sup>19</sup> <http://www.fuzzy-logic.com/Ch1.htm>. Consultado en noviembre de 2006.

<sup>20</sup> La lógica booleana está compuesta por una serie de operaciones sobre las llamadas variables booleanas, que solo pueden tener dos valores o estados: Verdadero o falso, 0 ó 1 (en <http://www.moebius.org/trabajos/articulos/Logica%20booleana.html>); mientras que la lógica difusa usa todos los valores continuos entre cero y uno.

<sup>21</sup> Proporcionan una transición gradual de estados. Tienen capacidad para expresar y trabajar con observaciones y medidas imprecisas. Por capturar medidas imprecisas son más ajustadas a la realidad que las variables nítidas (notas de clase profesor José María Serrano Chica, en <http://www.dii.ujaen.es/~jmserrano/teaching/sistemasdifusos/pdfs/transpa3.pdf>



En el sentido de una formalización de lógica difusa, todas las categorías lingüísticas son caracterizadas por índices de membresía entre 0 (la categoría no aplica a la región del todo) y 1 (la categoría aplica completamente a la región). Un grado de membresía de las categorías lingüísticas (alto, medio, bajo, etc.), lo define cada variable en relación con su contribución al fenómeno analizado (Cassel-Gintz et al., 1997):

$$\mu \text{ (variableling.cat.)}, (0 \leq \mu \leq 1)$$

Los elementos principales de esta técnica son entonces las variables lingüísticas (por ejemplo, condición edafológica), caracterizadas luego por categorías lingüísticas (“insuficiente” o “alta” condición edafológica). A la cláusula lógica (ejemplo “alta condición edáfica”) se asignan valores de verdad continuos  $\mu$  entre cero (falso) y uno (verdadero), que permiten un mapa apropiado de los indicadores cuantitativos, en la categoría lingüística cualitativa (Ibíd. p. 139). El concepto del valor de verdad continuo requiere la extensión de los operadores booleanos AND y OR la cual no es única y tiene que ser adaptada a la semántica del respectivo conector, como se verá más adelante en los ejercicios de aplicación<sup>22</sup>.

El análisis geográfico del síndrome se realiza en varios pasos que integran al SIG con los conceptos de lógica difusa y razonamiento cualitativo. Los operadores de lógica difusa para los diversos indicadores generados se utilizan en el ambiente de los SIG, donde se incorporan los datos cuantitativos y cualitativos. Ambos se constituyeron en la herramienta para la toma de decisión multicriterio y multiobjetivo, en el análisis de los patrones funcionales de la interacción sociedad-naturaleza.

### 2.6.1.2 Ecuaciones cualitativas diferenciales

Esta técnica de análisis parte del principio de que un sistema físico puede describirse en términos de sus componentes y conexiones. La motivación de la técnica es la de capturar el conocimiento de sentido común de los expertos. Se enfoca en las estructuras internas y causales de un sistema y las interacciones entre sus componentes. Con ella se representa el conocimiento, mediante modelos cualitativos.

Los modelos constan de una serie de variables de estado (o parámetros) del sistema y un conjunto de restricciones que relacionan las variables. Para el presente trabajo se usaron las consideraciones de Petschel-Held et al. (1999),

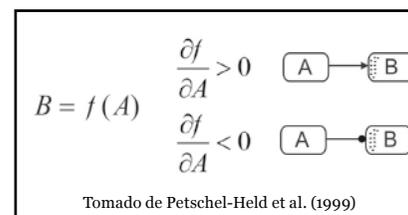
<sup>22</sup> Para una profundización sobre esta técnica en relación con los síndromes, referirse a Cassel-Gintz et al., 1997. Para teoría detallada sobre lógica difusa consultar a Zimmermann HJ (1991) Fuzzy Set theory-and its Applications, 2nd revised edn. Kluwer Academic Publishers, Boston.

para evaluación cualitativa de síndromes de cambio global, donde se expresa que las condiciones para las interacciones son geográficamente dependientes y por lo tanto ellas se pueden identificar espacialmente, en un espacio funcional F de cambio global.

Cada interacción está situada en uno o más sub-dominios dentro del espacio F. La transformación ambiental se puede analizar a través de los componentes de los síntomas contributivos y dentro de este enfoque cualitativo, cualquier interacción entre ellos es posible de especificar por su dirección, tipo (se refuerzan o se atenúan) y su conectividad.

Los diferentes aspectos de las interacciones se codifican con símbolos, como por ejemplo, las flechas con cabeza indican crecimiento monótono, la terminación redonda, un decrecimiento monótono. Los puntos y las integrales dentro de las elipses designan acciones sobre variables diferenciadas e integradas respectivamente (Ibíd. p. 299)<sup>23</sup>.

Por ejemplo, la siguiente función podría representarse gráficamente, con base en estas dos opciones de relación (crecimiento y decrecimiento, respectivamente).



### 2.6.2 Modelos de información espacial

Un modelo es el resultado de un proceso de construcción artificial mediante el cual algunos aspectos de un dominio (el dominio fuente) son representados en otro dominio (el dominio destino). El propósito del modelo es simplificar y abstraer el dominio fuente hasta ponerlo en términos de un dominio destino. Todo lo que suceda en el dominio destino puede ser interpretado en el dominio fuente (Worboys y Duckham, 2004).

Hay dos clases amplias de modelos de información geográfica: los modelos basados en campo y basados en objeto. El modelo basado en campo trata a la información geográfica como un conjunto de distribuciones espaciales. Cada distribución puede ser formalizada como una función matemática que va de

<sup>23</sup> Los autores del trabajo establecen diez tipos diferentes (los más sencillos) de ecuaciones diferenciales. Para los detalles remitirse allí.

un marco espacial (por ejemplo, una grilla regular colocada sobre un modelo idealizado de la superficie de la tierra) a un dominio de atributo (por ejemplo un modelo de elevación). De otro lado un modelo basado en objeto trata al espacio como poblado por entidades discretas e identificables cada una con su propia referencia espacial (Ibíd.).

La mayoría de análisis abordados para generar los diversos indicadores, en la presente investigación, trabajan a partir de modelos basados en campo. Para estos casos el marco espacial F, se construye con base en el conjunto de celdas (por ejemplo las de las imágenes satelitales) de las cuales se obtienen capas temáticas que se constituyen en las variables de entrada para la integración a través de operadores lógicos.

En el modelo basado en objetos los objetos espaciales se denominan “*espaciales*” debido a que existen dentro de un “*espacio*” que los contiene. La

especificación de la *espacialidad* de un objeto espacial depende de la estructura de su espacio *contenedor*, aunque la situación más común es considerar que el espacio fundamental es euclidiano y que cada objeto espacial lo especifica espacialmente por un conjunto de coordenadas o ecuaciones computables. De esta manera es posible especificar un conjunto de objetos espaciales primitivos a partir de los cuales se construyen otros más complejos. Aunque se han propuesto diversas clases de objetos primitivos, las primitivas de punto-línea-polígono son las más empleadas (Ibíd.).

Las operaciones definidas en el modelo basado en objeto, actúan sobre la referencia espacial de dos o más objetos espaciales, con el propósito de generar un nuevo objeto espacial. Existen muchas clases de operaciones entre objetos espaciales, pero las más empleadas son las orientadas a conjuntos, tales como unión, diferencia e intersección. Ver anexo 1 para mayor información.



# 3

## Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental a través de ISA espaciales o de tercera generación

La sostenibilidad ambiental requiere del seguimiento y caracterización de las transformaciones ambientales que, de alguna forma, implican la alteración de las funciones ecosistémicas y de los agentes de cambio. Una forma adecuada de hacer el seguimiento a esas variaciones es a través de los indicadores de sostenibilidad ambiental. El presente trabajo sugiere que la base para el desarrollo de dichos indicadores sea el mapa de interrelaciones de las esferas natural y socioeconómica (abarca lo político, institucional, ciencia y tecnología), con sus retroacciones y dinámicas funcionales, propias de un sistema. Si desde la base misma existe dicho mapa del modelo de la sostenibilidad, todo el proceso de generación de ISA espaciales, podrá llevarse a cabo con resultados más completos y con una visión holística e integral de la problemática ambiental.

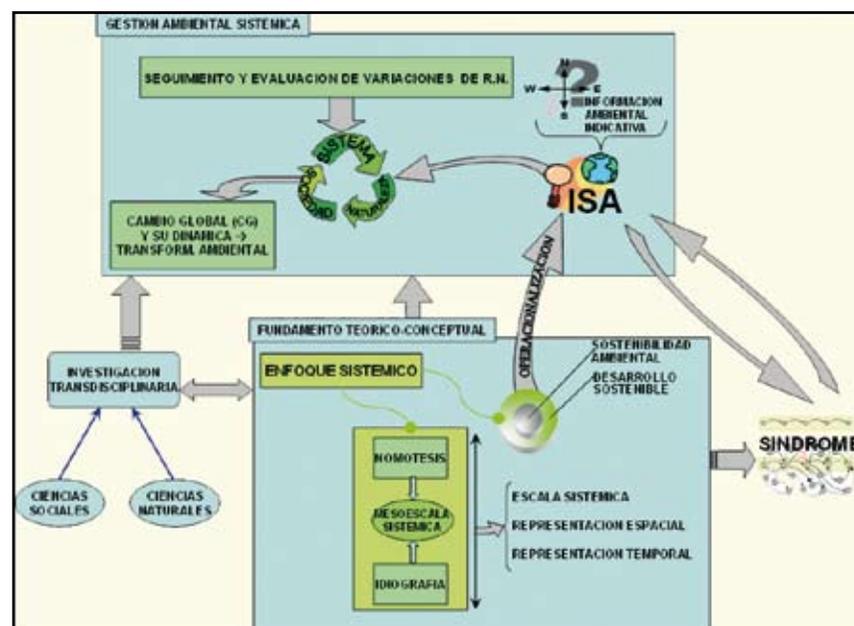
### 3.1 Fundamentos y consideraciones para el desarrollo de ISA espaciales

Tanto los aspectos teóricos, conceptuales y temáticos relacionados con el desarrollo de ISA espaciales, como las consideraciones para su abordaje, se esquematizan en la **Figura 7**.

Como muestra la figura, el desarrollo de ISA de tercera generación se enfoca en diversos tópicos interrelacionados entre sí. En primera instancia se presenta la conexión existente entre la teoría de los sistemas y la sostenibilidad ambiental. La complejidad de la sostenibilidad ambiental y el gran número de elementos que la conforman, conducen a que la teoría de sistemas se pueda utilizar como base para explicar las numerosas interacciones e interrelaciones, que caracterizan el dinamismo del concepto mismo. Dicha complejidad se produce ya que la sociedad y los ecosistemas (las dos esferas centrales constitutivas del concepto) se integran de cerca dentro de un sistema de interacción mutua, que al

descifrarse descubre los problemas complejos de transformación ambiental, los cuales es necesario analizar en forma integrada desde diversos puntos de vista y en una variedad de niveles (WBGU, 1997).

**Figura 7.** Esquema de aspectos teórico conceptuales y temáticos para el desarrollo de ISA espaciales



Desde esta perspectiva, la transdisciplina cobra un gran significado, pues requiere de una forma de investigación conjunta, necesaria para el abordaje

de los fenómenos complejos de transformación. Ellos no pueden analizarse de manera completamente sectorial o desde la perspectiva de una sola disciplina, porque son el resultado de interacciones multidimensionales entre la sociedad y los ecosistemas. Esa transdisciplina se encuentra entre las ciencias sociales y naturales y desempeña un papel activo o participación de los grupos sociales, que están ocasionando y, a la vez, siendo afectados por desarrollos problemáticos del cambio global (CG). Por lo tanto, el CG en su totalidad y dinámica representan un sistema complejo de la interacción sociedad-naturaleza, que no se puede describir y pronosticar por investigación disciplinaria individual, centrada solamente en fenómenos individuales (Cassel-Gintz, 2003).

La sostenibilidad ambiental, como cualidad de la transformación mutua entre los ecosistemas y la sociedad, es un aspecto fundamental del desarrollo sostenible, el cual es imposible caracterizar sin la consideración de la dimensión ambiental, base natural del desarrollo mismo (ver **Figura 1**).

Los aspectos descritos ya son importantes de por sí, pero se hace imprescindible analizar su aplicabilidad en diversos contextos. De allí la consideración de hacer operativo el pensamiento complejo y la teoría sistémica, base para el abordaje de las relaciones sociedad-naturaleza. Hacer operativa tal complejidad de interrelaciones es posible a partir de *enfoques diversos de indicadores*. Dentro de este último aspecto, se abordó la aproximación del síndrome (WBGU, 1997; Cassel-Gintz, 2003), como una herramienta transdisciplinaria potencial para investigaciones orientadas a la sostenibilidad y al ambiente, como base para el desarrollo de ISA espaciales o de tercera generación.

El concepto de síndrome no es solamente una herramienta adecuada para la sistematización del CG y las transformaciones ambientales, que demuestra una manera posible de hacer operativa la sostenibilidad ambiental, sino que la adaptación específica del concepto por el Swiss National Centre of Competence in Research - NCCR, da pie a una investigación multi-objetivo. De un lado ella es transdisciplinaria y, de otro, facilita el estrechamiento de la brecha existente entre los enfoques nomotético e idiográfico y, por ende, el análisis en escalas sistémicas agregadas, de diversos desarrollos temporales. (Cassel-Gintz, *op cit.*).

El desarrollo de ISA espaciales requiere el abordaje de métodos y técnicas como las que ya fueron descritas. Un papel fundamental juegan las tecnologías de la información geográfica (TIG), las cuales permiten el “análisis de las localizaciones, distribuciones, asociaciones, interacciones y evoluciones espaciales al abordar principalmente la relación entre las sociedades y su entorno (visión ecológica) y la diferenciación de áreas sobre la superficie terrestre (visión corográfica)” [Buzai, 2006 p. 19]

El enfoque presentado en el presente trabajo, propone que para el desarrollo de los ISA espaciales se aborde primeramente todo el bagaje teórico-conceptual del cual debería dimanar el diseño de las interrelaciones sociedad-naturaleza que han conducido a los caminos de no sostenibilidad o sostenibilidad ambiental. Con este mapa de interrelaciones, se realizaría la ordenación y levantamiento de la información ambiental, para proseguir con la caracterización y “medición” de las tendencias y sus interrelaciones dentro del síndrome. De esto último se originan los ISA espaciales de diversos tipos.

A continuación se aplica esta secuencia metodológica en la zona del páramo de Guerrero, en la cual se hace perentorio el análisis de la sostenibilidad ambiental, usando ISA espaciales; más aún, si se considera la fragilidad de los ecosistemas allí presentes y su deterioro, frente a la transformación histórica que ellos han sufrido por ser estratégicos en el aprovisionamiento de bienes y servicios ambientales.

## 3.2 Estudio de caso páramo de Guerrero

El esquema metodológico desglosado en el capítulo 2, fue aplicado para el desarrollo de algunos ISA espaciales tipo. Esto se llevó a cabo en la zona de páramo de Guerrero y los procedimientos con los resultados de cada etapa se presentan a continuación<sup>24</sup>.

### 3.2.1 Marco contextual

El área seleccionada para el desarrollo de este proyecto comprende los terrenos localizados sobre los 2600 m.s.n.m. del eje oeste de la cordillera oriental en los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tausa (Departamento de Cundinamarca). Está conformada por un conjunto de islas de vegetación entre las que sobresalen el páramo de Guerrero propiamente dicho, páramo Alto y Laguna Verde, pero que en el estudio se denominarán en conjunto como el páramo de Guerrero (CI y CAR, 2001).

Existen allí sistemas ecológicos complejos con gran diversidad y que contienen comunidades de vegetación adaptadas a las condiciones climáticas y topográficas allí existentes (especialmente en zonas de páramo). La

<sup>24</sup> El desarrollo de esta aplicación fue llevado a cabo por el autor durante los años 2005 y 2006, dentro del trabajo de investigación “Indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación en la gestión ambiental sistémica. Caso páramo de Guerrero. Cundinamarca” para optar al título de magister.

diversidad de flora y fauna que alberga es amplia y muchas de las especies que allí habitan son endémicas de estos ecosistemas. Las actividades económicas de los municipios del área de estudio (Zipaquirá, Cogua y Tausa), corresponden principalmente al sector primario de la economía, dentro de las cuales sobresale la agricultura, la ganadería y la extracción de carbón (Ibíd.).

Desafortunadamente, los procesos de transformación del medio natural, han ocasionado contaminación, sobreutilización de los recursos naturales y la introducción de especies foráneas, los cuales están deteriorando de manera acelerada el páramo de Guerrero. En especial, llama la atención el impacto ocasionado por la actividad agropecuaria consistente en cultivos de papa y ganadería extensiva. Estos impactos son de muy alto efecto, sobre todo si se toma en consideración que éste es un ecosistema del cual depende el agua para muchos municipios como Zipaquirá, Cogua, Tausa e incluso Bogotá (Ibíd.).

La actividad agrícola se concentra en la producción de cultivos transitorios de papa, arveja y zanahoria, que responden a la tradición productiva de la zona así como a las condiciones de mercado. A pesar de presentarse condiciones para otros cultivos, no se encuentran por ejemplo frutales, ya sean transitorios o permanentes. Gran parte de los cultivadores de la zona, no son propietarios de los predios en los cuales adelantan la actividad agrícola, sino que se trata de arrendatarios, quienes en busca de una mayor eficiencia en su inversión, no consideran los daños que puedan causar al suelo, la vegetación y la fauna y siembran indiscriminadamente, afectando así los recursos existentes (Ibíd.).

Durante los últimos años se ha incrementado gradualmente el área de cultivos hacia las partes altas del páramo, situación que está relacionada con las dinámicas de acuerdo con los diversos contextos socioeconómicos en el tiempo, el menor ataque de plagas a mayor altitud y el desarrollo de variedades de papa más resistentes a las heladas, entre otros. El desarrollo de una agricultura de alta producción con base en abonos químicos y plaguicidas, igualmente ha conducido a una producción mayor y más segura, pero también a la contaminación de suelos, aguas, y la desaparición de especies de fauna en la región. (Ibíd.).

La ganadería constituye el segundo renglón de la economía de la región, las áreas que son dejadas en barbecho son empleadas como potreros para el desarrollo de la ganadería y posteriormente regresan a la actividad agrícola, convirtiéndose en un ciclo productivo cultivos – pastos – cultivos. Al igual que la agricultura esta actividad ha traído consecuencias negativas para el ecosistema de páramo, ya que el pisoteo del ganado ocasiona la compactación y posterior pérdida de la capacidad de retención de agua en el suelo (Ibíd.).

Debido a las características geológicas del área de estudio, gracias a las cuales se presentan yacimientos carboníferos principalmente, se desarrolla en el área la actividad minera. La zona de Río Frío (Zipaquirá), Cogua y gran parte de Tausa, constituyen unas de las principales áreas con carbón coquizable en Colombia. Esta actividad económica es desarrollada con tecnologías no apropiadas, lo que ocasiona en muchos casos un impacto negativo no solo sobre los recursos naturales, sino en la salud, tanto de los pobladores de la zona, como de los trabajadores de las minas. Aunque la actividad minera, genera amplios beneficios económicos, éstos no son reinvertidos en la zona, en aspectos que mitiguen el impacto ambiental ocasionado por los procesos de extracción ni en mejorar las condiciones de vida de los pobladores locales (Ibíd.).

El trabajo abarcó, en gran parte, la transformación de la cobertura vegetal y del uso de suelos entre las décadas del 40 y 2000, ocurrida en la zona descrita anteriormente. También se abordan algunos tópicos relacionados con la apropiación de nuevas tecnologías agrícolas y las dinámicas sociales, institucionales y políticas ocurridas alrededor de este hecho. El área de estudio se presenta en la **Figura 8**.

### 3.2.2 Síntomas (tendencias) de la transformación ambiental en el páramo de Guerrero

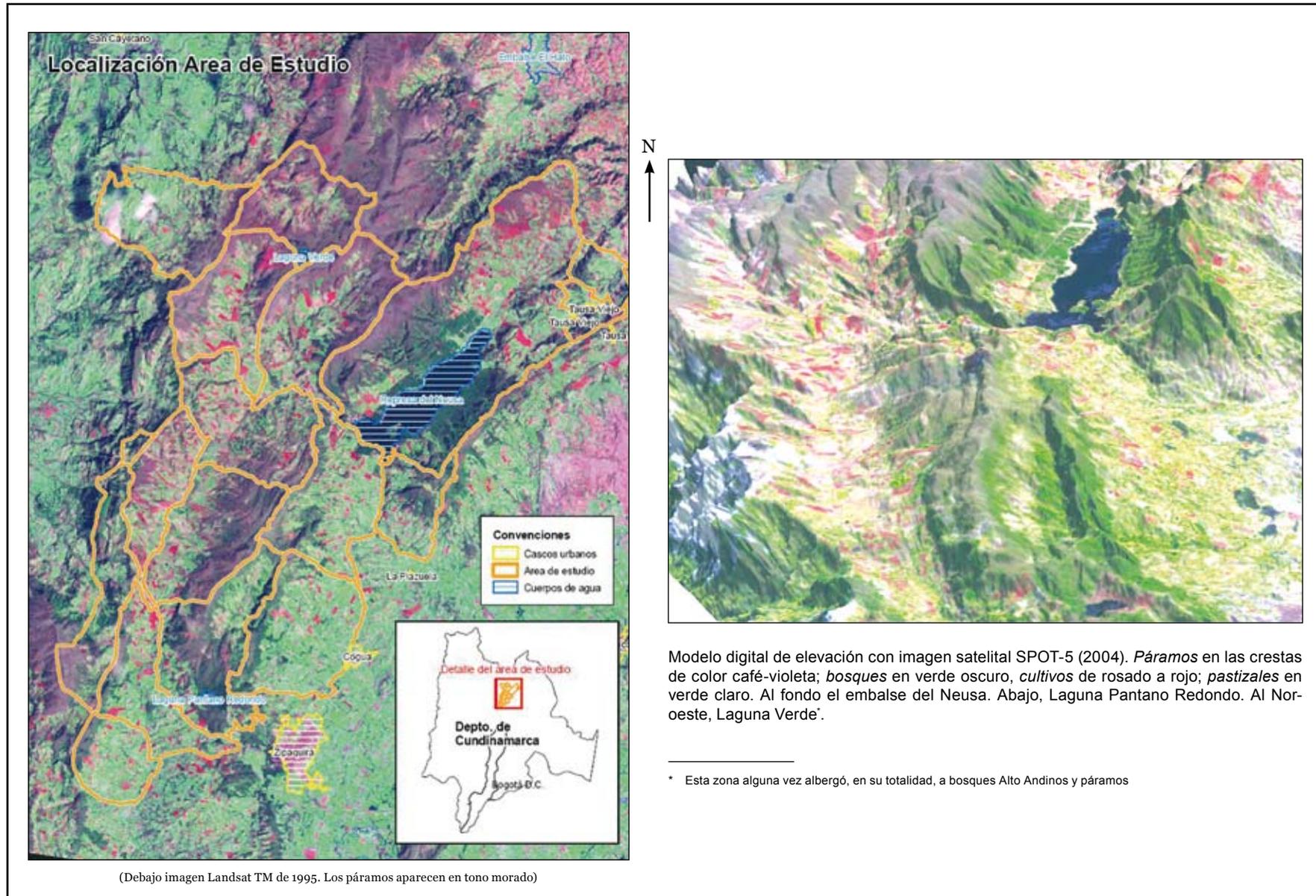
El esquema general de síntomas o tendencias de la transformación ambiental para páramo de Guerrero se presenta en la **Figura 9**.

Estas tendencias se establecieron por cada una de las esferas que hacen parte del análisis. Existen algunas que no corresponden necesariamente a una esfera, pues son transversales a varias de ellas; sin embargo se trataron de ubicar en aquella con la cual se relacionan mayormente.

Es importante tener presente que estos síntomas o tendencias se muestrean como *cualidades* de la transformación ambiental y que por lo tanto, no se cuantifican para el presente ejercicio, el cual se ubica en un nivel de hipótesis, de conocimiento de problemas globales y comprensión general; sin embargo, algunos de ellos podrían cuantificarse en forma de indicadores de primera o segunda generación (remitirse al numeral 4.2).

Por ser las primeras hipótesis sobre tendencias y síntomas de la transformación ambiental debido a las interacciones sociedad-naturaleza en la zona, ellos no se explicarán en detalle en esta instancia, pero más adelante, en la integración que se hace con lo local-regional (en la mesoescala sistémica) algunos de ellos se abordan e interrelacionan según las redes causa-efecto.

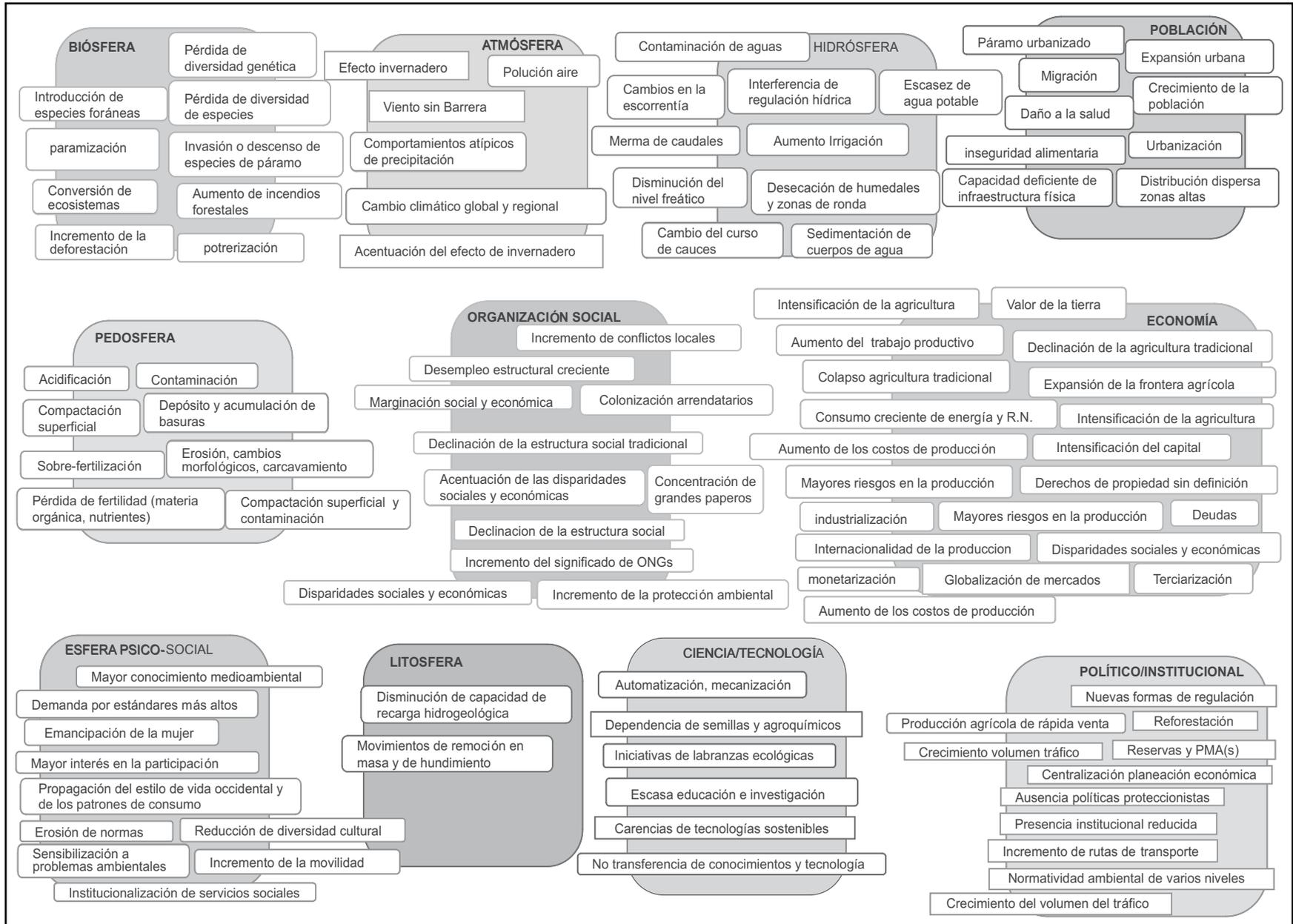
**Figura 8.** Delimitación del área de estudio.  
Zona de páramo de Guerrero (Cundinamarca)



Modelo digital de elevación con imagen satelital SPOT-5 (2004). *Páramos* en las crestas de color café-violeta; *bosques* en verde oscuro, *cultivos* de rosado a rojo; *pastizales* en verde claro. Al fondo el embalse del Neusa. Abajo, Laguna Pantano Redondo. Al Noroeste, Laguna Verde\*.

\* Esta zona alguna vez albergó, en su totalidad, a bosques Alto Andinos y páramos

**Figura 9. Síntomas (tendencias) de la transformación ambiental en el páramo de Guerrero**



Fuente: WBGU, 1997. Modificado por Alzate, B., 2006

### 3.2.3 Primeras hipótesis de interconexiones sistémicas sociedad-naturaleza en el páramo de Guerrero

Estas primeras hipótesis fueron adaptadas de los síndromes de CG para la zona del páramo de Guerrero. A continuación se describen, en forma preliminar, los síndromes allí presentes, tomando como base la caracterización del WBGU, 1997; con las modificaciones ajustadas al área de interés. Dentro de la metodología expuesta, este paso permite obtener un panorama general comprensivo a una escala funcional sistémica global y abarca el enfoque nomotético.

#### 3.2.3.1 Síndrome de sobreutilización de suelos marginales

##### *Generalidades*

El síndrome comprende una compleja red de factores que ocasionan la degradación ambiental. Esto se da en un entorno donde las condiciones físicas (principalmente la pendiente, los suelos líticos y de características edafológicas pobres) restringen el uso agrícola en localizaciones, que por este motivo, pasan a denominarse “marginales”

La característica clave del síndrome es el uso de suelos “marginales” por parte de una población rural pobre, la cual habita en un contexto que ofrece pocos o ningunos medios alternativos del sustento, lo que ocasiona una degradación sucesiva de su ambiente (que avanza, por lo general, hacia las partes más altas). El páramo de Guerrero como zona de alta montaña andina es muy vulnerable a los impactos humanos debido a su vocación relativamente débil para la producción agrícola y alta para la protección y conservación ambiental.

Las manifestaciones típicas del patrón del síndrome para la zona, son la degradación del suelo (por ejemplo la erosión, pérdida de fertilidad), la marginación socioeconómica, la alteración del ciclo hidrológico, la conversión de ecosistemas naturales y semi-naturales en agroecosistemas, la pérdida de biodiversidad y cambios en el clima regional.

La economía de una gran parte de la zona es de producción agrícola de rápida venta (cultivos de papa). Los campesinos amenazados con la marginación, enfrentan la degradación de su ambiente natural o seminatural debido a la sobreutilización de tierras (sobrepastoreo, quemadas, sobreproducción) por actividades agropecuarias (cultivos de papa y ganadería extensiva). Esta degradación permanente del ambiente, sumado a otros factores socioeconómicos,

condiciona al campesino a espacios “marginales”, a los cuales migra, con la sucesiva reconfiguración fisicobiótica y social de la *frontera agrícola*.

Las inmediaciones de esa frontera corresponden a bosques y páramos con reservas valiosas de biodiversidad, donde se localizan fuentes hídricas estratégicas para la región. Allí se va produciendo la homogeneización gradual de los ecosistemas debido al establecimiento de los potreros y cultivos de papa, acompañado de actividades de quema y deforestación.

Los problemas específicos del síndrome para la población incluyen el aumento de la pobreza, el éxodo rural y aumento de conflictos sociales y políticos sobre los recursos escasos. Son componentes importantes del síndrome, el reemplazo de la agricultura tradicional por técnicas de manejo intensificado de suelos, el uso de agroquímicos; así como, el abandono del sistema de rotación de cultivos, o períodos más cortos de barbecho.

El desarrollo del síndrome ocurre dentro de un contexto más amplio de transformación social como evidencia del colapso de los sistemas de solidaridad tradicional; ruptura de los mecanismos de los precios locales por las nuevas condiciones de producción y transformación cultural (WBGU, *op cit.* p. 117)

##### *Mecanismos funcionales del síndrome*

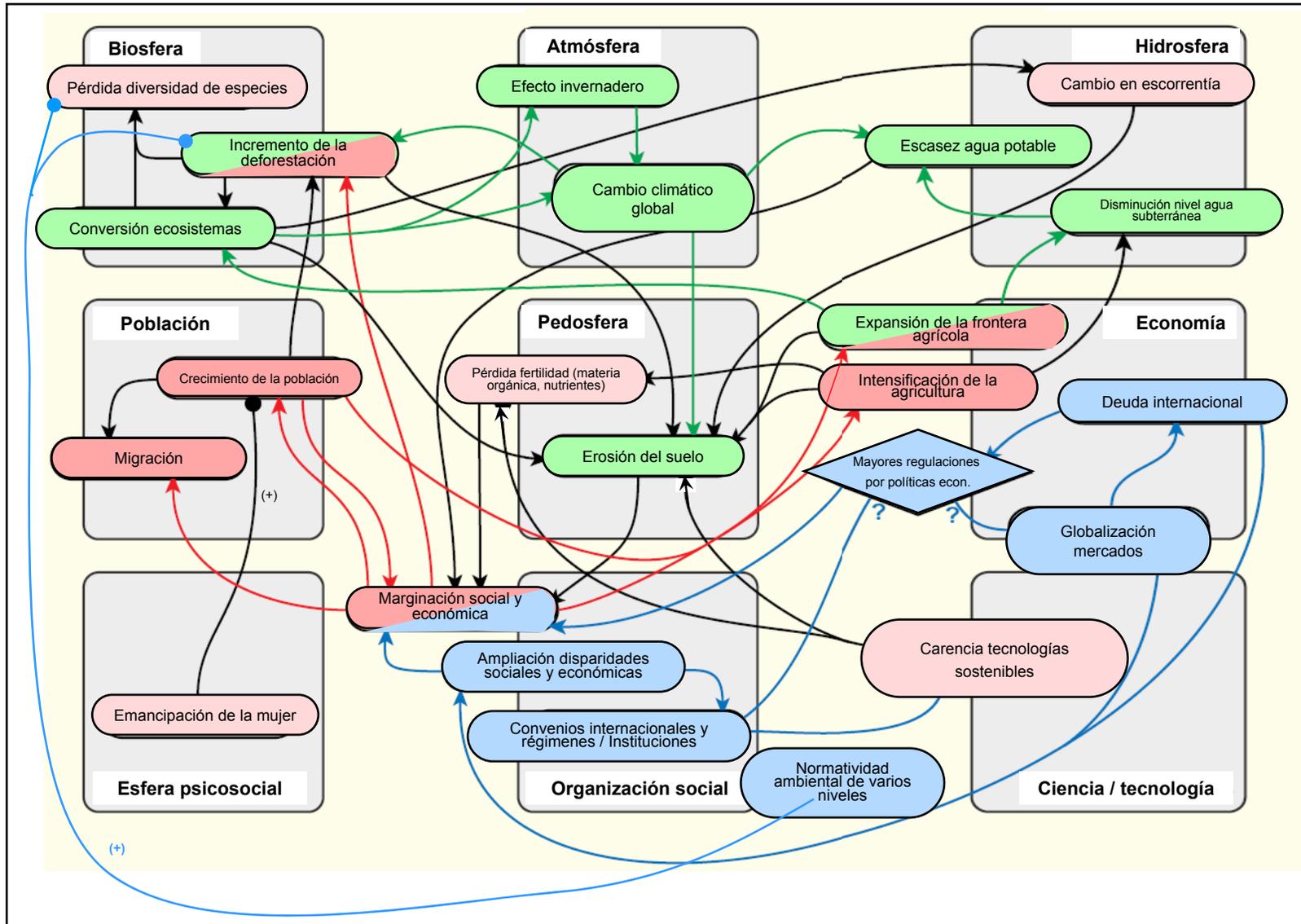
La red gráfica de interrelaciones del síndrome (el patrón general de tendencias o síntomas y sus interrelaciones a nivel de hipótesis) se presenta en la **Figura 10**.

Los mecanismos mostrados en la figura *actúan en diferentes escalas de tiempo y con diferente fuerza*. La conexión de líneas con flechas al final indica un reforzamiento<sup>25</sup> (relación creciente), mientras que las líneas con círculos sólidos indican una interacción de atenuación (relación decreciente).

Las líneas de conexión designan las interrelaciones que son de significancia para el síndrome. Los patrones considerados como importantes para el síndrome, pero que hacen parte del contexto global se representan en cajas de rombos (WBGU, 1997).

<sup>25</sup> Corresponde con la terminología presentada en la Figura 3 Nociones sistémicas relacionadas con el concepto de síndrome.

**Figura 10.** Red de interrelaciones del síndrome de sobreutilización de suelos marginales (nivel de hipótesis)



Fuente: WBGU, 1997. Modificado por Alzate B. 2006

A continuación se describe, en forma general, los diversos patrones funcionales del síndrome, constituidos por el mecanismo central o círculo vicioso central y sus respectivas subredes de interacciones:

El reforzamiento que se va a describir, constituye el *mecanismo central del síndrome* (o círculo vicioso central. Aparece en negro en la **Figura 10**), que se da en una escala temporal corta a intermedia. La libertad de acción de los grupos socialmente afectados se limita gradualmente debido al reforzamiento mutuo de la pobreza (marginación social y económica), la intensificación/expansión de la agricultura y la degradación del suelo.

Esto último conduce a la pérdida de la productividad y a la retroacción del uso de tecnologías, con el reforzamiento del empobrecimiento. Ese círculo compite con los efectos directos de ingresos (en términos de bienes básicos para el soporte de la vida) de las actividades agrícolas, las cuales hasta cierta medida, pueden contrarrestar la pobreza (Ibid, P. 7). Este círculo vicioso no es una estructura aislada, sino que está interrelacionado con otros numerosos patrones de transformación.

Además del mecanismo central existe una subred de interrelaciones, la cual acarrea un *cambio climático regional y hasta global*, que opera en una escala temporal mucho más larga. Consiste en un conjunto de interacciones en las cuales la conversión de los ecosistemas naturales y semi-naturales trae modificaciones al clima local con efectos climáticos en las diversas escalas (regional y hasta global). Este cambio climático ha tenido, a su vez, impactos significativos sobre los recursos hídricos en la región del páramo de Guerrero. Lo que hace a esta interacción importante es que se despliega por periodos largos de tiempo y así impone una cierta inercia en la dinámica del síndrome (subred verde en la figura). [Ibid, p.133].

Otra subred que rodea al mecanismo central está constituida por las *condiciones económicas, políticas y sociales* (subred en azul), las cuales son a menudo inapropiadas para la población rural. El agricultor se hace dependiente de la estructura de la política agraria nacional, caracterizada por modelos de producción que han promovido en la zona la adopción de agricultura de rápida venta y de monocultivo (cultivo de papa), con aspectos reforzados por la revolución verde (uso de agroquímicos y tecnología mecanizada). Esto ha mostrado al inicio, una mayor productividad, pero a mediano y largo plazo esa productividad se hace dependiente del uso de semillas, agroquímicos y abonos, y la degradación del ecosistema se acelera más.

De otro lado, los latifundios influyen también en el deterioro de ecosistemas debido a que los grandes productores de papa en la zona, compran terrenos o

los alquilan y en ellos realizan una producción con maquinaria agrícola que degrada el suelo y que va introduciendo hacia las partes más altas cultivos y pastos para el ganado.

Las tendencias económicas nacionales e internacionales (como la globalización de mercados, el endeudamiento internacional, el régimen del comercio mundial) pueden funcionar como causas importantes de marginación dentro del síndrome, accionando o acelerando su mecanismo central. Las características principales de la desarmonía de la política económica nacional dentro del síndrome consisten en asegurar un sustento adecuado para la población urbana, sin enfrentar los problemas de los productores agrícolas. Toda la atención se centra en los monocultivos con orientación exportadora; mientras se descuida la seguridad alimentaria mediante el desarrollo del sector agrícola local; además se crean formas sostenibles de manejo de la tierra a través de incentivos incorrectos (Downing y Lüdeke, 2002).

Muchos de estos factores se refuerzan con influencias internacionales: por ejemplo, el desarrollo agrícola se bloquea debido a las importaciones de países con agricultura altamente subvencionada, el alto endeudamiento induce a una orientación a corto plazo; mientras que los créditos se ligan a ciertos paradigmas del desarrollo y a los criterios relacionados, que son impuestos por las instituciones internacionales (Ibid., p. 11).

Con respecto al endeudamiento internacional, puede observarse una reducción de las inversiones en el capital social, natural, y humano (salud, educación, manejo y protección de recursos, infraestructura) en favor de los gastos actuales (políticamente más importantes pero no sostenibles) (Ibid.).

Otra subred más representa las opciones de *respuesta de la población afectada*, que son muy restringidas en este síndrome. Esas restricciones están íntimamente ligadas a las otras interrelaciones. En muchos casos la única salida es migrar a otras regiones o a los asentamientos urbanos. La presión de la población y la pobreza en avance se refuerzan una a otra (subred en rojo). [WBGU, *op cit*, p.133 ]

#### *Retroacciones positivas*

El síndrome de sobreutilización de suelos marginales para la zona de Guerrero también alberga gérmenes de mejora y un potencial latente para romper el círculo vicioso central. En la **Figura 10** pueden observarse patrones como el efecto atenuador de algunas normas y legislación que han llevado en la zona a declarar dos áreas de reserva forestal protectora, dentro de las cuales se ha dado una restauración natural de la vegetación, reversando, en parte, la

funcionalidad del ecosistema. También han sido adelantados programas de recuperación de los márgenes de cauce, para la regulación del ciclo hidrológico, entre otras acciones.

De otro lado, son visibles algunos brotes de preservación del suelo, a partir de programas de labranza mínima o ecológica o por transferencia de tecnologías adaptadas para un manejo más adecuado del suelo y su preservación.

A continuación se presenta solo la generalidad de otros síndromes identificados para la zona, los cuales deberían ser diagnosticados con mayor detalle en investigaciones posteriores.

### 3.2.3.2 *Síndrome de degradación ambiental por explotaciones mineras*

En la zona del páramo de Guerrero existe daño ambiental causado por la minería de carbón a pequeña escala, a cielo abierto y de socavación, obviando la preservación del ambiente natural. También se trabaja en la extracción y transformación de arcillas, canteras y areneras

Aunque en algunos sectores la minería se efectuó en períodos limitados (décadas) dejó atrás daños ambientales permanentes y, algunas veces, irreversibles. A pesar de ser sistemas de producción pequeños y dispersos, generan un fuerte impacto en la atmósfera, agua y suelos.

Una distinción se puede realizar entre dos manifestaciones del síndrome (WBGU, 1997): los llamados impactos ambientales resultantes de la toxicidad (aumento de sustancias altamente tóxicas en suelos y aire) y los impactos morfológicos que resultan cuando los materiales son removidos para extraer volúmenes grandes de materias primas (grava y carbón). Habitualmente este movimiento ocasiona inestabilidad del terreno con los subsiguientes movimientos de remoción en masa (como deslizamientos y derrumbes). También se reportan impactos por captaciones ilegales en los cauces de los ríos y los vertimientos de las aguas sobrantes sobre los mismos.

Una característica típica del síndrome es el deterioro de los ecosistemas naturales y de los suelos agrícolas, particularmente en el caso de la minería a cielo abierto. Otros efectos consisten en el cambio en la morfología y la subsidencia de la superficie del suelo. Esto, a su vez, tiene impactos en procesos hidrológicos como la escorrentía, incremento de la contaminación por sedimentos en los ríos y la tabla de agua. La pequeña minería subterránea de carbón, ha intervenido de alguna manera en el nivel freático, interrumpiendo flujos sub superficiales que en su tránsito natural afloran en superficie como manantiales puntuales intermitentes (C.I. y CAR, 2001).

Otro efecto notorio es la erosión y deterioro del suelo. El aumento de sustancias tóxicas lleva a la contaminación de los suelos, además de los efectos que esto tiene sobre la biodiversidad. Las consecuencias negativas para la población local consisten en daños para la salud (Ibíd.).

Sumado a lo anterior, las operaciones mineras involucran tecnologías obsoletas bajas en eficiencia de energía y materia prima, que ocasionan mayor impacto al ecosistema. Adicionalmente, el paso de maquinaria pesada para actividades de excavación genera emisiones de gases y provee caminos de penetración para las personas que ejecutan actividades de caza, tala de bosque y el establecimiento de colonos que traen consigo el desarrollo de la tierra y la ampliación de la frontera agrícola.

De otro lado, existe una ausencia de planes de manejo ambiental que permitan mitigar los impactos generados por esta actividad y de sanciones las cuales se contemplan en las normas ambientales y en el código minero, pero que no se aplican, por la falta de control efectivo por parte del estado.

Las regalías obtenidas por la actividad minera, no se invierten en compensar los impactos ambientales producidos, ni son revertidas para el mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores locales, agravando la degradación ambiental (Rabinovich y Filemón 2002). A lo anterior se suma que la mayoría de los mineros son foráneos, por lo cual no son muy aceptados por los habitantes locales.

Los principales *síntomas* o tendencias de este síndrome son la pérdida de biodiversidad, contaminación de aire y agua, cambio en la escorrentía, deterioro de suelos y efectos negativos en la salud debido a la polución (Ibíd.).

### 3.2.3.3 *Síndrome de inseguridad hídrica*

Los principales síntomas que presenta el síndrome en la zona son: La contaminación de los cuerpos de agua, afección de la salud humana por esa razón; las demandas crecientes de agua son cada vez menos soportadas debido a la sobreutilización del recurso en diversas actividades económicas, la cobertura de servicios de saneamiento básico no es suficiente, la poca disponibilidad de agua para la producción agrícola ha llevado a implementar localmente sistemas de riego, las intervenciones hidráulicas han interferido en el ciclo hidrológico comprometiendo la estabilidad de los ecosistemas y la conservación de la biodiversidad; la biodiversidad acuática se ha disminuido notoriamente, emersión de conflictos entre usos y usuarios del recurso, disminución de volúmenes de agua y su calidad en los acuíferos. Sumado a lo anterior, existen problemas de gobernabilidad en la gestión del agua y las inversiones



públicas y privadas son inferiores a las requeridas para el abordaje del problema (Tudela, 2004).

Existen algunas tendencias positivas como son las reacciones de las comunidades hacia la preservación del recurso y la concientización por parte de algunas de ellas de la necesidad de proteger las rondas con vegetación y con cercas. Así mismo ha habido algunas iniciativas a nivel institucional, como la expedición para la caracterización del río Frío realizada por la CAR (regional Zipaquirá) y las Alcaldías de Zipaquirá, Tabio, Cajicá y Chía en 1998, con el fin de proponer los programas para su recuperación.

El ciclo hidrológico característico de la zona de interés constituye una condición de fondo para el desarrollo del síndrome. En la región la precipitación no es abundante, como lo demuestran los valores totales anuales que son del orden de 1000 m.m./año. De otro lado, la “precipitación horizontal” se ha visto notoriamente disminuida a causa de la deforestación de la selva andina y el páramo por la dinámica de la frontera agrícola, convirtiéndose ésta en una de las causas de disminución de la oferta hídrica ya que con la pérdida de vegetación desaparecen las trampas de humedad que toman el agua directamente de la niebla y la incorporan a los ecosistemas (CAR, 1998).

De otro lado, existe una distribución desigual tanto espacial, como temporal del recurso, caracterizada por una densidad más alta de población en los sitios de mayor déficit de agua y unos períodos de oferta mayor, concentrados en los meses de abril y mayo y parte de junio; y la segunda durante los meses de octubre y noviembre. Por lo general en los meses secos la mayoría de campesinos no pueden cultivar, y tratan de compensar extendiendo al máximo sus cultivos en los meses de mayor disponibilidad de agua (Ibíd., p. 19).

Debido a la expansión de la frontera agrícola que ocasiona la destrucción de la cobertura vegetal original, se ha afectado la capacidad productora y reguladora del páramo, haciendo que la oferta de agua disminuya mientras que la demanda es creciente (C.I. y CAR, *op cit.* p. 18). Varias subredes caracterizan al síndrome en la zona (adaptadas según Tudela, *op cit.*, p. 43):

- *La subred de sobreutilización y agotamiento del recurso:* se refuerza en la alta presión sobre el recurso, ejercida por los diversos usos consuntivos. Entre ellos se cuentan el agrícola, ganadero, el abastecimiento público urbano y rural, el minero y el agroindustrial. Varios de los cuerpos de agua de la zona, presentan vulnerabilidad a la sequía ya que desde sus nacimientos la intervención agropecuaria desmedida, ha alterado la regulación hídrica en las épocas de verano e invierno, convirtiéndose en un factor crítico para el aporte de caudales a los ríos (CAR, *op cit.*)

Es notorio el secamiento tanto de los humedales, como de sus zonas de ronda, donde la cobertura vegetal original fue totalmente arrasada, para dar paso a la implantación de actividades agropecuarias, mediante procesos de desecación, llenado y drenaje de su sistema hídrico. El fenómeno se aprecia principalmente en las partes altas de los municipios de Zipaquirá y Tausa. Esto conlleva la degradación de este sistema de regulación hídrica, que retiene y acumula agua en los períodos lluviosos y aporta agua en los secos, manteniendo así el equilibrio anual. La pérdida de la cobertura vegetal y la falta de arborización alrededor de quebradas y nacimientos originan también la disminución de caudales, especialmente en períodos secos.

El uso del agua para riego mediante la utilización de motobombas, genera la reducción sensible del caudal de algunos cuerpos de agua, además de la toma que se hace del recurso por mangueras y zanjas. Es muy frecuente la toma de agua, en forma ilegal, por bombeo para el riego, haciendo captaciones de caudales por encima de los requerimientos necesarios, lo cual lleva a un sobreuso y desperdicio del recurso, haciendo, que los pobladores de la parte más baja de las cuencas, en algunos casos no cuenten con el suficiente caudal de agua e incluso que en las épocas de mayor estiaje no dispongan de él (Ibíd.).

Sumado a esto, en diversos sitios han sido construidos reservorios para suplir los problemas de disponibilidad hídrica durante los períodos de sequía, reduciendo los caudales o disminuyendo los humedales, viéndose afectada la población aguas abajo de estos sitios.

La construcción de obras de infraestructura (como vías), también altera la dinámica hídrica al interferir en la densidad natural de los drenajes, desecándolos o cambiando su rumbo.

Esta subred está relacionada también con los problemas de urbanización, debido a que varias de las concentraciones urbanas de la región (incluida Bogotá) se abastecen del agua de las montañas Alto Andinas de páramo de Guerrero.

La presión sobre los acuíferos se incrementa además, debido a que los volúmenes de infiltración se reducen como resultado de la pérdida de zonas de recarga, a consecuencia de la deforestación y los cambios de uso del suelo (Tudela, *op cit.*, p. 47).

- *La subred de contaminación de aguas superficiales y subterráneas:* a pesar de que los cuerpos de agua tienen una capacidad asimilativa que reduce

la contaminación, las cargas contaminantes, en algunos sectores, llegan a ser tales que no pueden ser diluidas produciéndose procesos acelerados de contaminación. Estos se acentúan allí donde se llega a una escasez de afluentes (también inducida por actividades humanas) o por la presencia de bombeos que disminuyen considerablemente los caudales (CAR, *op cit.*).

En el páramo de Guerrero existen diversas causas de contaminación del agua, entre las cuales cabe mencionar (según Tudela *op cit.*, p. 49 y CAR, *op cit.*):

- Descargas de aguas residuales sin tratamiento: provienen de las aguas de escorrentía de minas de antracita y actividades agropecuarias, así como industriales (por ejemplo de las fábricas de curtiembres). También se cuentan las aguas negras domésticas y de porquerizas. El vertimiento de aguas sobrantes de la actividad minera se hace directamente sobre los ríos por medio de zanjas. Dicha actividad también llega a contaminar las aguas sub superficiales, por socavones que se profundizan.
- Disposición inadecuada de residuos sólidos: Estos comprenden materia orgánica de actividades como el monocultivo de papa, los excrementos de viviendas, vertimientos municipales, materia orgánica proveniente del ganado, que por ausencia de vegetación ribereña acceden fácilmente al río. También cuentan los residuos sólidos de material estéril, producto de la actividad minera, que son dispuestos en sitios de ronda y transportados por el agua al cauce. Además la acumulación de basuras como plásticos, empaques de agroquímicos, madera, envases, papel, residuos pecuarios, etc.
- Uso de agroquímicos: las matamalezas, herbicidas, pesticidas y en general los plaguicidas usados en la agricultura, aportan a las aguas superficiales y subterráneas una cuota extremadamente peligrosa de contaminación. La preparación de agroquímicos se realiza en algunos sectores en las orillas de los ríos. También son vertidos productos no biodegradables como los detergentes ABS, que por su persistencia impiden que ocurran ciertos procesos biológicos que podrían auto-purificar el agua.
- Invasión de cauces y rondas hidráulicas: se realiza omitiendo las normas que regulan su protección, abriendo paso a la llegada de aguas residuales, residuos sólidos y la ampliación de la frontera agrícola hacia esos sectores.
- Erosión hídrica del suelo: esta se produce por deforestación y por el desarrollo de actividades como la ganadería extensiva (erosión pata de

vaca). El suelo se deteriora debido a la sobreexplotación causada por la deforestación, el uso intensivo de maquinaria agrícola, la excesiva utilización de agroquímicos y los cultivos en las laderas de valles, en pendientes superiores al 30%. La calidad del agua se ve afectada por el arrastre de sedimentos en épocas de lluvia y por el aporte de materia orgánica y contaminación por coliformes, presente en los suelos.

Las consecuencias por la degradación de la calidad del agua se relacionan con (Ibid):

- Enfermedades infecciosas en la población afectada: se da por el consumo de agua o comida contaminada (debido a que se realiza riego de pastos y lavado de verduras con agua contaminada).
- Incrementos en los costos de tratamiento del agua: el deterioro hídrico dificulta los procesos de tratamiento y aumenta los costos de potabilización.
- Desvalorización de las tierras: por la contaminación hídrica, visual, olores, entre otros.
- Impactos en la productividad agropecuaria: en la ganadería, se deterioran las cabezas de ganado por enfermedades o aumentan los costos por tratamientos veterinarios.
- El deterioro de ecosistemas: pues se afecta la biodiversidad no solo acuática, sino terrestre.

Estas causas y consecuencias se interrelacionan como elementos estructurales o subredes del mecanismo central del síndrome, donde se refuerzan la contaminación por actividades económicas, con los impactos de esa contaminación sobre la población.

#### 3.2.3.4 Síndrome de especies foráneas

Consiste en la introducción de especies utilizadas casi siempre en reforestación. En la zona de páramo de Guerrero se encuentran especies cultivadas en programas de reforestación promovidos por la CAR como mimbres, tilos, pinos, acacias y alisos, especies que no se desarrollan bien a estas alturas con bajas temperaturas y vientos fuertes. Estas han disminuido los caudales de los ríos y los humedales.

Otra forma de introducción de especies foráneas ocurre con los monocultivos de papa y de varios pastos, que han reemplazado totalmente las zonas bosco-



sas alto andinas. Donde se establecen pastos como *Brachiaria decumbes*, es muy difícil que vuelva a germinar el bosque u otro tipo de vegetación natural. Este tipo de acciones ocasionan la pérdida de la *biodiversidad biológica*. (Escobar, 2004).

El programa adelantado por la CAR, en la zona, se enfocó hacia la protección de rondas con cercas y la revegetalización en zonas de importancia hídrica; sin embargo, las especies de reforestación plantadas no fueron adecuadas, por su falta de resistencia a los factores climáticos, característicos de alturas por encima de los 3000 m.s.n.m.

A escala global, existen estudios que demuestran que las introducciones producen efectos sobre la biomasa y la productividad natural de los ecosistemas; incremento desmesurado de las especies alóctonas a expensas de las nativas; reducción o extinción de especies indígenas; procesos de hibridación y finalmente introducción de patógenos, que han generado vectores de réplica. El no planificar las introducciones, los trasplantes, la repoblación, y no prever sus consecuencias, está exponiendo a los ecosistemas y sus poblaciones a alteraciones genéticas (Ibíd. p.50).

La utilización de especies foráneas ha sido soportada, en ocasiones, en el planteamiento de que una hectárea de bosque plantado con algunas de las especies exóticas equivale en producción de madera a 10 hectáreas de bosque natural. En el páramo de Guerrero algunas prácticas de reforestación se han realizado para generar posibilidades económicas, dejando de lado el desarrollo de proyectos de investigación con especies nativas y reduciendo así el acceso al conocimiento de la funcionalidad de los ecosistemas de páramo. Esto ha conducido a caminos de insostenibilidad (Ibíd., p. 55).

Desde el enfoque del equilibrio de los ecosistemas, de acuerdo con la población de especies, las introducciones foráneas en el área de interés han atentado contra el *balance mantenido por los herbívoros*. La experiencia muestra que los monocultivos han sido vulnerables excesivamente a los insectos, enfermedades o plagas, mientras que los ecosistemas diversos son menos susceptibles a ellas. Estos insectos son huéspedes específicos, o sea atacan solamente a una especie y a sus parientes más cercanos. Ellos no atacan a especies no relacionadas a su huésped específico. Esos organismos tienen un enorme potencial biótico. Uno de ellos a menudo produce miles de descendientes y tienen un tiempo de generación de unos pocos días o semanas.

El monocultivo de papa podría considerarse como un continuo suministro de comida para su atacante particular, lo cual condujo a mantener una explosión de población de plaga. De hecho, esta población explotó tan rápido que sus enemigos naturales no pudieron mantenerse con ella. Es por esta razón, que los

agricultores se han sentido obligados a usar controles de pesticidas químicos, a pesar de reconocer que ellos representan daños ambientales. Si el ecosistema se hubiese mantenido diverso, con la existencia de muchas especies diferentes de plantas, el atacante de un huésped específico hubiese encontrado dificultades para alcanzar su siguiente huésped. Con esta limitación muchos de los descendientes de la plaga hubiesen podido perecer y la población sobreviviente ser controlada por sus enemigos naturales (Nebel y Wright., 1996).

En la zona, las plantaciones, especialmente en el caso del pino, han generado un impacto negativo también sobre el suelo, debido a que dichas plantaciones adaptan a sus propias necesidades las características de éste; además las acículas que caen al suelo en su proceso de descomposición acidifican el mismo. Esto obstaculiza el crecimiento de otro tipo de vegetación y disminuye, a su vez, la posibilidad de ofrecer hábitat apropiado para la fauna nativa. Estas zonas se encuentran ubicadas principalmente en las veredas de El Salitre y San Antonio (municipio de Tausa) y Empalizado y Río Frío (Municipio de Zipaquirá) [C.I. y CAR, *op cit.*].

### 3.2.3.5 Síndrome de daños ambientales por construcción del embalse del Neusa

Describe las modificaciones, a gran escala, del área semi-natural del embalse del Neusa, a causa de su construcción. Este paisaje fue afectado por intervenciones planeadas, involucrando grandes inversiones de capital, pero consideraciones inadecuadas de las condiciones locales. El objetivo fue el logro de blancos estratégicos, definidos en el marco de políticas nacionales y regionales y fue implementado con la ayuda de la planeación central, como un proyecto a gran escala. Se caracteriza por el entendimiento pobre de las interrelaciones sistémicas, con una mínima consideración de los impactos, lo cual ha conducido a la degradación ambiental y a perturbaciones severas del tejido social (modificado del WBGU, *op cit.* pp. 120-121).

Los síntomas reportados para el síndrome son: pérdida de biodiversidad, cambio climático regional, alteración de ciclos hidrológicos, degradación de suelos, reasentamiento forzado de población local y conflictos sociales.

Este síndrome requiere ser estudiado en detalle, pero se mencionan algunas afectaciones para el área aledaña del Neusa. Entre ellas se cuenta el daño ocasionado a los suelos al desaparecer el bosque nativo para dar paso a praderas y posteriormente a pinos, cipreses y eucaliptos (en el año 1951). Esos daños se relacionan con la transformación de la estructura de los suelos, específicamente con su prismatización y agrietamiento; cambios en el régimen de humedad, tornándose en suelos secos; variación y disminución apreciable de la actividad biológica, específicamente de la edafofauna (Cortés et al., 1990).

La formación de prismas se relaciona con la pérdida de humedad del suelo, que degenera en agrietamiento, el cual es menor para las praderas y aumenta en orden para los cipreses, pinos y eucaliptos. En eucaliptos se da la destrucción de la estructura del horizonte superficial debido a la acción de las sustancias exudadas por las raíces de estos árboles (eucaliptol) sobre los microorganismos del suelo. Así mismo, los pinos exudan sustancia resinosa, la cual altera poco la estructura, pero dificulta el humedecimiento y bloquea los poros del suelo (Ibíd. p.107).

Además del impacto sobre estos suelos con vocación agropecuaria definida, cabe destacar el impacto social relacionado con el desplazamiento del campesino agricultor, el cual no ha sido estudiado.

### 3.2.3.6 Otros síndromes puntuales

Finalmente, existen otros síndromes de sostenibilidad ambiental para el área, los cuales son de carácter más puntual, pero que no dejan de ser significativos. Este es el caso del síndrome de vulnerabilidad frente a amenazas naturales y antropogénicas (como inestabilidad de laderas, hundimiento, reptación o incendios); el de disposición inadecuada de residuos (por basuras públicas y en localizaciones industriales) y el de turismo (impacto en la naturaleza para fines recreacionales).

### 3.2.4 Asignación de tendencias o síntomas a determinados síndromes

Es claro que la transformación ambiental en el área de páramo de Guerrero ha traído consigo una diversidad de tendencias y se manifiesta con toda una serie de síntomas, cuyos patrones de interrelaciones más generales fueron ya descritos dentro de los denominados síndromes de sostenibilidad ambiental. Dicha transformación es visualizada entonces como un sistema de causalidades-efectos, que conduce a una serie de problemas ambientales.

En la **Tabla 5** se presenta la asignación de los problemas ambientales de la zona de páramo de Guerrero a los síndromes caracterizados arriba. Es de destacar que en el enfoque de síndrome no se da, como es frecuente, un abordaje exclusivo en relación con las áreas problema por cada dimensión de lo ambiental, sino una estructura común que abraza el área problema, sus causas y efectos.

Esa matriz permite visualizar, a nivel hipotético, los síndromes generales que rodean cada problemática de la zona. Así mismo, ésta se constituye en una herramienta sencilla de priorización de síndromes a ser abordados

para el área en cuestión, pues relaciona un número de problemas con cada uno de ellos.

### 3.2.5 Diseño del síndrome de sobreutilización de suelos marginales a una mesoescala funcional sistémica

En esta etapa del proyecto se abordó el enfoque presentado en el marco teórico y en la metodología sobre la integración de las aproximaciones nomotética e idiográfica<sup>26</sup>.

Una vez asignados los síntomas a los síndromes identificados para el área de interés, se pudo deducir que el síndrome de sobreutilización de suelos marginales es uno de los que envuelve una mayor cantidad de esos síntomas, por lo cual fue seleccionado para llevar a cabo el diseño de la red de interrelaciones sociedad-naturaleza, con apoyo de los recorridos de campo, las entrevistas a los lugareños y los estudios de caso existentes para la zona.

La comprensión de la dinámica de transformación en páramo de Guerrero está supeditada a la conjunción, interacción y sinergia de varios procesos socioeconómicos, políticos, culturales y biofísicos, que ocurren a diversas escalas (nacional, regional, local). Externamente inciden factores como las variaciones del mercado, las particularidades de los sistemas productivos impuestos o la crisis del campesinado. Internamente las condiciones de vida de los pobladores, las características físico bióticas, la organización social, jerarquías y poderes de las comunidades y grupos agrarios productores. Dichos factores han determinado las actividades económicas que allí se dan, la forma como fue apropiado y ordenado el espacio, la estructuración de los territorios rurales y la conformación del paisaje de alta montaña (Villamil, 2005).

Las diversas dinámicas que allí se desarrollan se han manifestado desde el poblamiento aborígen de estas áreas; sin embargo es hasta los dos últimos siglos que el páramo sufre las mayores transformaciones y esto pudo ser corroborado con el análisis de dinámica de la cobertura vegetal.

Para una mayor claridad en la presentación de la red compleja de interrelaciones del síndrome, el diseño de ésta se realizó acorde con el círculo vicioso central y las subredes descritas en el numeral 3.2.3.1, graficadas en la **Figura 10**, solo que aquí se presenta la red de las interrelaciones específicas a una escala mesosistémica más detallada. En la **Figura 11**, se muestra ese nuevo diseño, para el síndrome de sobreutilización de suelos marginales en el páramo de Guerrero.

<sup>26</sup> Ver numerales 1.7.2 y 2.1

**Tabla 5.** Asignación de síntomas a los síndromes identificados en el páramo de Guerrero

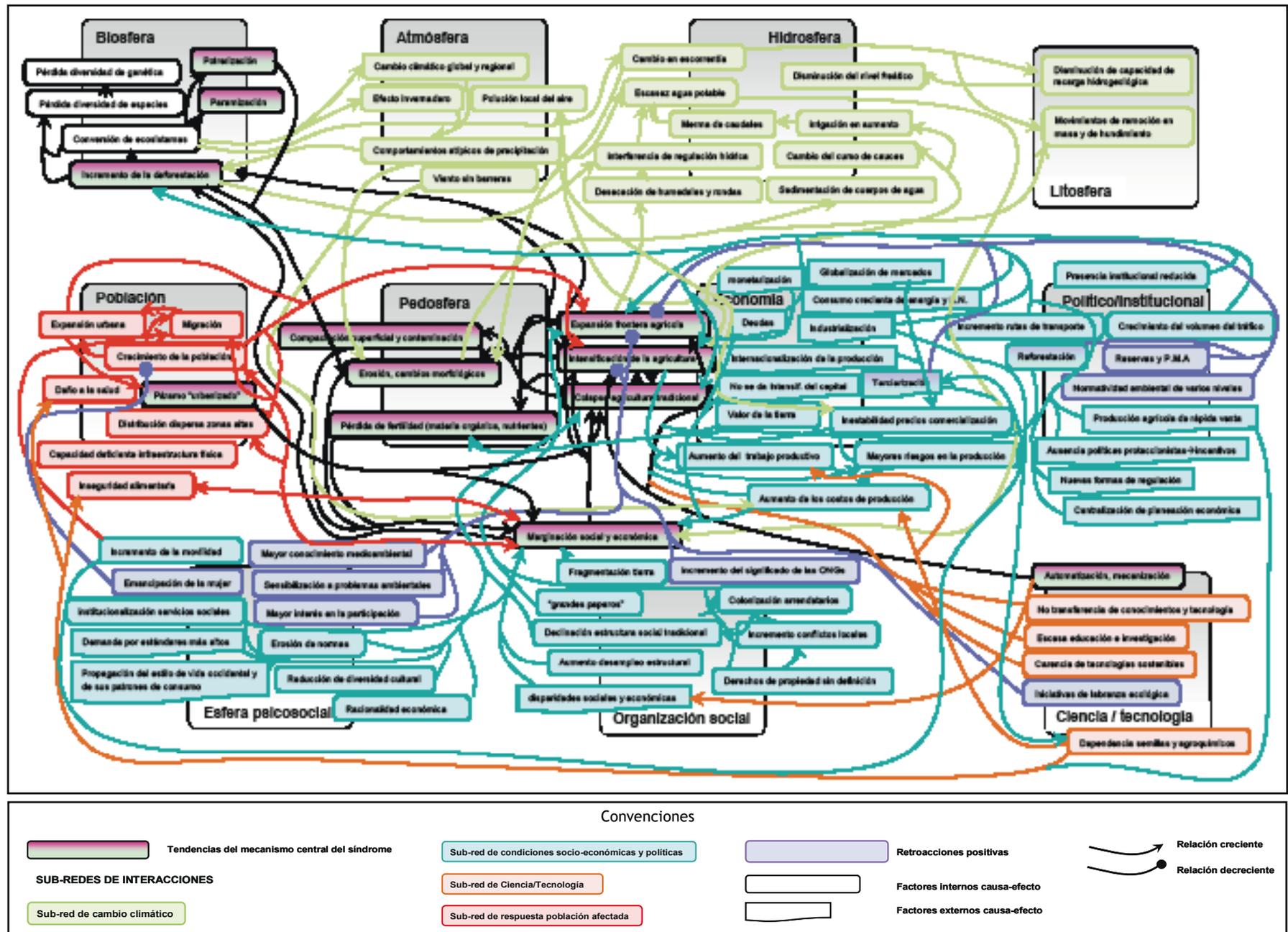
	Síndrome de sobreutilización de suelos marginales	Síndrome de degradación ambiental por explotación minera	Síndrome de inseguridad hídrica	Síndrome de especies foráneas	Síndrome de daños ambientales por construcción del embalse del neusa	Síndrome de vulnerabilidad frente a amenazas naturales y antropogénicas	Síndrome de turismo	Síndrome de disposición inadecuada de residuos
<b>Biosfera</b>								
Pérdida de diversidad genética	•	•	•	•	•	•	•	•
Introducción de especies foráneas				•	•		•	
Homogenización de ecosistemas	•			•	•		•	
Incremento de la deforestación	•	•	•		•	•	•	
Pérdida de diversidad de especies	•	•	•	•	•	•	•	•
Aumento de incendios forestales						•	•	
<b>Atmósfera</b>								
Efecto invernadero	•	•						
Polución local del aire	•	•					•	•
Comportamientos atípicos de precipitación	•		•		•	•		
Cambio climático global y regional	•				•	•		
<b>Hidrosfera</b>								
Contaminación de aguas		•	•			•	•	•
Cambios en la escorrentía	•	•	•		•	•		•
Merma de caudales	•	•	•			•		•
Disminución del nivel freático	•	•	•	•		•		•
Cambio del curso de cauces	•	•	•		•	•		•
Sedimentación de cuerpos de agua	•	•	•			•		
Desecación de humedales y zonas de ronda	•		•			•		•
Escasez de agua potable	•		•				•	•
Interferencia de regulación hídrica	•		•	•	•	•		•

	Síndrome de sobreutilización de suelos marginales	Síndrome de degradación ambiental por explotación minera	Síndrome de inseguridad hídrica	Síndrome de especies foráneas	Síndrome de daños ambientales por construcción del embalse del neusa	Síndrome de vulnerabilidad frente a amenazas naturales y antropogénicas	Síndrome de turismo	Síndrome de disposición inadecuada de residuos
<b>Litosfera</b>								
Disminución de capacidad de recarga hidrogeológica	•		•					
Movimientos de remoción en masa y de hundimiento	•	•				•		•
<b>Población</b>								
Migración	•	•	•				•	
Daño a la salud	•	•	•			•		•
Inseguridad alimentaria	•		•		•	•		
Capacidad deficiente de infraestructura física	•		•			•	•	
Distribución dispersa en zonas altas	•	•						
<b>Pedósfera</b>								
Acidificación				•				
Pérdida de fertilidad (materia orgánica, nutrientes)	•			•				
Depósito y acumulación de basuras		•				•		•
Erosión, cambios morfológicos, carcavamiento	•	•	•			•		•
Compactación superficial y contaminación	•			•				•
<b>Social</b>								
Aumento desempleo estructural	•							
Marginación social y económica	•	•	•		•	•	•	
Incremento de conflictos locales	•	•	•		•	•	•	•
Declinación de la estructura social tradicional	•	•			•	•	•	

	Síndrome de sobreutilización de suelos marginales	Síndrome de degradación ambiental por explotación minera	Síndrome de inseguridad hídrica	Síndrome de especies foráneas	Síndrome de daños ambientales por construcción del embalse del neusa	Síndrome de vulnerabilidad frente a amenazas naturales y antropogénicas	Síndrome de turismo	Síndrome de disposición inadecuada de residuos
Acentuación de las disparidades sociales y económicas	•	•	•		•			
Individualización	•	•	•					
Colonización de arrendatarios	•						•	
Grandes paperos	•		•		•	•		
<b>Economía</b>								
Colapso agricultura tradicional	•							
Intensificación de la agricultura	•		•			•		
Consumo creciente de energía y R.N.	•	•	•		•		•	
Aumento de los costos de producción	•		•					
Mayores riesgos en la producción	•		•			•		
Valor de la Tierra	•	•	•	•	•	•	•	
Poca intensificación del capital	•	•						
Terciarización	•	•					•	
Aumento del trabajo productivo	•		•					
Deudas	•	•						
Expansión de la frontera agrícola	•		•		•		•	

	Síndrome de sobreutilización de suelos marginales	Síndrome de degradación ambiental por explotación minera	Síndrome de inseguridad hídrica	Síndrome de especies foráneas	Síndrome de daños ambientales por construcción del embalse del neusa	Síndrome de vulnerabilidad frente a amenazas naturales y antropogénicas	Síndrome de turismo	Síndrome de disposición inadecuada de residuos
<b>Psicosocial</b>								
Demanda por estándares mas altos	•		•					
Erosión de normas	•	•	•					
Reducción de diversidad cultural	•							
Incremento de la movilidad	•	•			•			
<b>Ciencia/Tecnología</b>								
Dependencia de semillas y agroquímicos	•							
Uso de tecnologías no sostenibles	•	•	•	•				
Automatización, mecanización	•							
<b>Político/Institucional</b>								
Producción agrícola de rápida venta	•							
Incremento de las rutas de transporte	•	•				•	•	
Crecimiento del volumen del tráfico	•	•				•	•	
Ausencia políticas proteccionista	•	•	•	•	•			
Nuevas formas de regulación	•		•				•	

Figura 11. Red de interrelaciones para el síndrome de sobreutilización de suelos marginales a escala mesosistémica



Por supuesto, el alcance de este ejercicio estuvo lejos del abordaje y detalle máximo de todas las interrelaciones sociedad-naturaleza presentes en la dinámica de transformación ambiental de la zona; pero sí se centra en las más relevantes o en aquellas que refuerzan más el mecanismo central del síndrome.

De igual forma, algunas interrelaciones se dejan planteadas a nivel de hipótesis debido a la imposibilidad de obtener una base de datos sólida e histórica que permita corroborar las afirmaciones. Un gran número de interrelaciones descritas se basan en los recorridos de campo realizados y en la interacción con la comunidad durante las entrevistas. Se reconoce que muchas de ellas, requieren de un trabajo de investigación más profundo y juicioso.

### 3.2.5.1 Mecanismo central del síndrome

Un determinante inicial dentro de las causas del síndrome difícilmente podría ser establecido, debido a la complejidad del sistema sociedad-naturaleza. Las causas son múltiples y los efectos también; por ello el esquema de diseño acá desarrollado solo responde a un orden aleatorio de descripción de esta red intrincada.

El mecanismo central o círculo vicioso principal, constituye un PSP (patrón sistémico peligroso). Una de las esferas del mecanismo es la pedósfera donde la sobreutilización o uso inadecuado, lleva a la degradación y hasta deterioro del suelo, con consecuencias en la productividad. En el círculo, se da el reforzamiento de la marginación social y económica, principalmente por la anterior causa, que a su vez, conduce a la intensificación de la agricultura y expansión de la frontera agrícola, con el incremento de la destrucción de vegetación de bosques y páramo. Lo que resulta al final, es la paramización<sup>27</sup> y potrerización<sup>28</sup> de estos ecosistemas de alta montaña.

Dentro del presente patrón funcional se ahondará en las causalidades y efectos de la sobreutilización y manejo inadecuado del suelo. A su vez, las relaciones de causalidad y efecto de algunos síntomas o tendencias acá mencionados, se abordarán en las subredes posteriormente analizadas.

Una de las causas principales del deterioro del suelo está ligada al colapso de la agricultura tradicional, debido al avance de la producción papera bajo la modalidad de monocultivo. El ecosistema de páramo transformado por estos

---

<sup>27</sup> Aparición de especies de páramo propiamente dicho, pertenecientes a las comunidades vegetales típicas del páramo, que transgreden sus límites altitudinales de distribución e invaden localidades anteriormente cubiertas con vegetación boscosa cuenca abajo (Kapelle). Tomado de diccionario de la biodiversidad, en <http://www.inbio.ac.cr/es/biodiccionario/default.html>.

<sup>28</sup> Expansión de la ganadería que ocasiona la pérdida de coberturas naturales y semi-naturales con efectos posteriores de erosión, hasta la pérdida del suelo.

cultivos, refleja un proceso histórico de ocupación. Concretamente existe la incidencia de modelos como el de la revolución verde que influyó en los sistemas productivos y, por ende, en la estructura paisajística (Ibíd.).

Dicha revolución vino acompañada de mecanización del campo y del uso de agroquímicos, a los cuales crearon dependencia los agricultores. Además trajo consigo un mayor nivel de productividad, pero también mayor impacto negativo sobre los ecosistemas y mayor intensificación de la agricultura. A largo plazo, esta última propició que los métodos de rotación de cultivos tradicionales se aproximaran a sus límites críticos, forzando a la expansión de la producción agrícola hacia las tierras “marginales”.

Una de las formas históricas de apropiación de las tierras, muestra que inicialmente el campesino de esta región se vio abocado a movilizarse hacia esos espacios “marginales” como un medio de subsistencia; sin embargo, el modelo económico del país y los desequilibrios en la tenencia de la tierra han propiciado que entren en escena otros actores en la reconfiguración constante de la frontera agrícola: “los grandes paperos”, con una clara racionalidad capitalista de maximización de utilidades.

Esas zonas de colonización son las amortiguadoras de los conflictos sociales agrarios del país y han sido ocupadas gracias a la segregación socioespacial rural (Ibíd.); pero además tienen características especiales, por ser áreas de gran importancia y sensibilidad ambiental, poseedoras de calidades invaluable, proveedoras de recursos hídricos y de una alta biodiversidad.

Después del colapso de la agricultura tradicional, con la llegada de la “revolución verde”, ocurre la intensificación de la agricultura, que consistió en el empleo de nuevas tecnologías y métodos. El uso de plaguicidas, los abonos químicos, las quemadas y el arado del suelo ocasionaron su contaminación, pérdida de la fertilidad, erosión, cambios morfológicos, estructurales y compactación superficial. La utilización de bulldozer y arados en zonas de alta pendiente, también trajo consigo la erosión del suelo, con la subsiguiente contaminación de cuerpos de agua<sup>29</sup>.

Dichas alteraciones del suelo conducen a una marginación social y económica con una retroacción, que en algunos casos, fuerza al campesino a mejorar su productividad con métodos nuevos, así sea mediante el uso de tecnologías no sostenibles, o a buscar “mejores tierras”; reforzando nuevamente el círculo descrito.

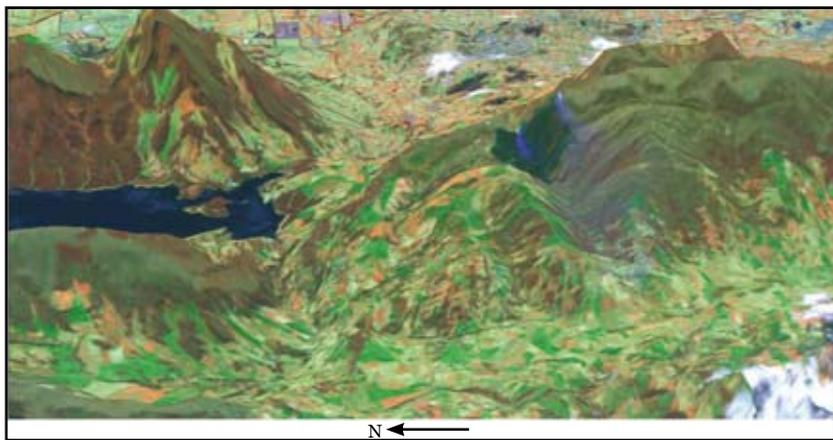
---

<sup>29</sup> Es de anotar que este tipo de prácticas no han sido tan frecuentes en el pequeño campesino, debido a su escaso capital para los medios de producción. Muchos de ellos aún no tienen ni el suficiente acceso a la información sobre nueva tecnologías, según comunicación oral en las entrevistas realizadas.

Los efectos de este círculo sobre la biósfera son visibles y se manifiestan de diversas formas. La extensa transformación y degradación natural o antrópica de las áreas paramunas hace que sus comunidades vegetales típicas trascendan los límites altitudinales de distribución e invadan localidades anteriormente cubiertas con vegetación del bosque andino. Una de las principales causas que originan este fenómeno es la deforestación acelerada, ocasionando el fenómeno comúnmente llamado con el nombre de “paramización”. Muchas de las zonas que acá se llaman páramos, son en realidad áreas de bosque alto andino fuertemente deterioradas (C.I. y CAR, 2002).

Otro síntoma, acentuado principalmente por la actividad pecuaria es el de “potrerización” (conversión a pastizales) de los mismos ecosistemas, con el desarrollo de la ganadería intensiva y extensiva. Así, en la medida en que se va afianzando la producción campesina, los ecosistemas se van homogenizando y su estructura se degrada y empobrece.

**Figura 12.** Quemadas en la vereda Quebrada Honda, detectada en el momento de la toma de la imagen satelital SPOT-5 (2004)



La expansión de la frontera agrícola ha ocurrido paralela con la transformación de los bosques, que ha generado la pérdida de las especies nativas de flora, con las consecuencias para la diversidad de especies y su diversidad genética. La quema, por ejemplo (**Figura 12**), ha sido una práctica muy común de los campesinos de la zona, tanto para obtener rebrote tierno de mayor palatabilidad y mayor valor nutritivo para el ganado, así como para preparar el terreno para cultivos como arveja, haba, papa, y también para el control de plagas. Por las bajas temperaturas, en los páramos los procesos biológicos son muy lentos y cualquier práctica de manejo que incida sobre los organismos hará que el ecosistema tome un período de recuperación más largo. “Estas

prácticas hicieron disminuir la suculencia y densidad de la vegetación, que toma un largo período para su recuperación” (Correa, 1989).

Prácticas como estas han dado origen a desestabilización de los ecosistemas, pérdida de endemismos, desviación de las sucesiones naturales, pérdida del potencial de regeneración natural y a su conversión en paisajes agroecológicos o, en otros casos, a su desaparición total.

Desde la esfera de población, la tendencia que se vislumbra es la del páramo “urbanizado”, característica muy típica de esta zona, a diferencia de otros páramos del país. La influencia de ciudades como Zipaquirá y Bogotá que absorben a las comunidades campesinas con actividades económicas típicas de la terciarización de la economía, específicamente, la prestación de servicios, obliga a estos habitantes a moverse entre lo rural y lo urbano.

La urbanización refuerza la expansión de la frontera agrícola por la presión sobre los recursos naturales, debido a la demanda de bienes y servicios ambientales y de productos agropecuarios, no solo por el crecimiento de la población de los núcleos urbanos, sino también, por el aumento de la capacidad adquisitiva gracias a sus empleos en fábricas e industrias. Otro aspecto tiene que ver con el reforzamiento del colapso de la agricultura tradicional y la marginación socioeconómica, propias de los páramos urbanizados.

### 3.2.5.2 Subred de cambio climático

La conversión de los ecosistemas ha repercutido en el cambio climático. Esto se deduce a partir del tratamiento de las series climatológicas, de las estaciones presentes en la zona (C.I. y CAR, 2001). Los comportamientos atípicos allí presentes dependen, en buena parte, de las severas transformaciones sufridas por los ecosistemas de alta montaña, las cuales, a veces, llegan a trascender a nivel global, desencadenando comportamientos atípicos incluso a ese nivel.

En el año 2000 se presentó un comportamiento atípico. En los meses de enero, febrero, julio y septiembre normalmente secos, se presentaron abundantes precipitaciones, en promedio un 68% mayor que el valor mensual multianual de dichos meses, alcanzando el mes de febrero casi el doble de la precipitación (97% mayor). Contrariamente en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre normalmente húmedos, las precipitaciones se redujeron en promedio un 115%, siendo el mes de abril el más crítico, con una reducción que alcanzó el 200% (Ibíd.).

A pesar de que el cálculo de los balances hídricos para las 13 estaciones de la zona de páramo de Guerrero, determinó que para todas ellas, se presenta un

balance positivo anual de escorrentía, existen limitaciones para la actividad agrícola y pecuaria, pues sólo se dispone de agua en los períodos húmedos, razón que conduce al campesino a cultivar extensiones mayores cuando efectivamente su cultivo tiene posibilidad de prosperar (Ibíd.).

Según ese balance hídrico, el porcentaje de agua que se infiltra al terreno es relativamente bajo, en gran parte debido a la alta pendiente de las laderas y a la presencia de capas impermeables en gran parte de las cuencas. La pérdida de humedad por evapotranspiración corresponde a un alto porcentaje de las precipitaciones, lo que en gran medida es consecuencia de la carencia de la cobertura vegetal natural<sup>30</sup>.

Como la escorrentía superficial aumenta se forman corrientes y surcos que se profundizan hasta grandes cárcavas. En terrenos poco permeables el efecto erosivo del agua es más acelerado y perjudicial. Como las aguas arrastran el material de la ladera (la erosionan) contaminan las aguas y colmatan los cauces. En períodos lluviosos ocurren, por esta razón, desbordes e inundaciones. En épocas secas, los cauces bajan su nivel y como no hay una regulación adecuada, el agua escasea. En invierno, en los sectores de ladera, los suelos pueden saturarse, por la intervención de los drenajes naturales ocurriendo fenómenos de remoción en masa (Ibíd.).

De otro lado, la carencia de bosques facilita que los vientos resequen más fácilmente los suelos, ya que los árboles retienen humedad y frenan la velocidad del viento. Esto predispone más los suelos a la erosión.

La regulación climática e hídrica se altera debido a la actividad agrícola sin control. En el ciclo natural, la conservación de humedad en los bosques disminuye la temperatura local y regula la evapotranspiración, además incentiva la formación de nubes y el aumento de precipitaciones en los alrededores. El agua precipitada cae sobre los bosques que sirven de colchón amortiguador y regulador de los caudales que escurren y los que se infiltran. Dichos bosques permiten que la humedad permanezca más tiempo en el ambiente y que el agua de escorrentía descienda lentamente, con menor capacidad erosiva. Este ciclo se interrumpe con la intervención del páramo (Ibíd.).

La deforestación y desecación de humedales y zonas de ronda, para desarrollar la actividad agropecuaria intensa también han afectado los regímenes de lluvias, escorrentía y almacenamiento del agua. La cobertura vegetal evita que el agua escurra rápidamente hacia los cauces, fija el agua

al subsuelo y favorece su llegada a los acuíferos; pero al ser devastada dicha cobertura, la cantidad de precipitaciones disminuye y el sistema de captación de agua infiltrada en el terreno es menos eficiente (Ibíd.).

Otra interacción se presenta entre este comportamiento atípico de la precipitación y la inestabilidad de los precios en el mercado, la cual se refuerza con la falta de planeación de los cultivos, que llegan a perder su periodicidad, habiendo producción prácticamente durante todo el año. La variabilidad climática tiene repercusión en la producción agrícola, al aumentar los riesgos de esa producción.

### 3.2.5.3 Subred de condiciones socioeconómicas y políticas

Esta subred abraza los síntomas o tendencias relacionados con los factores socioeconómicos y políticos externos e internos, los institucionales, los de la organización social y los de la ciencia/tecnología.

En esta subred se interrelacionan las condiciones económicas y sociales del páramo de Guerrero y los esquemas de derechos de propiedad existentes en la zona con las posibilidades legales, económicas y políticas del Gobierno (C.I. y CAR, 2001). Con la interrelación de tendencias se analiza la influencia que tienen las diferentes variables socioeconómicas en la transformación de las zonas de páramo en tierras de cultivo y ganadería (Ibíd.).

#### *Interrelaciones de factores externos*

La crisis ambiental de la alta montaña ecuatorial tiene contextos históricos que la relacionan con las formas políticas y económicas que han regido y dominado en la conformación del estado y de la nación colombiana, entre ellas la dependencia política y cultural bajo la cual se asumieron modelos de pensamiento occidental y formas culturales y jurídicas europeas del Mediterráneo bajo el ordenamiento hispánico impuesto durante el período colonial. Le sigue, el auge de la colonización inglesa y los estilos o modelos de desarrollo surgidos durante el siglo XX y principalmente a partir de la posguerra (Molano, 2000). Sumados a estos, se cuenta el modelo creado por USA que es el de posguerra y su imposición mediante diferentes estrategias a América Latina.

La estructura agraria toma vigencia en las interacciones sociedad-naturaleza, ya que el campesino ejerció una transformación y producción del medio incorporando sus labores y herencias tradicionales, pero dependió también de esa estructura agraria nacional. El páramo fue incorporado así a los fenómenos de ruralidad a través de los esquemas y proyectos sociales productivos del medio agrario. (Villamil, *op cit.*)

<sup>30</sup> Para datos detallados sobre balance hídrico y comportamiento atípico de la precipitación remitirse al informe C.I. y CAR, 2001.

En el páramo de Guerrero influyó la orientación de entidades como la Caja Agraria y el ICA. Esta última con su investigación desde la estación experimental de Tibaitatá, tuvo mucho que ver con la integración del páramo a las actividades agrícolas y particularmente paperas. Su contribución consistió en los abundantes estudios en los que se afirma que las condiciones de los páramos son las más adecuadas para la producción de semilla de papa, en un período como el de los 50, cuando ésta escaseaba. De allí que fuera un negocio muy rentable para los productores que tuvieron acceso a esta información y el capital disponible. Detrás de ellos vinieron más llamados por el éxito de dicho negocio, no solo a producir semilla sino también papa para el consumo. La introducción del tractor fue definitiva también y en esto tuvieron participación todas las entidades que promueven el desarrollo rural desde 1950.

Las transformaciones del medio y la destrucción de los ecosistemas del páramo de Guerrero se dan, además, por actividades económicas que obedecen a modelos occidentales de producción y que impulsan la conformación de espacios agroecológicos, constituidos por monocultivos de papa y pastos para ganadería intensiva y extensiva. Esto no se da sin la práctica de actividades como la tala, quema y desecamiento de cuerpos húmedos, entre otros. Actualmente en la zona, coexiste el modelo occidental de la “revolución verde”, con el de agricultura tradicional, pero se aprecia que ésta última ha ido colapsando, en correspondencia con el esquema de tenencia de la tierra.

De otro lado, la economía campesina se caracteriza por su estructura productiva concentrada en la familia, tal como lo expresa Forero, 1991 (en C.I. y CAR, 2001): “la producción y el consumo conforman una unidad indisoluble. A pesar de estar ligados a los mercados en una relación siempre desventajosa, continúan su actividad hasta donde sea posible sostener la familia y para ello recurren a múltiples estrategias. Así, aportan todavía el 65% de los alimentos que consume el país, a costa de su creciente disminución en la calidad de vida y en el detrimento de su tierra. Por estas razones el uso del páramo ha llegado a límites alarmantes”.

Tendencias como la consunción de los recursos naturales (R.N.), bajo el esquema de crecimiento económico, también se develan en la zona de páramo de Guerrero. Esto se aprecia claramente en la presión que se realiza sobre los niveles de producción, por parte de actores como los “grandes paperos”, interesados en la industrialización de su producción; lo cual se conduce sin considerar el agotamiento de los bosques y páramos, sus bienes y servicios; además del agotamiento de la biodiversidad.

Otras tendencias económicas pueden ser observadas, entre ellas, la poca o ninguna intensificación del capital de los pequeños productores, los cuales debido a su marginación no alcanzan la acumulación, manteniéndose

ésta como tendencia exclusiva de los grandes productores, por su mayor conocimiento del mercado, que enfatiza su poder de afectar los precios y su mayor conocimiento de los esquemas productivos, facilitando el manejo de los pequeños productores, para su mayor beneficio.

La monetización también es una tendencia observada en la zona, la cual incide en el colapso de la agricultura tradicional, que se mantenía en buena parte debido a los intercambios, como el de “mano vuelta” caracterizado por la labranza de apoyo entre familiares y vecinos. Esta tradición fue desapareciendo y actualmente es muy rara.

La industrialización característica se enfoca principalmente hacia las industrias de agroquímicos, las cuales promueven una mayor dependencia a esos productos, reforzada por el aumento en su consumo a causa de la resistencia de las plagas.

Otro aspecto a destacar es el cultivo de papa industrial promovido por los “grandes paperos”, con las consecuencias sobre la intensificación de la agricultura, la expansión de la frontera agrícola y la explotación de la mano de obra que esto trae consigo.

La tendencia a la terciarización podría verse como una retroacción positiva, en la medida en que estaría limitando la ampliación de la frontera agrícola, pero por parte de los pequeños campesinos. Esto se ha venido reforzando en páramo de Guerrero debido a las oportunidades de servicios brindadas desde núcleos urbanos como Bogotá y Zipaquirá. Esta tendencia se enfatiza, en la medida en que los niveles de rentabilidad de producción de papa se ven afectados. Parte de esa fuerza productiva local, se moviliza entonces hacia las ciudades, donde se encuentran “nuevas oportunidades” de ocupación.

Sin embargo, es claro por las entrevistas realizadas que ese empleo en la urbe es muy temporal y, que además, si no son ellos los que siembran, se consigue mano de obra de otros lugares. Dado que el mercado de la papa es fluctuante, por sus precios, es una inversión la cual no descartan de tajo los grandes agricultores, pues pueden aprovechar buenos precios para el producto.

De otro lado, como retroacción negativa, dicha tendencia refuerza la marginación allá donde la necesidad del campesino, lo obliga a ocuparse en servicios varios ofrecidos por los grandes propietarios, bajo esquemas de explotación de la mano de obra.

Las tendencias económicas internacionales como la globalización de mercados y el régimen del comercio mundial, refuerzan el mecanismo central del síndrome en la zona, debido a la inestabilidad que imprimen a los precios

de comercialización y, por ende, a los mayores riesgos en la producción. La internacionalización de la producción tiene un efecto, pues los precios a nivel nacional no pueden competir con los internacionales, reforzándose las actividades de importación y contrabando, que perjudican a los locales al reducir los precios.

Con respecto al endeudamiento internacional, puede ser observada una reducción en la zona de las inversiones en el capital social, natural, y humano (salud, educación, manejo y protección de recursos, infraestructura) en favor de los gastos actuales (políticamente más urgentes pero no sostenibles). Esto conlleva una mayor presión sobre los recursos debido a la creciente marginación social y económica. De esta forma son desatendidos los problemas de los productores agrícolas y, por consiguiente, los de seguridad alimentaria.

Externamente ha incidido también la articulación comercial a centros de gravedad. Esto se refleja concretamente en el vínculo del páramo de Guerrero con Bogotá, que le imprime unas características muy específicas de páramo urbanizado. Los precios que se establecen para la papa son los que finalmente define Bogotá, como centro de gravedad, sin dejar opciones para el centro productivo.

De otro lado, las condiciones limitantes de la actividad agrícola por parte de los pequeños propietarios en el campo, se reflejan en la posición del campesino pobre como aparcerero o como jornalero. A esto se añade su baja instrucción en relación con los cultivos, la escasa asistencia técnica oficial y su baja oportunidad de acceso a crédito por sus escasas garantías, entre otros.

### *Interrelaciones de factores internos*

Estas interrelaciones tendrán que visualizarse en el contexto del páramo como espacio construido por la sociedad, luego de continuados procesos de destrucción, adecuación, explotación y apropiación (Molano, 2000). Además de un espacio “estructurado en las prácticas productivas, las políticas territoriales y la ideología que articula las formas económicas de mercancías, valor, precio y propiedad” (Ibíd., p. 22).

Uno de los síntomas o tendencias centrales del síndrome a ser relacionado con los factores internos, es la ampliación de la frontera agrícola<sup>31</sup>. Esta en general es la causa fundamental de degradación del páramo. Este fenómeno si bien se explica por la dinámica poblacional influenciada directamente por

<sup>31</sup> Datos concretos sobre esa ampliación pueden ser consultados más adelante, durante el desarrollo de ISA espaciales dinámicos, en el numeral 3.2.7.6 sobre análisis multitemporal de transformación de la cobertura vegetal y el uso del suelo en páramo de Guerrero.

la actual situación socioeconómica, también se fundamenta en la ineficiencia presente en los esquemas de producción agropecuaria de la zona. Sin mejoras en los procesos productivos, los agricultores tienen que intervenir más ecosistemas vírgenes o semi-naturales para mantener el mismo nivel de ganancia, dada la disminución de la rentabilidad del cultivo. Esta última se da en razón a la presencia de plagas, facilitada por el desarrollo de monocultivo, que incrementan el costo de producción; las sequías temporales; la tendencia a la baja de los precios de comercialización de los productos agrícolas y la ausencia de una planificación adecuada de las siembras que permita controlar las fluctuaciones de precio en mejor forma. (C.I. y CAR, *op cit.*).

Otra razón histórica de la expansión de la frontera agrícola según Minambiente, 1998 (en C.I. y CAR, 2001) fue que los indígenas y los campesinos más pobres iniciaron el desmonte y el sistema de producción agrícola, dedicados principalmente al cultivo de la cebada, papa y hortalizas. Con el paso del tiempo y la valorización de la tierra, los pobres la vendían y se internaban en la parte alta de la montaña, lo que ocasionó a que se ascendiera en el gradiente altitudinal para colonizar tierras. La realidad actual es otra. Este fenómeno ya no es notorio ahora, pues la colonización la realizan “los grandes paperos”.

Esta tendencia se mantuvo y se acentuó con el continuo crecimiento de las poblaciones urbanas; la densificación de las poblaciones rurales, con una tendencia al minifundio; el acelerado desarrollo de infraestructura social y de corredores artificiales de tipo vial facilitó la comunicación y el comercio con los grandes centros de consumo (Ibíd.).

Así, paulatinamente, se fue perdiendo la cobertura de selva andina, generando efectos en el clima y propiciando condiciones óptimas que fueron aprovechadas para el desarrollo de actividades del sector primario de la economía, como lo son la ganadería, el establecimiento de potreros, establecimiento de unidades económicas productoras de bienes agroindustriales y de industrias extractivas y de transformación (Ibíd.).

De otro lado, si bien la siembra de papa bajo un esquema de monocultivo es un problema de naturaleza económica, también está relacionado con factores culturales presentes en la población, pues la mayoría de los habitantes locales cultivan papa por tradición cultural (C.I. y CAR, *op cit.*).

El sector ganadero es otro de los renglones de la economía regional que genera un gran impacto en el sistema natural. El pastoreo de ganado vacuno y ovino sobre suelos cuya vocación es estrictamente forestal protectora inicia un proceso de *potrerización del páramo*, debido a que estos animales dañan la vegetación captadora, almacenadora y reguladora del agua, repercutiendo en la producción del recurso hídrico y dañan el suelo. (Ibíd.).



Esta última es una tendencia actualmente en crecimiento en la zona, pues se ha venido dando un reemplazo (aún no tan notorio) de la actividad agrícola ya tan poco rentable, por la pecuaria, que es menos dependiente de los cambios del mercado y menos riesgosa. Esto se pudo establecer a partir de las entrevistas en el campo.

Otra tendencia durante las últimas décadas en la zona, ha sido la de fragmentación de la tierra, problema que se acentúa aún más por la falta de diversificación de las áreas productivas para crear una demanda de mano de obra, la cual a su vez permitiera la conglomeración de las pequeñas propiedades con niveles de producción más rentables. También se acentúa debido a la falta de diseño de políticas que impulsen la retención de capitales en las zonas rurales y que estimulen el desarrollo de empresas productivas capaces de absorber la mano de obra de pequeños campesinos, controlando así el establecimiento de parcelas productivas dispersas en áreas de páramo, que se da con la expansión de la frontera agrícola (Ibid).

Otros síntomas o tendencias que conducen a la marginación social y económica, que como retroacción negativa afecta, a su vez, la expansión de la frontera agrícola, son: (Ibid.)

- Disminución de los ingresos reales del campesino.
- Crecientes costos de los animales, tecnología, combustibles y crédito rural.
- Decrecimiento de la fertilidad natural de su tierra.
- Deterioro, en cantidad y calidad, en algunos casos dramático, de las fuentes de agua para consumo humano, agrícola y animal.
- Carencia de soluciones alternativas a la crisis energética (electricidad y disminución de la leña).
- Falta de estabilidad de ingresos durante el año.

El modelo empírico socioeconómico desarrollado en la zona de páramo de Guerrero con el fin de explicar el cambio en el uso del suelo (C.I. y CAR, 2001)<sup>32</sup>, mostró una incidencia mayor de variables como distancia a las vías de acceso, producción de papa (cargas) y destino de la producción (mercado local o a Bogotá). Una menor incidencia, pero relativamente significativa, ejercen variables como tipo de propiedad (privada o arriendo), género del jefe de familia y costo de producción. Variables como edad del jefe de familia, su nivel de educación y el número de personas por familia, tuvieron una incidencia baja.

<sup>32</sup> Para ampliación, consultar el informe de la parte económica, donde se reporta el levantamiento de cerca de 600 encuestas de la población, su procesamiento e integración en dos modelos: utilidad aleatoria y renta hedónica.

### *Interrelaciones de la organización social*

La organización y participación social hace referencia al tipo de agrupaciones conformadas por los diferentes actores sociales de acuerdo con sus objetivos e intereses y son ellas los agentes o protagonistas de los procesos de desarrollo<sup>33</sup>.

Esa organización social y la tenencia de la tierra por parte de los diversos grupos en páramo de Guerrero, ha tenido características que han incidido en la forma como se dan las actividades económicas y la transformación ambiental misma.

Como una ilustración, la expansión de la frontera agrícola y el daño medioambiental que esto produce, no puede verse solo como efecto de la marginación socioeconómica del campesino, sin más alternativas. El gran propietario está también consolidando y transformando el ecosistema de páramo guiado por sus intereses monetarios. Los latifundistas y la empresa comercial agraria están ganando una influencia considerable en la conformación ecológica y degradación alto andina. El aumento de cultivos industriales de papa por parte de los “grandes paperos” está transformando y dañando en grado alto los ecosistemas, principalmente por la intervención con tecnologías mecanizadas. Esto se da, bien sea una vez adquiridos grandes terrenos, o por su arriendo. Este es un modelo productivo relativamente nuevo, en el que se integra al campesino (Villamil, *op cit.*).

Esa dinámica socioeconómica relacionada con el arrendamiento de la tierra y compra de predios se realiza por encima de la cota de los 3000 m.s.n.m. Estos arrendatarios (grandes “paperos”) ofrecen a los campesinos productores un alquiler fijo y sin riesgos, suministran maquinaria e insumos y con el avance de la frontera proveen tierras más fértiles (C.I. y CAR, *op cit.*). Sumado a esto hacen promesas al pequeño campesino de mejorar su tierra, al devolverle su fertilidad. Este pequeño campesino accede, evitando así asumir riesgos por la incertidumbre que genera la producción de papa en este momento.

En este esquema también se da la compra de cosechas a futuro o la contratación de mano de obra de los pequeños y medianos productores por parte de estos “grandes paperos” (Ibid.).

<sup>33</sup> En el estudio de C.I. y CAR, 2001, fueron identificados los siguientes actores: los locales del sector público (Estado) o del sector privado (sociedad civil). Por parte del Estado están los representantes o instituciones gubernamentales en el nivel local: la Administración municipal (Alcaldía y despachos públicos municipales); el consejo municipal; los organismos de control (personería) y otras instituciones del orden departamental, regional y nacional con presencia en el municipio. De la sociedad civil y las entidades o instituciones de carácter no gubernamental, de los niveles nacional, regional, departamental y local se tienen organizaciones de agricultores (FEDEPAPA), ganaderos, alfareros, mineros, transportadores, educadores, estudiantes, industriales, comerciantes y otros grupos u organizaciones de base como las Juntas de Acción Comunal.

Esta dinámica de tenencia de la tierra muestra pues la concentración de la gran propiedad en pocas manos, mientras que la pequeña propiedad se fragmenta o se entrega en formas de arrendamientos. Además prevalece como tendencia que refuerza el círculo, “la dictadura” de los intermediarios por falta de organización y capacitación de las comunidades. Estos son los que comercializan la papa y tienen poder sobre el mercado condicionándolo en cantidades y precios, pues conocen más el mercado.

De otro lado, los derechos de propiedad no están bien definidos y esto impacta el manejo adecuado de los R.N. Un ejemplo para la zona se da con el recurso agua, el cual, en la medida en que se amplía la frontera agrícola, desencadena conflictos locales socio-ambientales, relacionados con el abuso, la falta de protección y las relaciones conflictivas entre los habitantes de la parte alta y baja, por la fuerte modificación de caudales.

Esta misma falta de definición de los derechos de propiedad ha traído conflictos relacionados con la adquisición de predios en las inmediaciones de las zonas declaradas como reservas forestales protectoras (en Zipaquirá y Cogüa).

En relación con la declinación de la estructura social tradicional, esta se caracteriza por la pérdida del autoconsumo y la poliaktividad como estrategias de supervivencia económica y nutrición familiar (Ibíd.).

De otro lado, con la aceleración de la velocidad de la innovación tecnológica, típica de los modelos de desarrollo económicos ya mencionados, se da una mayor brecha entre las habilidades laborales requeridas y las que puede ofrecer el pequeño campesino.

Esto conduce al incremento del desempleo estructural, caracterizado por unas habilidades muy peculiares del trabajador que son de difícil adquisición por parte de él (Martínez, 2001). Lo anterior ocasiona un desajuste de la cualificación ofrecida y demandada, que repercute en una mayor marginación social y económica, la cual no deja otras posibilidades que el desarrollo poco apropiado y, desventajoso para el ambiente, de esquemas de producción.

Como un síntoma más externo, en esta esfera puede verse la profundización de las disparidades sociales y económicas, provenientes del mismo proceso de globalización, que posibilita mayores inserciones en el mercado mundial a los grandes propietarios que a los pequeños.

### *Interrelaciones de la esfera psicosocial*

Uno de los síntomas característicos de esta esfera tiene que ver con aspectos como la sensibilización a problemas ambientales, la ausencia de la cual

causa mayor daño a los ecosistemas de páramo. Esta se relaciona, desde lo económico, con la incompatibilidad entre usos privados y sociales. El problema de “ausencia de mercados para vender los servicios de la conservación tales como hábitat de especies, paisajes, aire limpio y servicios de recarga de acuíferos es lo que origina que los agentes privados no se encuentren incentivados a conservar y garantizar estos tipos de servicios” (Ibíd.).

De otro lado, algunas tendencias como demanda por estándares más altos, la reducción de la diversidad cultural, la institucionalización de los servicios sociales (el agua y la regularización de su servicio bajo la visión netamente institucional), la erosión de las normas, propagación del estilo de vida occidental y de los patrones de consumo, son otros causantes del colapso de la agricultura tradicional, con las consecuencias que esto último acarrea a los ecosistemas de páramo.

Por otra parte, la crisis al interior lleva a la gente a una retroacción de movilidad regional, buscando nuevas alternativas (complementarias o sustitutivas). Esto conduce a la vinculación en actividades de servicios y, por consiguiente, a una nueva estructura de vida: unos días en la actividad agropecuaria, otros en actividades de servicios en lo urbano, con el fin de mejorar los ingresos. El cambio viene acompañado además de modificaciones en la estructura cultural. El efecto es la terciarización como actividad de servicios, pero también expresada en los salarios.

Es importante destacar la racionalidad económica que prima en la zona, relacionada con la productividad por cargas sembradas y cosechadas, no por área en hectáreas. Esto de hecho refleja la poca atención que se le presta al área sembrada y el impacto que esto puede ocasionar al ecosistema.

### *Interrelaciones con la esfera político/institucional*

Abarca dos aspectos. El primero de ellos se relaciona con la infraestructura física (vías, servicios públicos, obras de ingeniería); el segundo con los recursos institucionales y la gestión pública que llevan a cabo dichas instituciones.

Una tendencia de la transformación ambiental en páramo de Guerrero concierne a la inestabilidad y malas condiciones ambientales por obras de ingeniería (por ejemplo los reservorios, promovidos como proyecto por la CAR e infraestructura vial sin planeación). Estas vías se convierten, además, en corredores de colonización, por los cuales empieza la destrucción de los bosques y páramos, reforzando el mecanismo central del síndrome. Al mismo tiempo, el crecimiento del volumen del tráfico, hace que aumente la producción, pues ofrece facilidades para transportar la papa. Este último

aspecto de movilidad influye también en la rentabilidad de la producción agropecuaria.

De otro lado, lo institucional refuerza la expansión de la frontera agrícola y el deterioro de los ecosistemas de alta montaña, debido a los siguientes síntomas (identificados en el proyecto C.I. y CAR, 2001):

- Presencia institucional reducida y poco apropiada. La percepción de la comunidad respecto a la autoridad ambiental - CAR es de no credibilidad. Esto se traduce en un conjunto de quejas relacionadas con aspectos tales como:
  - Aplicación de sanciones sin un proceso previo de información y capacitación sobre la normatividad ambiental vigente.
  - Carencia de programas de educación ambiental orientados a la prevención del uso inadecuado de los recursos
  - Desigualdad en la imposición de las normas pues se presentan consideraciones favorables hacia los grandes productores.
  - Falta de seguimiento y monitoreo tanto de las acciones de protección que se han emprendido (reforestaciones y cercamientos), como de las quejas establecidas por la comunidad y el uso de las concesiones de agua.
  - Ausencia de programas de asesoría y capacitación comunitaria en aspectos de reforestación y uso de fuentes hídricas.
  - Falta de incentivos para la conservación de la vegetación nativa que garantice la producción y regulación del agua.
- Otra de las causas de la degradación del páramo es la “falta de un control efectivo por parte del Estado en su conjunto, lo cual genera un bajo nivel de cumplimiento por parte de la comunidad regulada, cuando se trata de las restricciones al uso en determinadas áreas críticas del páramo y en la elección de actividades económicas que pueden tener un efecto negativo sobre el mismo. La utilización de tierras en la parte alta del páramo (tierras que por ley son destinadas a un uso pasivo) es un reflejo de esta debilidad para hacer cumplir la normatividad ambiental” (Ibíd.).
- Otro aspecto a considerar es la ausencia de una política para la producción sostenible de papa que tome en cuenta los proyectos de vida de las comunidades locales. Más bien la política que prevalece es la de producción agrícola de rápida venta, que acelera la expansión de la frontera agrícola.

De otro lado, cuenta también la ausencia de políticas proteccionistas encadenadas, entre otros, con los incentivos (por ejemplo los forestales), que abarquen la evaluación de su pertinencia y su validez. De allí que sea evi-

dente también la falta de mecanismos para su implementación y que además se estén generando formas “sostenibles” de manejo de la tierra a través de incentivos incorrectos. “Los incentivos deberían estar soportados en la idea de proteger a pequeños productores, pero en lugar de ello, se entrelucen las desventajas para ellos” (Ibíd.).

Como tendencias externas son evidentes las nuevas formas de regulación sectorial desde la política neoliberal. La política económica, en teoría, si regula, pero bajo el esquema neoliberal se cambia el estilo de la presencia del Estado. Allí prevalece un Estado de dominancia que es solamente observador.

Otro aspecto más se relaciona con la centralización de la planeación económica, que se da a nivel nacional desde el Ministerio de Agricultura. Habitualmente, dicha planeación no se adecua a los esquemas sectoriales y regionales. Este es el caso para el páramo de Guerrero.

#### 3.2.5.4 Subred de ciencia y tecnología

La “Revolución Verde” en la que los esfuerzos de desarrollo nacionales corrieron paralelos a las actividades de organizaciones donadoras internacionales, ayudó a los países en desarrollo a aumentar significativamente sus rendimientos agrícolas. Las tecnologías típicas de la Revolución Verde involucran el uso simultáneo de variedades de cereal de alta productividad, agroquímicos (fertilizantes comerciales y pesticidas) y máquinas (tractores, máquinas para cosecha, irrigación de bombeo, etc.). Los tres factores deben desplegarse en conjunción, necesitando por ello inversiones sustanciales de capital y consultoría agrícola (WBGU, 1997).

El objetivo de dicha revolución fue suplir las necesidades alimentarias de la población con crecimiento exponencial en los países en desarrollo. El mecanismo central es la carrera entre el crecimiento de la población y la compulsión por aumentar el rendimiento de la comida, intensificando la producción agrícola. Salió a la luz pronto, sin embargo, que la “Revolución Verde” estaba generando problemas ecológicos y socioeconómicos debidos también a la importación de métodos de producción extranjera y a la aplicación incorrecta de ellos. En años recientes, la dependencia en las importaciones, la falta de intercambio extranjero y el aumento de los precios ha llevado a una situación en que la complementariedad de los tres factores mencionados anteriormente no se ha dado más (Ibíd., p. 121).

Cuando esto se combina con la falta de educación de los agricultores y el inadecuado asesoramiento, el resultado es un *uso de técnicas inapropiado*, llevando en muchos casos a la degradación medioambiental, por ejemplo a través de la sobrefertilización o despliegue incorrecto de maquinaria y técnicas de arado.

Muy a menudo, daños a la salud se causan por el uso inapropiado de pesticidas. Un problema fundamental es la rápida erosión genética en medio de las plantas cultivadas cuando numerosas variedades indígenas adaptadas a las condiciones locales son reemplazadas por variedades de alta productividad que requieren un aumento de la protección química. Además, la Revolución Verde refuerza las disparidades económicas regionales ya que tiene éxito normalmente sólo en áreas de irrigación tradicional, pero no en las zonas áridas (Ibíd.).

Las principales tendencias o síntomas de este patrón funcional, dentro del síndrome son la pérdida de la biodiversidad, la erosión genética, degradación de suelos, amenazas a la seguridad alimentaria, amenazas a la salud por uso de pesticidas, marginación campesina, migraciones, la reducción de la diversidad cultural y el reforzamiento de disparidades de las economías regionales (Ibíd.).

En la zona también existe la tendencia hacia el establecimiento de sistemas inadecuados de producción agropecuaria, los cuales ocasionan la disminución de la rentabilidad de la producción. Esto se debe principalmente a la deficiencia de tecnologías sostenibles para el manejo del suelo y la cobertura vegetal (agroecología). En relación con la ganadería, el problema gira alrededor de cómo tener alimentos en la finca para los animales, para soportar los rigores estacionales del clima, estabilizar los ingresos durante el año, mejorar la reproducción de las vacas y vender mejor los terneros (C.I. y CAR, *op cit.*)

Otras tendencias más en esta esfera, tienen que ver con la poca intensificación de la educación y de la capacidad de la infraestructura; además de la creciente dependencia de los campesinos a diversas variedades de semillas, a la mecanización de la agricultura y a los agroquímicos, lo cual incrementa los costos de producción.

### 3.2.5.5 Subred de respuesta de la población afectada

La población del páramo de Guerrero está compuesta por personas dedicadas a actividades agrícolas (principalmente siembra de papa, en menos proporción arvejas, haba, zanahoria y otros cultivos). En general, se cuenta con vías de acceso, para la comercialización de productos hacia los mercados de la zona (Zipaquirá, Cogua, Tausa) y cuando el volumen de producción es mayor van a los mercados de Bogotá (principalmente Corabastos).

Estos últimos aspectos han repercutido en la concentración de población humana en áreas cercanas a los páramos, pero también con una dinámica muy alta, caracterizada por migraciones a la ciudad de las generaciones más jóvenes y por movimientos de la población flotante, que constituye la mano de obra para la siembra, recolección, fumigación, etc.; proveniente, en

su mayoría, de Boyacá. Otros inmigrantes han llegado a la zona a tomar en arriendo tierras o a adquirirlas, para su explotación, por lo general, intensiva. Estos aspectos harían complejo el balance de población y, por lo tanto, impedirían afirmar, decisivamente, que “el proceso de asignación de usos a la tierra del páramo ha sido más influenciado por el incremento de la población, lo cual presiona más la demanda por recursos en esta zona” (afirmación del estudio C.I. y CAR, 2001).

Tampoco existen cifras exactas sobre el control de la natalidad para la zona, pero, es claro que existe una tendencia incipiente de emancipación de la mujer, que ha disminuido el número de hijos en las familias entrevistadas.

De otro lado, existe la tendencia en la distribución de la población a concentrarse en las zonas más altas, pero en forma dispersa; en lugar de las más bajas, debido al alto costo de producción en estas últimas y a la ausencia de políticas que ayuden a aumentar la producción en ellas.

La situación de marginalidad ha propiciado migraciones (éxodo rural) del sector más pobre y sin oportunidades, el cual se ha desplazado a los centros urbanos en condiciones desventajosas, propiciando nuevos conflictos sociales (déficit en la prestación de servicios, insalubridad), y promoviendo la proliferación de asentamientos irregulares en áreas periurbanas, en donde las familias subsisten en condiciones precarias. (Tudela, 2002)<sup>34</sup>.

La dinámica poblacional y su crecimiento genera un proceso de urbanización el cual “podría ser la transformación socio-ambiental más significativa” en el siglo XX. “La concentración poblacional en asentamientos urbanos conduce al agrupamiento de personas, bienes, servicios y procesos productivos, a la artificialización de los ecosistemas y a una complejización de las mediaciones entre el asentamiento y la base biofísica de soporte de vida” (Ibíd. p. 59).

Esto desata otra serie de conflictos relacionados con que los asentamientos precarios tienden a ubicarse en lugares de mayor exposición a eventos peligrosos, por corresponder a bajos precios del suelo o las condiciones ambientales suelen ser precarias en las zonas de mayor pobreza y la infraestructura suele ser de baja calidad (Ibíd.).

Un síntoma más que se reporta en esta esfera y que es consecuencia del manejo inadecuado de insumos agropecuarios, o de actividades contaminadoras, es el daño a la salud de la población. Otro fundamental es el de amenaza a la seguridad alimentaria, descrita arriba.

<sup>34</sup> Vale la pena aclarar que actualmente esto no estaría aliviando la presión sobre los recursos naturales, pues ésta se realiza mayormente por parte de los “grandes paperos” y el éxodo rural es de los pequeños agricultores.



La sostenibilidad alimentaria y la seguridad alimentaria en interacción con la marginalidad como causa y consecuencia es un aspecto que se refleja, en parte, en síntomas como la disminución del consumo de carne bovina por la incapacidad económica de la mayoría de la población. Es notorio el insuficiente y estratificado consumo de proteína de origen animal, del trabajo de campo que se realizó.

La zona de Guerrero constituye un páramo “urbanizado”, con una alta influencia de Bogotá. La cosmovisión de sus habitantes es, por tanto, altamente urbana. La cabecera de Zipaquirá se exhibe cada vez más terciarizada y presenta un acelerado proceso de conurbación. Los elementos culturales de la capital permean, por ello, a los habitantes del páramo.

Desde este enfoque, los procesos de planificación cobran un sentido diferente, que deberían tomar en cuenta que Zipaquirá como ciudad intermedia, posee vínculos y flujos estrechos con la capital, que son incluso de una temporalidad diaria (hay una considerable población estudiantil de Zipaquirá acá en Bogotá). Por lo anterior, cualquier política ambiental y ecológica para el páramo de Guerrero no se puede generalizar, al contrario, deberá tener un tratamiento especial.

### 3.2.5.6 Retroacciones positivas

Estas retroacciones fueron explicadas en el numeral 1.6.3.2, donde se miró la dinámica del sistema sociedad-naturaleza, de acuerdo con dos respuestas sociales a la presión, ejercida en cierto estado del ambiente. Esta respuesta se puede dar en dos formas. La primera como “enlaces reactivos de forzamiento” (que fueron desarrollados en los párrafos anteriores como retroacciones negativas para la sostenibilidad) o de “tejidos pro-activos de empoderamiento” (a desarrollarse en este acápite como retroacciones positivas).

En el estudio de C.I. y CAR, 2001, se desarrolló un capítulo sobre la normatividad ambiental relacionada con el páramo de Guerrero. Allí se presenta una síntesis de leyes, decretos, acuerdos y resoluciones emitidas desde el nivel nacional hasta el regional, relacionados con la protección y conservación de fuentes de agua, bosques, suelos, flora y fauna. Esto muestra la potencialidad que tiene el aspecto legal para romper con el círculo vicioso del síndrome y mitigar algunas de las tendencias no sostenibles de la relación sociedad-naturaleza en la zona.

En el área de interés han sido declaradas dos áreas de reserva forestal. El Acuerdo 6 de 1992, declara como área de Reserva Forestal Protectora los terrenos que conforman la cuenca de las Quebradas Honda y Calderitas en una extensión aproximada de 475,3 hectáreas, ubicada en jurisdicción del

municipio de Cogua, Cundinamarca. El Acuerdo 017 de 1992, declara como área de Reserva Forestal Protectora los terrenos que conforman la Cuenca de la Laguna de Pantano Redondo y el nacimiento del Río Susaguá, ubicados en la Vereda Pantano Redondo del municipio de Zipaquirá, Cundinamarca.

En la actualidad hay indicios de regeneración natural del Bosque Alto andino, en las dos reservas forestales de acuerdo con el recorrido en campo y con la interpretación de las imágenes de satélite de varias fechas, donde se identificaron áreas de recuperación en esta zona (ver **mapa 2**, en CD). Esta recuperación es notoria en sitios donde el municipio ha adquirido predios incluidos en dichas zonas de reserva forestal.

Para los tres municipios incluidos en el área de influencia de la zona considerada como páramo de Guerrero, han sido ejecutadas acciones alrededor de los planes de ordenamiento ambiental del territorio (Ley 99 de 1993, Ley 388 de 1997, Artículo 1, 9, 10 y 12). Zipaquirá adoptó el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio, con el Acuerdo 12 de 2000; Con el Acuerdo No. 001 de 1999 el Consejo Municipal adopta el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Cogua; con el Acuerdo No. 28 de 2000 se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Tausa, se clasifican y determinan usos del suelo y se establecen los sistemas estructurantes.

Existen varios estudios en la zona, que han culminado con propuestas de planes de acción y de manejo, conducentes hacia la conservación de los ecosistemas estratégicos presentes. El estudio culminado por C.I., en el 2001 y contratado por la CAR, arrojó como uno de los productos, la formulación del plan de acción, el cual trasegó por dos etapas principales:

- La integración regional y diagnóstico: además del diagnóstico ambiental general se efectuó la coordinación institucional con el fin de llegar a un abordaje concertado de la situación. Así mismo, se realizó un proceso de articulación con los actores de la zona (campesinos, maestros, niños y jóvenes), con quienes se llevaron a cabo diversas actividades conducentes a hacerlos partícipes de las iniciativas de conservación.
- En la segunda etapa se diseñó el plan de acción concertado, el cual incluyó el reconocimiento de la problemática ambiental en forma conjunta con la comunidad, recogiendo además sus propuestas de solución.

Cabe destacar la gran potencialidad, inherente a las organizaciones no gubernamentales, para implementar el Plan de Acción propuesto en el marco del estudio C.I. y CAR, 2001. Algunas de estas ONG's han sido constituidas desde el seno de la comunidad y han contribuido en forma muy efectiva a la conservación de la zona. Es notoria su participación, por ejemplo en la

constitución del área de Reserva Forestal Protectora de los nacimientos de las quebradas Honda y Calderitas en el municipio de Cogüa (Ibid).

A pesar de que para la zona han sido aplicados programas de reforestación y protección hídrica y esto ubicaría tendencias favorables en la escala temporal de la transformación ambiental, ellos han traído consigo numerosos inconvenientes, relacionados con la poca investigación que se realizó sobre las especies adecuadas para la zona y sus características ambientales. Dichas especies (en su mayoría pinos y eucaliptos), han ocasionado numerosos impactos con efectos sucesivos para el suelo, el agua y la comunidad (ver síndrome de especies foráneas, numeral 3.2.3.4). Esto muestra que hubo, de un lado, buena disposición de proteger el recurso agua; pero de otra, falló la investigación sobre especies de páramo y sucesiones de ecosistemas de páramos, entre otros.

Otros programas que actualmente se llevan a cabo en el área de interés y que han sido emprendidos por la CAR y FEDEPAPA, están relacionados, en el primer caso, con talleres de labranza mínima o ecológica, en donde se usan algunas parcelas como escenario al proceso de siembra con tecnologías sostenibles de manejo más adecuado del suelo, en comparación con otras realizadas con tecnologías convencionales, al lado de las anteriores, con el fin de observar aspectos positivos y negativos de cada escenario y mirar resultados tangibles del uso de técnicas de labranza mínima.

A través del convenio con la ANDI y Fedepapa, la UMATA de Zipaquirá lidera actualmente un programa de manejo de residuos de agroquímicos, con centros de acopio en diferentes puntos del espacio, dentro de la zona y un manejo específico de limpieza de envases y su disposición, evitando la contaminación de suelos, el agua, un efecto menos intenso en la salud de la comunidad y en la seguridad alimentaria; además de los beneficios para la fauna que se ve afectada por estas sustancias nocivas.

Desde lo psicosocial existen algunas reacciones favorables, relacionadas con un mayor interés en la participación y la sensibilización al problema ambiental del agua. De las entrevistas se pudieron recoger algunas experiencias positivas de la organización comunitaria para el desarrollo de infraestructura vial y la declaración de límites veredales, que sirvieron para captar presupuesto y realizar obras de servicios públicos y desarrollo vial (caso de la vereda páramo de Guerrero oriental<sup>35</sup>).

La existencia de algunos movimientos proactivos en la zona, ha favorecido también la organización comunitaria para actividades de protestas que

---

35 Comunicación verbal del señor Hector Wagner, agricultor.

ellos han realizado, ante las instancias gubernamentales, exigiendo su participación en las decisiones relacionadas con la compra de predios y el uso del agua.

Nuevas formas de participación de la comunidad, han sido motivadas por la expropiación, por el cobro del agua, o por la exigencia de mejores condiciones de vida en relación con los servicios públicos y la construcción y mantenimiento de vías interveredales.

### *3.2.6 Ordenación y levantamiento de la información ambiental*

Esta fase se desarrolló siguiendo los pasos y procedimientos descritos en el numeral 2.3.2 de la metodología. Frente a la organización de la información, efectuada a partir del mapa de interrelaciones de la **Figura 11**, se seleccionaron los datos e información que sería necesario levantar y se verificó la existencia de otros.

El levantamiento de información se realizó desde las fuentes descritas en el numeral 2.4, siendo para ello fundamental los trabajos de campo y las entrevistas con las comunidades, además del empleo de imágenes satelitales y fotografías aéreas, las cuales fueron procesadas digitalmente con ayuda de software destinados para tal fin, e interpretadas con ayuda de la verificación a partir de los recorridos en campo.

En el **anexo 1** se presentan algunos procesos llevados a cabo en la generación de información para la zona de páramo de Guerrero, como demostración de las posibilidades que se tienen a través del uso de tecnologías de la información geográfica y su potencial para el levantamiento de información multiescalar y multitemporal, que bajo otros métodos de obtención resultaría prácticamente imposible conseguir.

El universo de estudio de esta investigación fue la población ubicada en el área de páramo de Guerrero. Los casos sujetos de estudio fueron seleccionados bajo tres criterios estrictos: tener más de 45 años, haber nacido y crecido en el área y estar en disposición de colaborar con la entrevista. No obstante, hay dos entrevistados menores de 45 años, debido a que mostraron un fuerte interés en ser entrevistados y resultó útil como referente de comparación en el manejo de la información y la percepción del páramo, frente a los mayores. Un elemento adicional que determinó la selección de los entrevistados fueron las sugerencias recibidas por parte de funcionarios de la UMATA de Zipaquirá.

Procuró obtenerse al menos una entrevista por vereda, no obstante, la vereda de páramo de Guerrero Occidental cuenta con el mayor número de entrevistas realizadas: cinco. Esto se justifica por la enorme disposición de las personas

contactadas en conceder una entrevista en esta vereda; en contraposición, a la dificultad presentada en otras zonas, como ocurrió en las veredas del municipio de Tausa. Con base en lo anterior, es posible afirmar que se empleó un muestreo marcadamente intencional o también denominado focalizado, especialmente en los municipios de Zipaquirá y Cogua.

La información espacial multi-temporal de uso y cobertura vegetal, fue generada a partir de los mosaicos fotográficos digitales de las décadas del 40, 50 y 60 y de las imágenes satelitales de los años 1977 (Landsat MSS), 1988, 1998 y 2004 del programa francés SPOT.

Las fuentes secundarias consultadas consistieron en documentos publicados en la red de Internet, sobre el tema de investigación, en los libros y artículos que se describen en el capítulo de bibliografía. La información espacial y alfanumérica empleada para el modelamiento con SIG, provino principalmente de la base de datos georreferenciada del estudio CI – CAR (2001).

### 3.2.7 *Caracterización y evaluación de las interrelaciones sociedad-naturaleza a través de ISA espaciales*

En este punto se han abordado ya los aspectos relacionados con la consolidación de la base teórica y conceptual que sirve de marco de referencia al desarrollo de los ISA espaciales o de tercera generación. Para páramo de Guerrero fueron analizadas algunas interrelaciones del sistema sociedad-naturaleza, con su funcionalidad y dinámica. De igual forma se identificaron los desarrollos nocivos de esa interacción, como base para “medir” e indicar la sostenibilidad ambiental de la zona. En los siguientes numerales se presenta el diseño e implementación de los ISA espaciales. Sobra aclarar, que la complejidad del sistema sociedad-naturaleza permitiría generar una gran cantidad de ellos. De hecho, por cada subred y anillo de la red presentada, podrían desarrollarse indicadores; sin embargo el propósito dentro del presente estudio de caso se centró en desarrollar solo algunos indicadores tipo.

El diseño y desarrollo de indicadores tipo que será presentado, se realizará con base en la caracterización y evaluación del síndrome de sobreutilización de suelos marginales, para el área de páramo de Guerrero.

#### 3.2.7.1 *Las cualidades de la transformación ambiental - ISA espaciales descriptivos*

Se centran en la descripción de las cualidades de la transformación ambiental para la zona de páramo de Guerrero; por ello, retoman los síntomas o

tendencias de las diversas esferas que atraviesa lo ambiental, los cuales fueron desarrollados en el numeral 3.2.2. Algunos de esos síntomas o tendencias pueden convertirse en indicadores descriptivos. Con este fin se definen como variables, caracterizadas por categorías lingüísticas (“alto”, “bajo”, “fuerte”, “débil”, etc.), las cuales se concretan con respecto a la intensidad del síntoma o cualidad de la tendencia en la zona, por ejemplo altos costos de producción. La variable son los costos de producción y la categoría lingüística es “altos”.

El concepto de la lógica difusa se utilizó aquí para definir la membresía o no membresía gradual o difusa de las localizaciones de interés, a una categoría lingüística que no tiene bordes internos definidos. A cada localización se asignó un grado de membresía (o posibilidad), que está entre cero (0) y uno (1), el cual indica un incremento continuo de nomembresía a una completa membresía. Para el ejemplo planteado, cada localización del área de interés tendrá un grado de membresía a la categoría lingüística “altos costos de producción”. Es decir habrá localizaciones con una posibilidad mayor de poseer altos costos de producción y habrá otras con menos posibilidades (ver **Figura 13**). Esas membresías son descritas por medio de funciones que pueden ser sigmoidales, en forma de J, lineares etc.<sup>36</sup>

Esos indicadores fueron ubicados espacialmente, lo cual facilita su visualización (ver más ejemplos en la **Figura 18**, **Figura 20** y **Figura 21**).

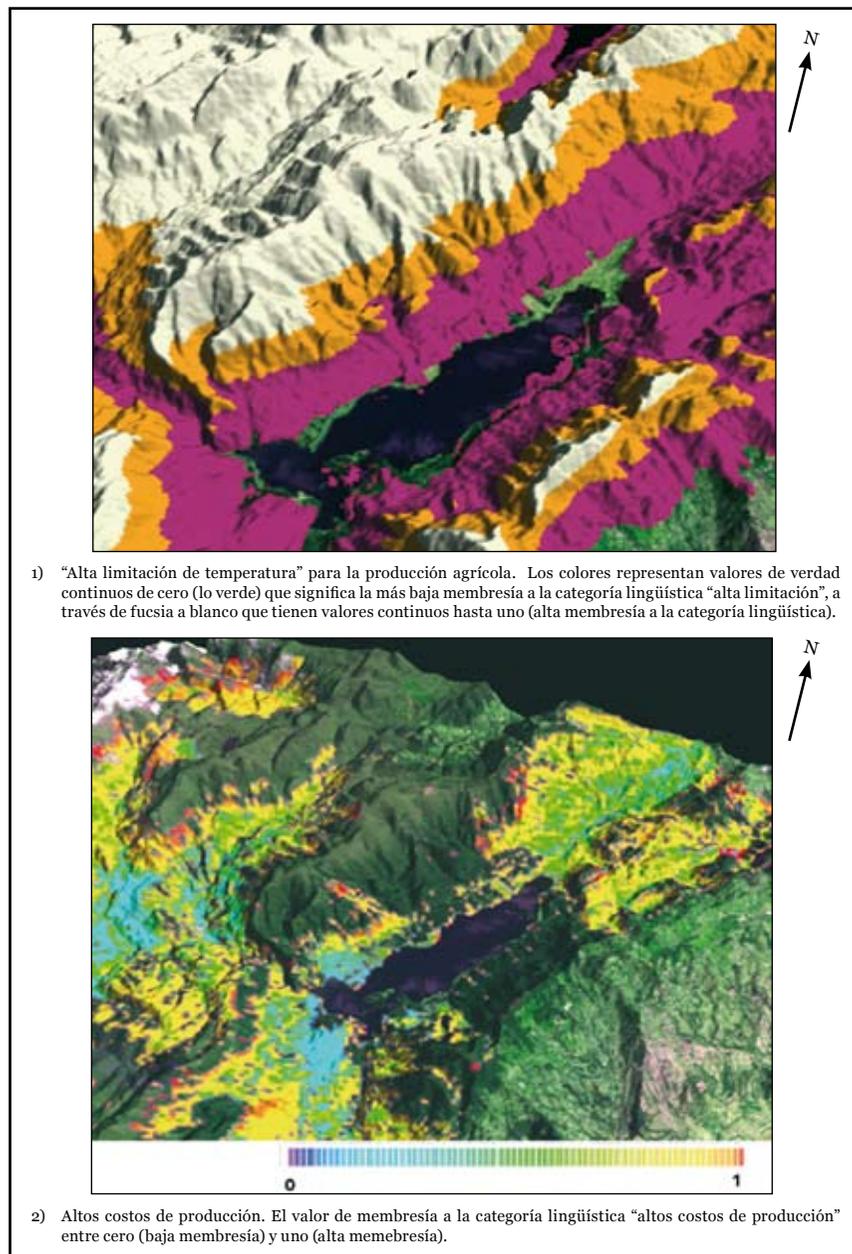
#### 3.2.7.2 *Disposición al síndrome de sobreutilización de suelos marginales – ISA espaciales analíticos*

En esta instancia se abarcan las condiciones en las que se llevan a cabo las interacciones centrales del síndrome, considerando que esa disposición es lo contrario de lo que en ciencia médica se conoce como inmunidad (Petschel-Held et al. 1999). La metodología usada fue descrita en el numeral 2.3.3.2.

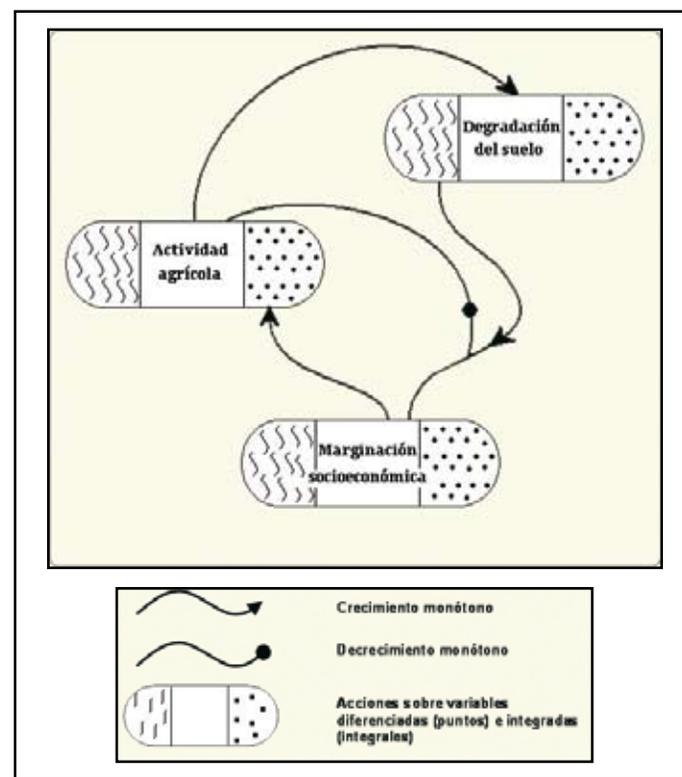
Se partió de considerar que el brote del síndrome depende de la existencia de áreas “marginales” para la actividad agropecuaria y que sería necesario conocer en qué grado son marginales esas zonas. Dicha marginalidad abarca dos dimensiones: la natural y la socioeconómica. Este análisis al final permitiría develar los sitios más propensos a la no sostenibilidad ambiental para el síndrome considerado. Entre más disposición de ciertas zonas, más se podría reforzar el mecanismo central del síndrome allí. A la vez, estas zonas son las que resultarían afectadas en su base natural de producción por la actividad agropecuaria excesiva (Ibíd.).

<sup>36</sup> Software IDRISI. Ayuda en línea. Funciones de membresía de conjuntos difusos.

**Figura 13.** Ejemplos de ISA espaciales descriptivos para el páramo de Guerrero



**Figura 14.** Interrelaciones abordadas en el modelo de disposición al síndrome



El modelo se diseñó solamente para las interacciones centrales del síndrome de sobreutilización del suelo marginal, como un ejemplo de aplicación. Sin embargo, otros similares podrían desarrollarse al nivel de las subredes ya descritas. En la **Figura 14** se aprecian las interacciones abordadas, con la caracterización de las relaciones presentes entre ellas.

La suposición básica es que el nivel absoluto de marginación socioeconómica conduce a la población rural a expandir la agricultura y de este modo una parte integral de esa marginación actúa hacia la intensificación/expansión de la agricultura, llamada allí “actividad agrícola”.

De otro lado, en sitios “marginales”, es el grado absoluto de la intensidad de la actividad agrícola el que refuerza la degradación del suelo. Finalmente, la

marginación socioeconómica es una función de la aptitud del suelo y del nivel de la actividad agrícola (Ibíd. p.301). Dicha actividad puede dejar ingresos, eso le da el carácter de decrecimiento monótono.

Con base en esas interrelaciones, para la conceptualización del modelo se abordaron inicialmente dos preguntas: *¿Qué factores de predisposición hacen más o menos marginal el ambiente natural para la actividad agropecuaria y dónde se ubican estos espacios? y ¿Qué determinantes refuerzan la marginalidad socioeconómica de la población rural y conducen a usar el ambiente natural “marginal” para tener ingresos y dónde se ubican estos sitios?*

Para responder a estas preguntas se conceptualizó un modelo que usa la lógica difusa y el SIG, como herramientas de apoyo para su implementación. El modelo se desarrolla en relación con dos aspectos, que a su vez se interrelacionan y responden a las preguntas planteadas: la disposición natural y la disposición socioeconómica. El modelo total se espacializó con ayuda de tres software: ArcView, IDRISI y ERDAS Imagine (ver **anexo 1**). De este modelo de disposición se obtuvieron algunos ISA espaciales analíticos, tal como se muestra a continuación.

#### *Determinación de variables lingüísticas para ubicar en el espacio la disposición al síndrome*

Las variables establecidas consideraron, de un lado, la alta disposición al daño de la base natural de producción del área de páramo de Guerrero por el aumento de la actividad agropecuaria. Para ello, se evaluaron las variables en términos de su alta limitación natural, como se puede apreciar en la **Tabla 6**. Allí mismo se presenta la fuente de los datos digitales por cada variable y el papel de ellas en la disposición al síndrome.

El modelo, en esta parte, se orientó hacia la limitación natural para la productividad, de las diversas variables presentadas. Estas serían, sin duda, las zonas más propensas a sufrir daño con el brote del síndrome. Como el síndrome comprende dentro del mecanismo central la actividad agropecuaria (cultivos de papa y ganadería), las variables se analizan en relación con su disposición para dicha actividad. La idea final es obtener las zonas de alta limitación (o marginalidad) natural para la actividad agropecuaria, que serían, a su vez, las más propensas (de acuerdo con este criterio) al síndrome de sobreutilización de suelos marginales.

La actividad agropecuaria como interacción muy específica entre la sociedad y su ambiente natural es determinada igualmente por las características sociales y económicas, que pueden agravar o compensar los factores naturales limitadores mencionados arriba. Según la **Figura 14** y con base en el diseño

de interrelaciones presentado para el síndrome, la dimensión socioeconómica dentro del mecanismo central refuerza la necesidad de intensificar/expandir la actividad agrícola debido a una marginalidad social y económica que se acentúa por su dependencia de R.N. “marginales”, con ingresos cada vez más bajos para el soporte de vida de la población.

Con base en esos aspectos, se consideró centrarse en dos aspectos principales. El primero es la alta dependencia de la población rural a su producto agrícola y la imposibilidad de escapar del círculo vicioso de la marginalidad y sobreutilización debido a la escasez de fuentes de entradas alternativas. El segundo es la dinámica de la tenencia de la tierra y la desventaja en la que, con respecto a otros grupos sociales, se encuentra la población rural pobre. En este contexto, las variables usadas, las fuentes de obtención y sus respectivas categorías lingüísticas se presentan en la **Tabla 7**.

La interpretación que debe darse a estas variables con respecto al síndrome, es que allá donde ellas se ubiquen con una membresía alta, son sitios con mayor disposición socioeconómica a su brote. Este ejercicio está lejos de abarcar todos los aspectos de esta dimensión dentro del sistema sociedad-naturaleza de la transformación ambiental del páramo de Guerrero, pero como ilustración se presentan algunos tópicos de interés.

El procedimiento general para el tratamiento de todas las variables del modelo, consistió de los siguientes pasos:

- Determinación de la membresía de variables espaciales a las categorías lingüísticas presentadas en las tablas anteriores mediante el uso de funciones de membresía o acorde con el conocimiento experto
- Combinación espacial de variables lingüísticas con membresía, por componentes de la disposición natural y socioeconómica, a través del uso de operadores lógicos difusos.
- Combinación espacial, a través de operadores lógicos difusos, de las variables lingüísticas que conforman la disponibilidad natural y socioeconómica, las cuales se interrelacionan dentro del sistema sociedad-naturaleza en la zona y determinan la disposición al síndrome.

Cada uno de estos aspectos se desarrolla a continuación.

#### *Determinación de membresía de variables espaciales a las categorías lingüísticas*

En la **Tabla 8** se presentan las funciones de membresía y aquellos valores establecidos por los juicios de expertos, para determinar la pertenencia de cada variable a las diversas categorías lingüísticas.

**Tabla 6.** Variables lingüísticas de disposición natural al síndrome

Variables	Categoría lingüística*	Cláusulas lógicas (según disposición para el síndrome)	Fuente de datos digitales	Papel de la variable en la disposición
<b>Características de los suelos</b>				
Condiciones para la mecanización	Baja	Bajas condiciones de mecanización	DEM de la misión "The Shuttle Radar Topography (SRTM)" <sup>1</sup>	En pendientes altas, el uso de tractor se dificulta y puede producir erosión
Disponibilidad de agua (humedad en el suelo)	Baja	Baja disponibilidad de agua	Estudio general de suelos (escala 1:100.000) y zonificación de tierras <sup>2</sup>	Una alta disposición la presentan principalmente suelos de alta montaña, con características edafológicas desfavorables para la producción. También presentan una alta disposición algunos suelos de zonas más planas, pero provenientes de depósitos clásticos, que son muy superficiales y pobremente drenados
Condiciones de enraizamiento (profundidad efectiva)	Baja	Bajas condiciones de enraizamiento		
Drenaje del suelo	Insuficiente	Insuficiente drenaje		
<b>Condiciones climáticas</b>				
Disponibilidad de agua superficial (escorrentía)	Baja	Baja disponibilidad de agua superficial	Capítulo de hidrología del estudio C.I. y CAR, 2001 de la zona de Páramo de Guerrero	La producción se ve más afectada en zonas con una pobre disponibilidad de agua superficial
Variabilidad interanual de la precipitación	Alta	Alta variabilidad de la precipitación	Capítulo de hidrología del estudio C.I. y CAR, 2001 de la zona de Páramo de Guerrero	Una variabilidad interanual alta del patrón estacional de la precipitación causa incertidumbre en la planeación agrícola y perturbaciones en la producción
Condiciones de temperatura	Limitante	Alta limitación de temperatura	CEVIPAPA	Existen dos zonas de producción marginal en las cuales los principales factores que van siendo limitantes son <sup>3</sup> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfermedades y plagas: hacia el clima templado entre 1.500 y 2.000 m</li> <li>• Heladas: en las zonas altas entre 3.500 y 4.000 m.s.n.m. (temperaturas menores de 7,76 °C, que empiezan a ser nocivas para los cultivos).</li> </ul>
<b>Erosión del suelo</b>				
Pendiente y longitud de pendiente	Alta	Alta pendiente y Alta longitud	DEM de la misión "The Shuttle Radar Topography (SRTM)"	A medida que aumenta la inclinación, crece el peligro de erosión, porque el agua corre más rápido por la superficie y disminuye el tiempo para infiltrarse. A su vez, la longitud influye en la velocidad, energía y volumen de agua de escorrentía, aumentando su poder erosivo, en la medida que ella aumenta (Henaó, 1996).
Protección del suelo por uso y cobertura	Baja	Baja protección del suelo por uso	Clasificación supervisada de la Imagen SPOT. Año 2004. Resolución espacial de 10 M.	La erosión puede ser acelerada por diversos usos, sobre todo, cuando ellos implican sobre-utilización o un manejo inadecuado del suelo. La vegetación es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión, pues ella intercepta el agua con su follaje, amortiguando el golpe de las gotas de lluvia; sus raíces disminuyen la velocidad y fuerza del agua, al mismo tiempo que amarran el suelo; aporta materia orgánica y favorece la infiltración del agua, entre otros (Henaó, op. cit. p.201).
Erodabilidad tipo de suelo	Alta	Alta erodabilidad del suelo	Estudio general de suelos (escala 1:100.000) y zonificación de tierras.	Las características del suelo, determinan su fuerte o débil disposición a la erosión. Esto se determina a través de un factor de disposición a la erosión
Intensidad de la precipitación	Alta	alta intensidad de erodabilidad	Índice modificado de Fournier (IMF)	Es la cantidad de agua que cae en un minuto. Si esa intensidad es alta, la cantidad de agua que cae en un tiempo menor, puede ser más nociva para la erosión que la de un tiempo mayor. Esa intensidad y frecuencia de las lluvias afecta la velocidad y volumen de escorrentía y, por ende, la erosión (Ibíd. p. 200)

\* La membresía a estas categorías, en relación con su contribución a la disposición natural del síndrome fue establecida entre 0 (baja membresía a la categoría lingüística) y 1 (alta membresía a la categoría lingüística).

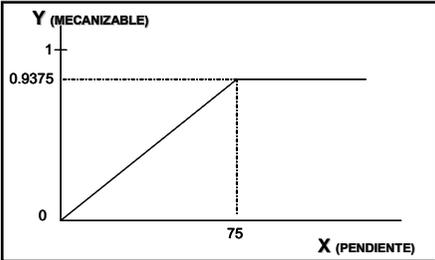
- 1 La resolución espacial usada fue de 30M. Facilitado por el Instituto geográfico Agustín Codazzi.
- 2 Departamento de Cundinamarca Subdirección de agrología. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2000
- 3 CEVIPAPA en <http://www.cevipapa.org.co/cultivo/colombia.php>

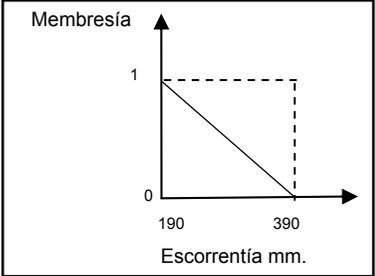
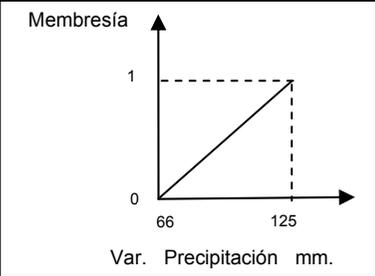
**Tabla 7.** Variables lingüísticas para la disposición socioeconómica del síndrome

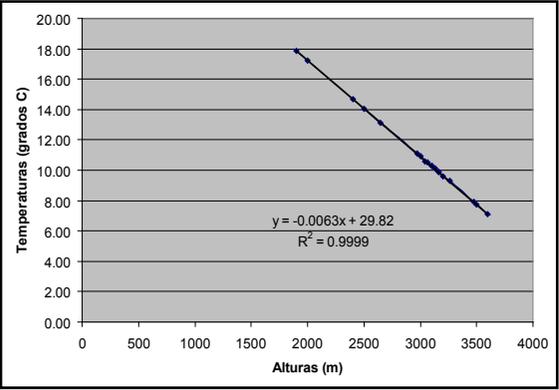
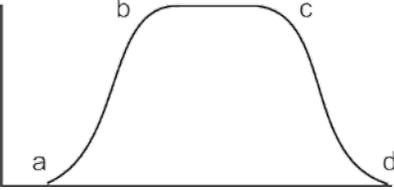
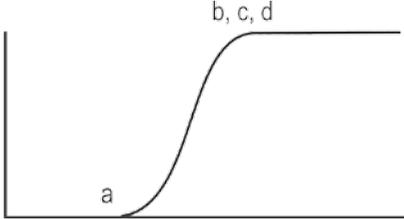
Variables	Categoría lingüística*	Cláusulas lógicas (según disposición para el síndrome)	Fuente de datos digitales	Papel de la variable en la disposición
<b>Dependencia de la actividad agropecuaria</b>				
Proporción de la actividad de subsistencia	Alta	Alta dependencia a la actividad agropecuaria	interpretación de la imagen satelital SPOT para la fecha 2004	Alta dependencias de la población rural a su producto agrícola debido a la escasez de fuentes de entradas alternativas, lo cual refuerza la marginalidad socioeconómica
<b>Factores que inducen la marginalidad</b>				
Costos de producción	Alto	Altos costos de producción	Integración de aspectos naturales de disposición con el tipo de uso actual del suelo	Los costos de producción del cultivo de la papa en la zona, han venido en aumento. Esto lo demuestran los datos del nivel Departamental de la <b>Tabla 15</b> . Se acentúa la marginalidad debido a la disminución en la rentabilidad de los cultivos
Fragmentación de la tierra	Alta	Alta fragmentación de la tierra	Información predial de los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tausa proveniente de las Alcaldías. Áreas cultivadas con papa a partir de la clasificación de la imagen satelital SPOT 4 de 2004	La condición limitante de la actividad agrícola por parte de los pequeños propietarios en el campo y su marginalidad social. Es el pequeño propietario quien tiene las menores oportunidades allí y quien en este momento, en lugar de expandirse, está intensificando la actividad agrícola, a través del esquema de fraccionamiento de la tierra, sobretodo, por herencias recibidas. Este es pues un factor que conduce a la marginalidad y que, a su vez, es consecuencia de ésta última.
<b>Tenencia de la tierra</b>				
Tenencia de la tierra	Alta	Alta proporción de grandes productores	I Censo Nacional del Cultivo de Papa. DANE. Tenencia de la tierra de las unidades productoras de papa. Departamento de Cundinamarca. Segundo Semestre 2001	Predominio de arriendo de las áreas de papa sembradas (ver <b>Tabla 16</b> ). El pequeño campesino se ha visto avocado a arrendar su tierra o a trabajar como aparcerero y jornalero para los grandes propietarios, desmejorando su calidad de vida. Se ocasionan marcadas disparidades sociales y económicas que al final conducen a la marginalidad

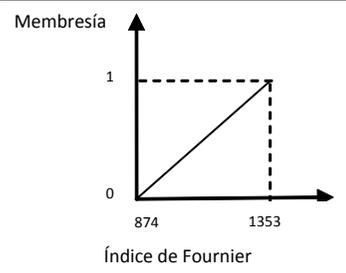
\* La membresía a estas categorías, en relación con su contribución a la disposición natural del síndrome fue establecida entre 0 (baja membresía a la categoría lingüística) y 1 (alta membresía a la categoría lingüística)

**Tabla 8.** Funciones de membresía de las variables para determinar el grado de inclusión a la cláusula lógica “Alta/baja/insuficiente X” \*

Variables Espaciales	Cláusula lógica para categoría lingüística	Procedimiento efectuado	Determinación de membresía a la categoría lingüística																					
<b>Características de los suelos</b>																								
Condiciones para la mecanización	Bajas condiciones de mecanización	Se determinó con base en la pendiente del terreno en porcentajes. Estos se apropiaron como membresía a la categoría lingüística baja a través de la función mostrada con la gráfica (Martínez L. J., 2006)	 $Y = \begin{cases} 0.0125x & 0 \leq X \leq 75 \\ 0.9375 & X > 75 \end{cases}$																					
Disponibilidad de agua (humedad en el suelo)	Baja disponibilidad de agua	Se usó el régimen de humedad según la <b>Tabla 9</b> . La membresía se estableció entre 0 y 1, según conocimiento experto.	<p><b>Tabla 9.</b> Membresía del régimen de humedad del suelo para estimar la baja disponibilidad de agua</p> <table border="1" data-bbox="1249 786 1754 972"> <thead> <tr> <th>Régimen humedad del suelo</th> <th>Membresía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Acuico</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Ustico</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>Udico</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Fuente: Martínez L. J., 2006</p>	Régimen humedad del suelo	Membresía	Acuico	0.9	Ustico	0.3	Udico	0													
Régimen humedad del suelo	Membresía																							
Acuico	0.9																							
Ustico	0.3																							
Udico	0																							
Condiciones de enraizamiento (profundidad efectiva)	Bajas condiciones de enraizamiento	Se establecieron las condiciones de enraizamiento del suelo, con base en juicio experto ( <b>Tabla 10</b> )	<p><b>Tabla 10.</b> Membresía de la profundidad del suelo para estimar la condición baja de enraizamiento</p> <table border="1" data-bbox="1149 1114 1854 1390"> <thead> <tr> <th>Profundidad del suelo</th> <th>Rango (cm)</th> <th>Membresía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Extremadamente superficial</td> <td>&lt; 10</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Muy Superficial</td> <td>10 – 25</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Superficial</td> <td>25 – 50</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Moderadamente Profundo</td> <td>50 – 100</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td>Profundo</td> <td>100 – 150</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Muy Profundo</td> <td>150</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Fuente: Martínez L. J., 2006</p>	Profundidad del suelo	Rango (cm)	Membresía	Extremadamente superficial	< 10	1	Muy Superficial	10 – 25	0.9	Superficial	25 – 50	0.7	Moderadamente Profundo	50 – 100	0.2	Profundo	100 – 150	0	Muy Profundo	150	0
Profundidad del suelo	Rango (cm)	Membresía																						
Extremadamente superficial	< 10	1																						
Muy Superficial	10 – 25	0.9																						
Superficial	25 – 50	0.7																						
Moderadamente Profundo	50 – 100	0.2																						
Profundo	100 – 150	0																						
Muy Profundo	150	0																						

Drenaje del suelo	Insuficiente drenaje	Se realizó con base en el conocimiento experto. Ver <b>Tabla 11.</b>	<p><b>Tabla 11.</b> Membresía del drenaje del suelo para estimar la condición de drenaje insuficiente</p> <table border="1" data-bbox="1255 209 1748 412"> <thead> <tr> <th>Drenaje</th> <th>Membresía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muy pobre</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Pobre</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Moderado</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Bueno</td> <td>0.25</td> </tr> <tr> <td>Excesivo</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Fuente: Martínez L. J. 2006</p>	Drenaje	Membresía	Muy pobre	1	Pobre	0.7	Moderado	0.4	Bueno	0.25	Excesivo	0
Drenaje	Membresía														
Muy pobre	1														
Pobre	0.7														
Moderado	0.4														
Bueno	0.25														
Excesivo	0														
<b>Condiciones climáticas</b>															
Disponibilidad de agua superficial (escorrentía)	Baja disponibilidad de agua superficial	Se usaron las isóneas de escorrentía, a las cuales se asignó un valor de membresía	<p>Función lineal:  <math>Baja\_disp\_agua = (390 - isóneas\_ESCORRENT) / (390 - 190)</math>            Donde: 390 y 190, corresponden a los valores de escorrentía máximo y mínimo respectivamente.</p> 												
Variabilidad interanual de la precipitación	Alta variabilidad de la precipitación	Fueron usados los datos de precipitación multianual de las estaciones climatológicas de la zona. Para cada estación fue tomada la precipitación media multianual y se halló la variación restando del valor máximo, el valor mínimo. A los valores de variación fue aplicada una función de proximidad en el software SIG, la cual arrojó como resultado polígonos de Thiessen, que constituyen la aproximación de la influencia espacial de la variación de cada estación para el área de estudio.	<p>Función lineal difusa de membresía aplicada a los polígonos de Thiessen:  <math>Alta\_varia\_precip = (varia\_precip - 66) / (125 - 66)</math>            Donde: 125 y 66, corresponden a los valores de variabilidad máximo y mínimo respectivamente</p> 												

<p>Condiciones de temperatura</p>	<p>Alta limitación de temperatura</p>	<p>Para estas temperaturas (por estaciones) y sus respectivas alturas fue ajustada la mejor regresión lineal (<b>Figura 15</b>), con el fin de generar un mapa continuo de temperaturas, en dependencia de la altura (variable independiente). La membresía a la categoría lingüística condiciones limitantes de temperatura fue hallada a partir de la función sigmoideal (<b>Figura 16</b>). Los puntos de inflexión allí establecidos señalan que la zona de producción óptima, determinada en función de cantidad y calidad de la papa corresponde a fincas localizadas entre 2.500 y 3.000 m., para las cuales equivalen temperaturas de 14.06 °C y 10.91 °C respectivamente.</p>	<p><b>Figura 15.</b> Regresión lineal Temperatura-Altura</p>  <p><b>Figura 16.</b> Función sigmoideal de membresía difusa para la temperatura</p>  <p>Donde a = 7.76° C ; b=10.9° C ; c=14.06° C ; d=17.21° C</p>
<p><b>Erosión del suelo</b></p>			
<p>Pendiente y longitud de pendiente</p>	<p>Alta pendiente y Alta longitud</p>	<p>Se modelaron conjuntamente estos dos aspectos, a través del establecimiento de intervalos de pendientes (regiones) y el cálculo por cada intervalo de las longitudes de pendiente. El algoritmo usado fue el del software IDRISI, el cual calcula la longitud de pendiente a cada celda dentro de una región y la mayor longitud es asignada a dicha región. Para el cálculo se usó el DEM, a partir del cual se computa la pendiente del terreno. Posteriormente por cada región se encontró la membresía (<b>Figura 17</b>)</p>	<p><b>Figura 17 .</b> Función sigmoideal de membresía difusa para la condición alta pendiente y alta longitud</p>  <p>El valor del punto de inflexión <b>a</b>, fue tomado como el valor mínimo de la longitud de pendiente del respectivo intervalo o región. El valor de inflexión <b>b</b>, fue tomado como el valor promedio de longitud de pendiente por cada uno de los cinco intervalos (regiones) considerados</p>

<p>Protección del suelo por uso y cobertura</p>	<p>Baja protección del suelo por uso</p>	<p>A los diversos tipos de uso y coberturas vegetales se asignó un valor de membresía, acorde con conocimiento experto, asignando los mayores valores a los eriales y los usos agropecuarios y los menores a las coberturas boscosas y de páramo (<b>Tabla 12</b>)</p>	<p><b>Tabla 12.</b> Membresía a baja protección del suelo por uso</p> <table border="1" data-bbox="1249 177 1754 495"> <thead> <tr> <th>Uso y coberturas</th> <th>Membresía</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rastrojos</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>Bosque secundario</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Páramos</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Eriales</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Pastizales</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Cultivos (predomina papa)</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Bosques plantados</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>	Uso y coberturas	Membresía	Rastrojos	0.3	Bosque secundario	0	Páramos	0	Eriales	1	Pastizales	0.9	Cultivos (predomina papa)	0.9	Bosques plantados	0.5
Uso y coberturas	Membresía																		
Rastrojos	0.3																		
Bosque secundario	0																		
Páramos	0																		
Eriales	1																		
Pastizales	0.9																		
Cultivos (predomina papa)	0.9																		
Bosques plantados	0.5																		
<p>Erodabilidad tipo de suelo</p>	<p>Alta erodabilidad del suelo</p>	<p>Se halló la membresía de cada unidad de suelo, presente en el área de estudio, a la condición de alta erodabilidad. En la <b>Tabla 14</b>, la columna K_FACTOR almacena estos valores. Se realizó con base en conocimiento experto</p>	<p>Ver membresía asignada por conocimiento experto en K_FACTOR (<b>Tabla 14</b>)</p>																
<p>Intensidad de la precipitación</p>	<p>Alta intensidad de erodabilidad</p>	<p>Debido a la dificultad para conseguir series de precipitación diaria, estos modelos de erosión normalmente utilizan índices adaptados que permiten aproximarse al efecto nocivo de la lluvia para la erosión. En el presente modelo se empleó el índice de modificado Fournier (IMF); usado en Martínez L. J. (<i>op cit.</i>) como una aproximación para determinar susceptibilidad a la erosión.</p>	<p>La fórmula empleada fue: <math display="block">\sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}</math></p> <p>Donde <math>P_i</math> es la cantidad de lluvia en un mes y <math>P</math> es la lluvia anual.</p> <p>Al resultado obtenido se asignó valores de verdad según la condición precipitación de alta erodabilidad. Para ello se usó la siguiente ecuación difusa de membresía:  <math display="block">\text{Precip\_alta\_erod} = ((\text{Fournier}-874.364)/(1353.731-874.364))</math> Donde 874.364 y 1353.731 corresponden a los valores mínimo y máximo de IMF respectivamente.</p> <div data-bbox="1321 1127 1680 1409" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">  </div>																

### Dependencia de la actividad agropecuaria

Proporción de la actividad de subsistencia

Alta dependencia la actividad agropecuaria

Consistió en calcular el porcentaje de actividad agropecuaria (pastos y cultivos en el **mapa 1**, en C.D.) por cada vereda de la zona de estudio. Este porcentaje se consideró como la membresía (**Tabla 13**).

**Tabla 13.** Alta dependencia de la actividad agropecuaria por vereda

Nombre	Área (ha.)	Área actividad (ha.)	Alta depend
Sabaneque	1389.220	578.03	0.416
Páramo Bajo	6936.100	2990.43	0.431
Páramo Alto (Tausa)*	42.410	3.83	0.090
San Antonio	2003.440	1227.02	0.612
El Salitre	2601.260	1249.88	0.480
Páramo Alto (Cogüa)	2215.330	1687.42	0.762
Quebrada Honda	2093.120	1415.23	0.676
Guerrero Occidental	1082.210	1014.66	0.938
Cardonal	981.030	511.25	0.521
Guerrero Oriental	2149.560	1064.41	0.495
El Empalizado	1173.290	456.35	0.389
Venta Larga	2375.550	771.58	0.325
Rodamontal	2260.290	1646.68	0.729
San Isidro	1602.280	1208.34	0.754
Rio Frío	951.400	786.17	0.826

\* Se toma el área de la vereda que alcanza a quedar incluida en la zona recortada de la imagen de satélite. No es el área total de la Vereda.

### Factores que inducen la marginalidad

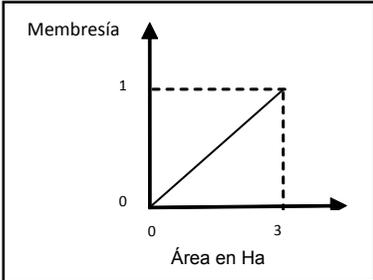
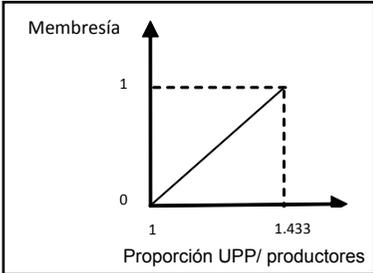
Costos de producción

Altos costos de producción

Con el fin de ubicar espacialmente algún aspecto de los costos de producción y tomando en consideración que dependen, en buena parte, de las condiciones naturales, tanto éstas, como el uso actual en la zona fueron considerados. La membresía se determinó con base en juicio experto, considerando los criterios

Criterios de membresía a altos costos de producción:

- Cultivos o pastos en suelos de baja aptitud productiva que requerirían de fertilizantes, abonos orgánicos y correctivos
- Presencia de plagas (por condiciones climáticas) que requerirían de un uso más intenso de herbicidas, insecticidas y control de plagas o enfermedades que exigirían fungicidas
- Suelos más susceptibles a la erosión, lo cual exigiría un manejo tecnológico especial o de un tiempo de descanso más prolongado.
- Las condiciones naturales difíciles exigirían asumir unos mayores costos de mano de obra.

Fragmentación de la tierra	Alta fragmentación de la tierra	<p>Los predios fueron clasificados de acuerdo con su tamaño así:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Predios de pequeños propietarios: menores de 3 Ha.</li> <li>• Predios de medianos propietarios: de 3 a 10 Ha.</li> <li>• Predios de grandes propietarios: mayores de 10 Ha.</li> </ul> <p>Fueron superpuestos con los sitios de actividad agropecuaria (cultivos y pastos), con el fin de observar la distribución espacial de los pequeños propietarios con esa actividad económica. Con base en ello, se infirió que esos son los sectores en donde se ubican los pequeños campesinos con una disposición mayor a la marginalidad. Ver <b>Figura 18</b></p>	<p>Se asignó el valor de membresía con base en una función lineal aplicada a las áreas menores de 3 Ha.</p> 
<b>Tenencia de la tierra</b>			
Tenencia de la tierra	Alta proporción de grandes productores	<p>Se realizó el análisis por veredas. Se aproximó la membresía de cada una de esas veredas a una alta proporción de grandes productores. Con este fin se usaron los datos del censo Nacional de la papa del DANE (tercera separata). En la <b>Tabla 17</b> se presenta el número de UPP y el número de productores de esas UPP. La columna UPPRO muestra que en casi todos los casos hay un productor con más de una UPP*; lo cual estaría dando a entender que esos productores tienen siembras en más de una finca.</p>	<p>En la <b>Tabla 17</b> puede observarse la columna con los valores de verdad de membresía Alta_prop_prod. Dichos valores se obtuvieron a partir de una función difusa lineal de mínimo y máximo aplicada a la proporción de UPP sobre los productores (UPPRO).</p> 

\* Las inclusiones (membresías) con grado uno indican valores donde no es razonable el desarrollo de la actividad agropecuaria. Las inclusiones con grado cero indican que no hay limitación para la actividad agropecuaria. Entre esos límites las funciones de membresía se asumen lineares o no lineares demarcando el grado de limitación para la actividad agropecuaria.

\* UPP - Unidad Productora de Papa

**Tabla 14.** Membresía de características del suelo a la alta disposición al síndrome

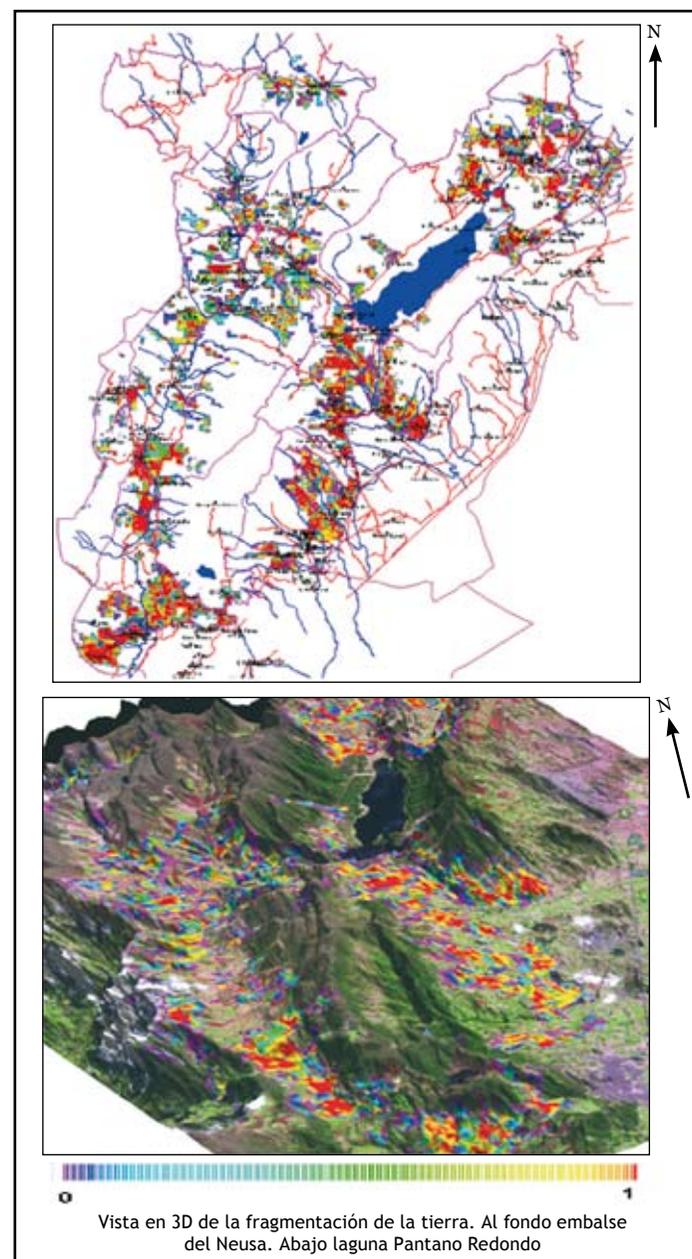
Unidad**	F_ profundidad	F_ Drenaje	F_ humedad	ALTA_ DIS_ SDR*	K_ Factor
ME	1	1	1	1	1.00
MEA	0	0	0	0	0.28
MEF	0.7	0	0	0.397	0.11
MGF	0	0.2	0	0.08	0.25
MGN	0.9	0.2	0	0.607	0.34
MGS	0.7	0	0	0.397	0.39
MGT	0	0	0	0	0.15
MKC	0	0	0	0	0.56
MKQ	0	0	0	0	0.45
MLC	0.7	0	0	0.397	0.47
MLF	0.2	0.2	0	0.14	0.34
MLJ	0	0	0	0	0.51
MLK	0	0.2	0	0.08	0.48
MLN	0.2	0	0	0.08	0.54
MLS	0	0	0	0	0.45
MLT	0.7	0	0	0.397	0.19
MLV	0	0	0	0	0.25
MMC	0.2	0	0.3	0.187	0.21
MMJ	0.9	0.2	0.3	0.662	0.18
MMK	0	0	0.3	0.13	0.56
MMS	0.2	0	0	0.08	0.35
MMT	0.2	0	0.3	0.187	0.35
MMV	0.7	0	0	0.397	0.49
MPS	0.9	0	0	0.57	0.48
MQC	0	0	0	0	0.35
MQS	0.9	0	0	0.57	0.33
MQV	0.2	0	0	0.08	0.44
RLO	0.7	1	0.9	0.933	0.62
RLQ	0	0	0	0	0.49
RMO	0.9	1	0.9	0.967	0.54
RMR	0	0.2	0.3	0.187	0.52
RMS	0	0.2	0	0.08	0.25

Fuente: Martínez L. J., 2006

\*\* Para descripción de las unidades remitirse al estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Cundinamarca, del IGAC, 2000. Tomo II, Capítulo 3. En términos generales, para la zona, dominan los suelos negros, con contenidos medios a altos de materia orgánica, profundos incluso en pendientes fuertes, pero con presencia también de suelos superficiales y afloramientos rocosos en las zonas más abruptas (León T. et al., 2006).

\* Ver **Tabla 18** (alta disposición edafológica al síndrome) para su explicación.

**Figura 18.** Membresías a categoría lingüística “Alta fragmentación de la tierra”



**Tabla 15.** Costos promedio de producción de papa en Cundinamarca

Fecha	Costo promedio de producción por hectárea de papa
Semestre A de 2001	\$ 8.680.361
Semestre B de 2001	\$ 8.755.728
Semestre A de 2002	\$ 8.888.829
Semestre B de 2002	\$ 9.125.355
Semestre A de 2003	\$ 9.543.510
Semestre B de 2003	\$ 9.984.050
Semestre A de 2004	\$10.501.040

Fuente: CEVIPAPA: <http://www.cevipapa.org.co/estadisticas/estadisticas.php#>

**Tabla 16.** Tenencia de la tierra de las unidades productoras de papa. Departamento de Cundinamarca. Segundo Semestre 2001.

Tenencia de la tierra	Área de papa (ha)	Número de UPP*	Porcentaje (%)
Propia	11.642	8.008	33
Arrendada	18.568	7.148	52
Compañía	4.634	3.396	13
Otra	816	468	2
<b>Total Cundinamarca</b>	<b>35.660</b>	<b>19.020</b>	<b>100</b>

Fuente: I Censo Nacional del Cultivo de Papa. DANE

\* Unidad Productora de Papa UPP: Corresponde al terreno (o terrenos) cultivado de papa, al interior de la finca, bajo la responsabilidad de un mismo productor (DANE, 2002).

**Tabla 17.** Proporción de grandes productores por vereda en Páramo de Guerrero

NOMBRE_VER	UPP*	PRODUCTORES	UPPPRO	Alta_prop_prod
Sabaneque	86	60	1.433	1.000
Páramo Bajo	367	333	1.102	0.236
Páramo Alto	33	30	1.100	0.231
San Antonio	77	65	1.185	0.427
El Salitre	68	62	1.097	0.224
Páramo Alto	89	79	1.127	0.293
Quebrada Honda	63	56	1.125	0.289
Guerrero Occidental	165	141	1.170	0.393
Cardonal	22	21	1.048	0.111
Guerrero Oriental	165	141	1.170	0.393
El Empalizado	20	20	1.000	0.000
Venta Larga	21	20	1.050	0.115
Rodamontal	37	36	1.028	0.065
San Isidro	73	66	1.106	0.245
Río Frío	15	13	1.154	0.356

Fuente: I Censo Nacional del Cultivo de Papa. DANE. Separata 3

### *Combinación espacial de variables con membresía para la disposición al síndrome, usando operadores lógicos difusos*

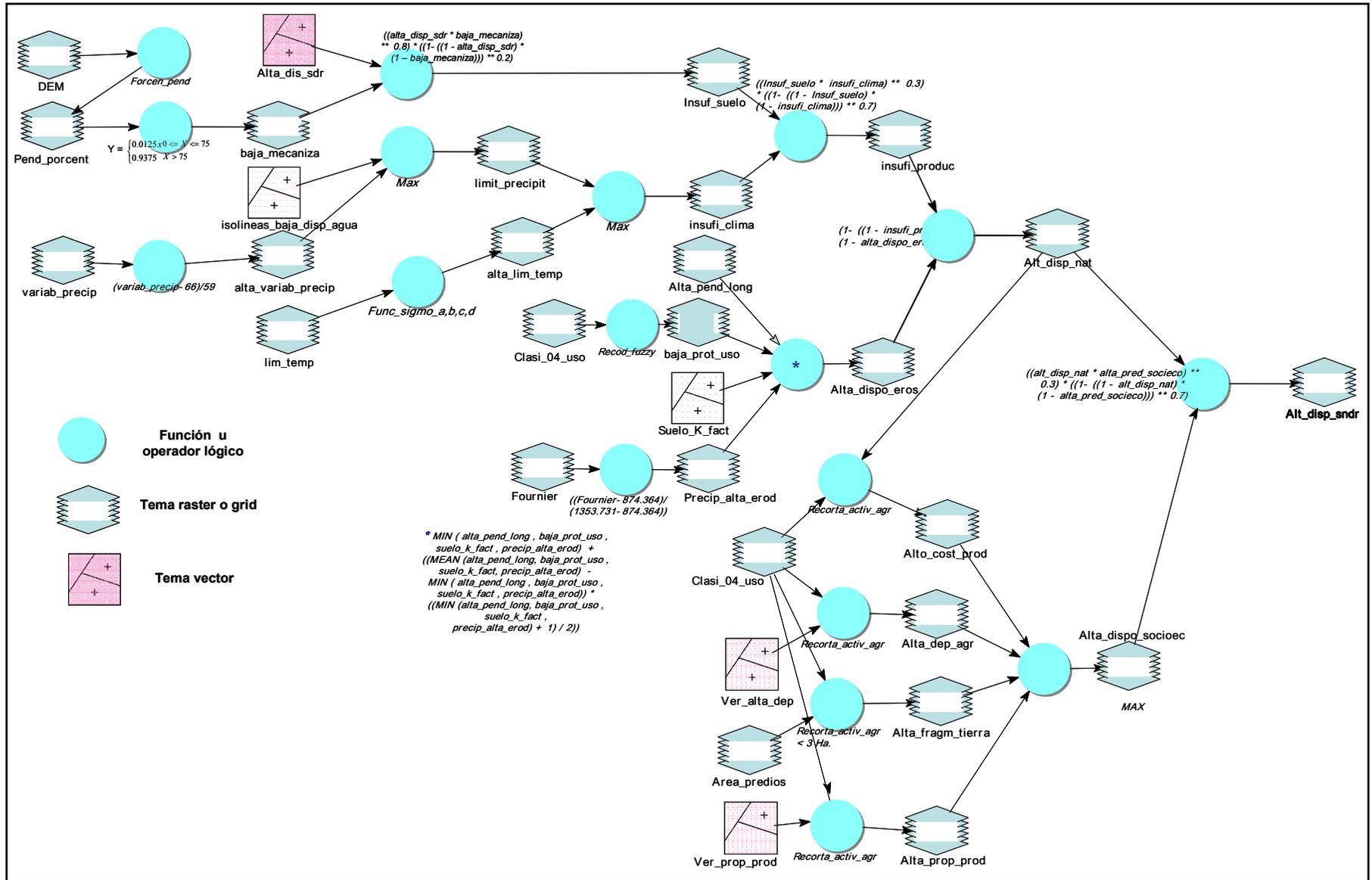
Esta etapa se cumplió una vez hallados los valores de verdad (entre cero y uno) para cada variable descrita, con base en las categorías lingüísticas establecidas.

El árbol de decisión general con los operadores difusos empleados y las diversas integraciones de variables dentro de cada dimensión (natural y socioeconómica) y entre dimensiones se muestra en la **Figura 19**.

En la **Tabla 18** se presenta por pasos el proceso de integración de variables para hallar la disposición natural al síndrome. En la **Tabla 19** el proceso para encontrar la disposición socioeconómica y, finalmente, en la **Tabla 20** el proceso de integración de ambos aspectos para generar la disposición total al síndrome de sobreutilización de suelos marginales. Cada uno de esos procesos descritos por partes, puede ser observado también en el árbol de decisión general.

La selección de uno u otro operador se llevó a cabo a través de pruebas de escenarios alternativos de integración de variables, visualizando cada resultado y contrastándolo con el trabajo de campo efectuado en la zona. El conocimiento experto también fue fundamental, en relación con la decisión de los operadores lógicos compensatorios y el grado de compensación seleccionada.

**Figura 19.** Árbol de decisión difusa para hallar la disposición natural y socioeconómica al síndrome de sobreutilización de suelos marginales



**Tabla 18.** Integración de variables lingüísticas para la disposición natural al síndrome de sobreutilización de suelos marginales

Variables con Membresía de la Categoría Lingüística*	Operador Lógico Difuso	Resultados y ubicación espacial de ISA
<b>Alta disposición edafológica al síndrome</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja disponibilidad de agua</li> <li>Bajas condiciones de enraizamiento</li> <li>Insuficiente drenaje</li> </ul>	<p>Fue calculada usando un operador AND compensatorio. El uso de esa compensación se justifica, pues el AND es comprendido como el mínimo de los dos valores de verdad que se están analizando, donde el valor de verdad más bajo limita estrictamente el resultado (independiente de un segundo valor de verdad posiblemente cercano a 1). Esta característica no es a menudo la traducción apropiada de reglas expertas lingüísticas, de allí que se requiera un carácter levemente compensatorio (Lüdeke et al. 1999). Fue tomado de Reynolds (2001) en Martínez L. J. (2006):</p> $AND(t) = \min(t) + [\text{promedio}(t) - \min(t)] * [\min(t)+1]/2$ <p>Donde min (t) es el valor mínimo de veracidad de alguno de los antecedentes del operador AND y promedio(t) la media ponderada de los valores de veracidad de los antecedentes del operador AND. Dicho operador funciona para la evaluación de factores limitantes o excluyentes, como los del modelo (Ibid.).</p> <p>Este se aplicó en el software ArcView, a la tabla vinculada del tema suelos con la expresión:</p> $((([F\_rhumed] \text{ Min } [F\_profundidad]) \text{ Min } [F\_drenaje]) + ((([F\_rhumed] + [F\_profundidad] + [F\_drenaje]) / 3) - (([F\_rhumed] \text{ Min } [F\_profundidad]) \text{ Min } [F\_drenaje]))) * ((([F\_rhumed] \text{ Min } [F\_profundidad]) \text{ Min } [F\_drenaje]) + 1) / 2)$ <p>Las variables corresponden a las columnas de la <b>Tabla 14</b>. El resultado se visualiza allí en ALTA_DISP_SDR; donde puede analizarse la compensación mencionada.</p>	<p>En términos generales, para la zona, dominan los suelos negros, con contenidos medios a altos de materia orgánica, profundos incluso en pendientes fuertes, pero con presencia también de suelos superficiales y afloramientos rocosos en las zonas más abruptas (León T. et al., 2006).</p> <p>Una alta disposición la presentan principalmente los suelos de alta montaña. También algunos suelos de zonas más planas, pero provenientes de depósitos clásticos, que son muy superficiales y pobremente drenados</p>  <p>Zona plana de acumulación (glacis) en el Páramo de Guerrero. Nótese los suelos desnudos al fondo (foto de León T.)</p>
<b>Condiciones insuficientes del suelo para producción</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta disposición edafológica (de la integración anterior)</li> <li>Bajas condiciones de mecanización</li> </ul>	<p>Se empleó un operador lógico AND compensatorio. Con este se buscó que para el caso de una disposición edafológica media, este valor de verdad fuera compensado a un cierto grado de disposición alta por una baja condición de mecanización, que realizara las condiciones de insuficiencia del suelo. Para esto se usó un operador parametrizado, el llamado operador <math>\gamma</math> que permite el compensatorio AND. Para este caso <math>\gamma = 0.2</math>, introduce el efecto compensatorio previsto, mientras preserva claramente las características del AND. Esta es la forma general de ese operador AND compensatorio (Lüdeke et al. 1999):</p> $\mu_{A \wedge B} = (\mu_A \cdot \mu_B)^{1-\gamma} [1 - (1 - \mu_A)(1 - \mu_B)]^\gamma$ $0 \leq \gamma \leq 1$ <p>Para el presente caso la expresión aplicada fue:</p> $\text{Insuf\_suelo} = ((\text{ALTA\_DISP\_SDR} * \text{baja\_mecaniza}) ** 0.8) * ((1 - (\text{ALTA\_DISP\_SDR} * (1 - \text{baja\_mecaniza})) ** 0.2)$	<p>Erosión por surcos debido a mecanización. Cambio de color en el horizonte superior del suelo (foto de León T.)</p> 
<b>Alta limitación por precipitación en la zona</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja disponibilidad de agua superficial</li> <li>Alta variabilidad de la precipitación</li> </ul>	<p>Se aplicó un operador OR de lógica difusa, que permitió seleccionar el valor de verdad máximo:</p> $\text{limit\_precipit} = \text{MAX}(\text{baja\_disp\_agua}, \text{alta\_variab\_precip})$ <p>Esto se justifica en tanto que una como otra condición de la precipitación son esenciales para la producción agrícola en la zona</p>	

**Insuficiencia por condiciones climáticas**

- Alta limitación por precipitación (obtenida del paso anterior)
- Alta limitación de temperatura

Se halló a partir del operador lógico OR, combinando la alta limitación por precipitación y las condiciones limitantes de temperatura del área de interés, usando la siguiente expresión:

$$\text{Insufi\_clima} = \text{MAX}(\text{limit\_precipit}, \text{alta\_lim\_temp})$$



Irrigación de pastos y cultivos en la vereda Páramo de Guerrero occidental. Zonas con escasez periódica de agua por variabilidad climática

**Condiciones insuficientes para la producción agrícola**

Un operador AND compensatorio fue usado para este fin:

$$\text{insufi\_produc} = ((\text{Insuf\_suelo} * \text{insufi\_clima}) ** 0.3) * ((1 - (\text{Insuf\_suelo}) * (1 - \text{insufi\_clima})) ** 0.7)$$

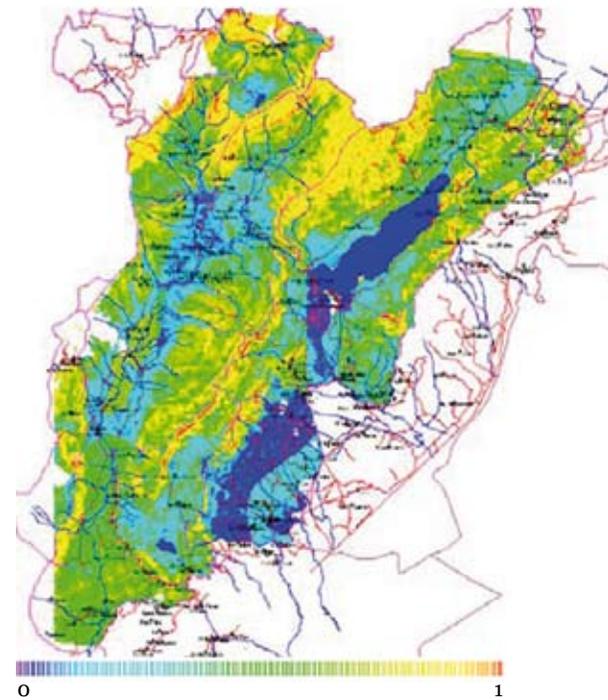
Este operador funciona similar al que había sido descrito para las condiciones insuficientes del suelo. Esta vez son diferentes los valores compensatorios usados, pretendiendo con esto que la compensación la reciba la insuficiencia del suelo, de acuerdo con la condición de clima. En la **Figura 20** se presenta la ubicación espacial de esta condición.

- Insuficientes condiciones climáticas
- Insuficientes condiciones de suelo para la producción



En primer plano, se observan suelos con condiciones limitadas para la producción agrícola

**Figura 20.** Condiciones insuficientes para la producción agrícola



### Alta disposición a la erosión

Se usó un operador lógico difuso AND compensatorio, como el empleado para obtener la alta disposición edafológica al síndrome:

$$\text{Alta\_dispo\_eros} = \text{MIN}(\text{alta\_pend\_long}, \text{baja\_prot\_uso}, \text{suelo\_k\_fact}, \text{precip\_alta\_erod}) + ((\text{MEAN}(\text{alta\_pend\_long}, \text{baja\_prot\_uso}, \text{suelo\_k\_fact}, \text{precip\_alta\_erod}) - \text{MIN}(\text{alta\_pend\_long}, \text{baja\_prot\_uso}, \text{suelo\_k\_fact}, \text{precip\_alta\_erod})) * ((\text{MIN}(\text{alta\_pend\_long}, \text{baja\_prot\_uso}, \text{suelo\_k\_fact}, \text{precip\_alta\_erod}) + 1) / 2))$$

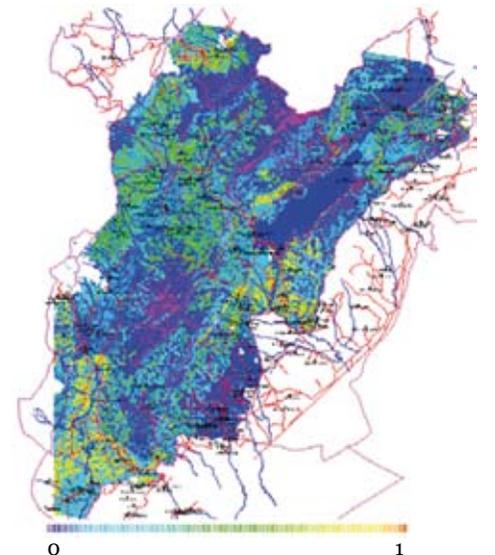
En la **Figura 21** se presenta el resultado espacial.



En la foto puede apreciarse un fenómeno de remoción en masa por baja protección del suelo

- Alta pendiente y Alta longitud
- Baja protección del suelo por uso
- Alta erodabilidad del suelo
- Alta intensidad de erodabilidad de precipitación

**Figura 21.** Alta disposición a la erosión

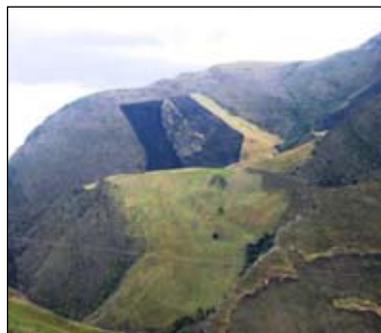


### Alta disposición natural al síndrome

Para su estimación fue empleado el siguiente operador lógico OR conectivo (Lüdeke et. Al. Op. Cit. p.318):

$$\text{Alta\_disp\_nat} = (1 - ((1 - \text{insufi\_produc}) * (1 - \text{alta\_dispo\_eros})))$$

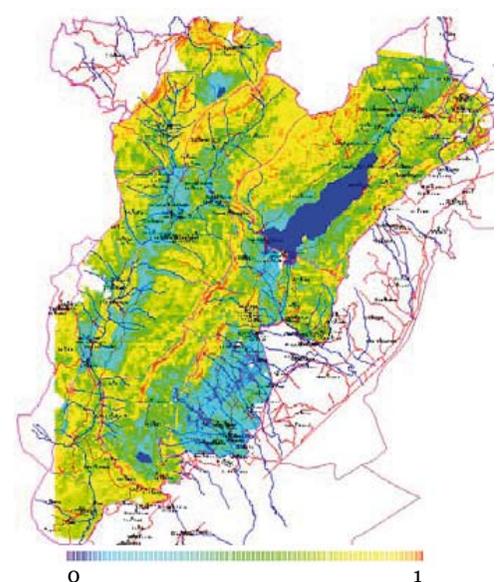
Con este operador bajo una disposición media a la erosión, las condiciones insuficientes para la producción reducen la disposición natural levemente - un efecto que no se podría describir con el operador máximo simple (ver **Figura 22**).



Zonas con alta disposición natural al síndrome en la vereda Páramo Alto

- Condiciones insuficientes para la producción agropecuaria
- Alta disposición a la erosión

**Figura 22.** Alta disposición natural al síndrome

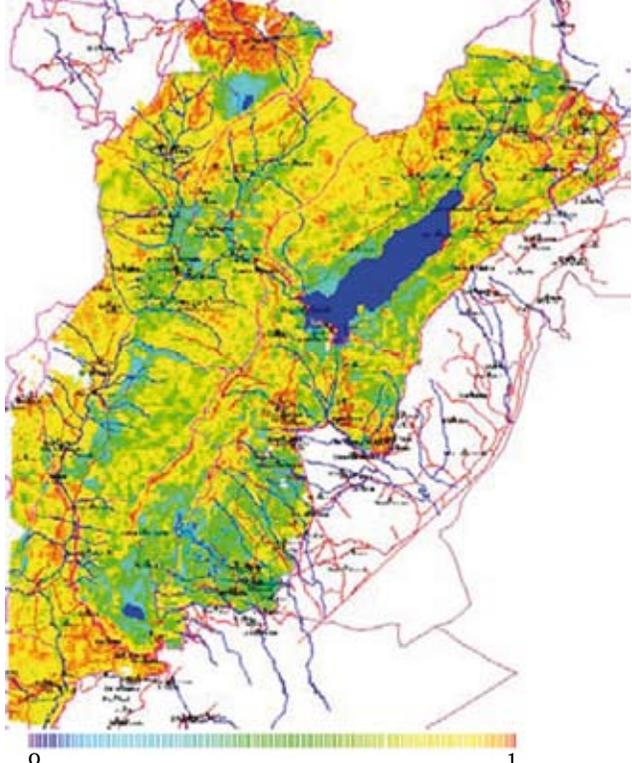


\* La forma como fue hallada la membresía de algunas variables usadas fue presentada en la **Tabla 8**. Otras variables se obtuvieron como productos intermedios mediante el proceso presentado aquí

**Tabla 19.** Integración de variables lingüísticas para la disposición socioeconómica al síndrome de sobreutilización de suelos marginales

Variables con Membresía de la Categoría Lingüística	Operador Lógico Difuso	Resultados y ubicación espacial de ISA
<b>Altos costos de producción</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta disposición natural al síndrome</li> </ul>	<p>Se superpusieron las zonas en actividad agropecuaria, a las cuales fue asignado el valor de membresía de la alta disposición natural al síndrome. Aplican los operadores lógicos difusos empleados en la generación de alta disposición natural al síndrome. Con las zonas de actividad agropecuaria se limitan espacialmente los costos de producción a las áreas con dicha actividad económica</p>	<p>Ver <b>Figura 13</b> (numeral 2 altos costos de producción)</p>
<b>Alta disposición socioeconómica al síndrome</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta dependencia la actividad agropecuaria</li> <li>Altos costos de producción</li> <li>Alta fragmentación de la tierra</li> <li>Alta proporción de grandes productores</li> </ul>	<p>Su combinación se efectuó usando un operador difuso OR:</p> $\text{Alta\_disp\_socio} = \text{MAX}(\text{alto\_cost\_prod}, \text{alta\_dep\_agric}, \text{alta\_fragm\_tierra}, \text{alta\_prop\_prod})$ <p>La ubicación espacial de la alta disposición resultante puede ser observada en la <b>Figura 23</b>.</p> <p>Apréciase que la disposición socioeconómica está presente solo en los sitios de actividad agropecuaria, debido a que es éste el escenario de las interrelaciones sociedad-naturaleza. Para el resto del área se tendrá en cuenta la disposición natural al síndrome, únicamente</p> <div data-bbox="607 885 996 1177" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="505 1203 1096 1328" data-label="Image"> </div> <p>Sectores con alta disposición socioeconómica al síndrome por Alta fragmentación de la tierra, altos costos de producción, dependencia de la actividad agropecuaria y tenencia de la tierra a través de arriendos</p>	<p><b>Figura 23.</b> Alta disposición socioeconómica al síndrome</p>

**Tabla 20.** Integración de variables lingüísticas para la disposición final al síndrome de sobreutilización de suelos marginales

Variables con membresía a la categoría lingüística	Operador lógico difuso	Resultados y ubicación espacial de ISA
<b>Alta disposición total al síndrome</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta disposición natural al síndrome</li> <li>• Alta disposición socioeconómica al síndrome</li> </ul>	<p>Empleó un operador lógico difuso AND con los siguientes valores compensatorios:</p> $\text{Alta\_disp\_sindrome} = ((\text{alt\_disp\_nat} * \text{alta\_pred\_socieco}) ** 0.3) * ((1 - (1 - \text{alt\_disp\_nat}) * (1 - \text{alta\_pred\_socieco})) ** 0.7)$ <p>Ese operador permitió combinar una y otra disposición que convergen en el espacio, compensando los valores finales de membresía. Ver <b>Figura 24</b> con el resultado obtenido</p>  <p>Zonas donde aún no se ha activado el síndrome, pero que poseen una alta predisposición y exposición. Área de influencia de la laguna verde.</p>	<p><b>Figura 24.</b> Alta disposición al síndrome de sobreutilización de suelos marginales</p> 

Los ISA espaciales generados muestran un alto porcentaje del área de interés (78% aproximadamente) con una disposición media alta a alta para desarrollar el síndrome en cuestión. Incluso, como se verá más adelante, actualmente existen áreas donde ya está activo. Esto demuestra la fragilidad de los ecosistemas presentes y su vocación limitada para actividades agropecuarias. Esto no significa que en algunos sectores la producción de papa no pueda realizarse en forma óptima; lo que queda claro es que no es la vocación natural de los suelos; de allí que para ellos se haya adoptado en este trabajo, el término de “marginales”.

De otro lado, la mayoría de sectores que se presentan con disposición baja, poseen condiciones naturales no restrictivas para la actividad agropecuaria,

debido a sus suelos con mayor vocación para cultivos de papa, a las condiciones climáticas óptimas y la baja pendiente (relativa) que facilita la mecanización, sin inducir fácilmente a la erosión.

La **Figura 24** es un ISA espacial síntesis que sirve de punto de partida esencial para el análisis de la sostenibilidad ambiental de la zona, pues dicha sostenibilidad, relacionada con la preservación de las funciones ecosistémicas, debe abordar primero a éstas últimas y su “fragilidad” ante determinadas acciones socioeconómicas. Eso fue lo que trató de modelarse en esta parte. Obviamente, el análisis completo debería incluir los demás síndromes identificados para la zona, con los cuales se estimaría la disposición total a los síndromes bosquejados.

Las funciones ecosistémicas no deberían estudiarse por sí mismas, como todo un tratado de ecología, sino frente a unas dinámicas sociales y económicas específicas que encuentran un escenario de actuación en ese ambiente. De allí que esas funciones ecosistémicas acá abordadas tuvieran que ver con la integración de los aspectos naturales relacionados con la producción de la papa y la ganadería (como uno de los escenarios posibles, de tantos que coexisten en la zona para la dinámica socioeconómica).

Ya con la “fragilidad” o disposición al síndrome, el siguiente paso sería verificar su existencia como tal. Este aspecto tiene que ver con la medición de la actividad de los patrones no sostenibles de las interrelaciones sistémicas sociedad-naturaleza de la zona. Esto último es importante, debido a que la zona puede tener ciertas localizaciones dispuestas al síndrome, pero no necesariamente con su presencia. A continuación lo que se tratará de establecer son esos lugares donde existe el síndrome y se probará una aproximación para medir su intensidad.

### 3.2.7.3 Intensidad del síndrome por veredas – ISA espaciales analíticos y dinámicos

La ubicación y medición de la intensidad del síndrome se realizó bajo la suposición básica de que éste ya está activo, por ello se hizo necesario estudiar en el tiempo, como se ha reforzado su Patrón Sistémico Peligroso - PSP.

La generación de ISA espaciales para la intensidad del síndrome abarcó tres aspectos fundamentales que concuerdan con el esquema de interacciones presentado en la **Figura 14**. Estos son:

- Expansión / intensidad agrícola
- Sobreutilización del suelo
- Intensificación de la marginalidad socioeconómica

La tarea más difícil acá es que no se aborda un hecho estático que tiene que ser probado, sino la dinámica del mecanismo central del síndrome. Esa dinámica no se puede mirar aislada por cada uno de los aspectos mencionados, sino que debe reflejar la acentuación mutua de esos tres aspectos. Se torna necesario entonces el uso de índices de cambio mutuo, sobre algunos períodos de tiempo más que números absolutos (series de tiempo para los datos) [Petschel-Held et al. 1999].

Acá se mostrará un proceso simple, que permitirá obtener el comportamiento temporal de los síntomas y que se basa en relaciones matemáticas simplificadas, que fueron descritas y mostradas en la **Figura 14** (Ibíd.). Modelos cua-

litativos más complejos fundamentados en sistemas expertos y que abarcan una mayor complejidad, están siendo desarrollados y son los que tendrían que incluirse en desarrollos futuros de ISA.

El círculo central del síndrome descrito en la **figura 14**, se puede formalizar por medio de las ecuaciones (Ibíd.):

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= f_1(P), \\ \frac{dS}{dt} &= f_2(A), \\ P &= f_3(A, S) \end{aligned}$$

Donde A define la actividad agropecuaria; S el suelo y P la marginalidad socioeconómica. Todas como funciones del tiempo. Las propiedades monótonas de las relaciones presentadas allí están dadas por:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_1}{\partial P} &> 0, \\ \frac{\partial f_2}{\partial A} &> 0, \\ \frac{\partial f_3}{\partial S} &> 0, \quad \frac{\partial f_3}{\partial A} < 0 \end{aligned}$$

Las funciones **f** son especificadas aún más<sup>37</sup>, hasta llegar a la expresión:

$$\frac{dA/dt}{A} = \frac{dS/dt}{S} = \frac{dP/dt}{P} = const$$

Con esta expresión lo que se puede apreciar es que dicha especificación de las ecuaciones y su linealización, requieren entonces de cambios temporales relativos para llegar a ella. Lo que se deduce es que las variables son iguales y constantes en el tiempo. Para que se pueda considerar que el síndrome está activo, se requiere que el mecanismo central mantenga un reforzamiento constante de las tres condiciones consideradas.

La intensidad del síndrome de sobreutilización en una localización r, se define por la fórmula:

$$Is(r) = \frac{[\max_r T(r)] - T(r)}{\max_r T(r)}$$

(Ecuación I)

<sup>37</sup> Para los detalles y el despeje, consultar a Petschel-Held et al. 1999.

Esta puede variar de cero (sin intensidad) a uno (alta intensidad).

En la fórmula,  $T(r)$  es el cambio temporal relativo e incluye las siguientes variables espacialmente dependientes:

$$T(r) = \left| \frac{dA/dt}{A} - \frac{dS/dt}{S} \right| + \left| \frac{dS/dt}{S} - \frac{dP/dt}{P} \right| + \left| \frac{dP/dt}{P} - \frac{dA/dt}{A} \right|$$

(Ecuación II)

Para un valor de  $T(r) = 0$ , los síntomas estarían cumpliendo la condición de ser constantes e iguales en el tiempo, de acuerdo con la formalización del mecanismo central del síndrome, presentada arriba. Esto daría una insinuación fuerte de actividad de ese mecanismo central.

Si  $T(r)$  es alto significa que el cambio relativo en el tiempo, de los síntomas que conforman el mecanismo central no ha sido constante, luego entonces, el síndrome no estaría manifestándose en esa localización y su intensidad sería cercana o igual a cero.

Ya que los cálculos se realizan para una localización dada, el presente modelo tomó la vereda como unidad espacial. El procedimiento fue similar por cada aspecto del mecanismo central del síndrome abarcado. Primero se calculó el cambio promedio (años 1988 y 2004)<sup>38</sup> por cada uno de los tres aspectos.

Con los cambios promedios obtenidos, se calculó el cambio temporal relativo total  $T(r)$  y posteriormente la intensidad del síndrome –  $I_s(r)$ , a partir de las fórmulas mostradas arriba (ver la **Figura 25** con el flujo general del procedimiento).

En la **Tabla 21** se presentan los procedimientos específicos y los resultados de esta evaluación.

#### 3.2.7.4 Ubicación de sitios con actividad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales

Con este ejercicio se buscó localizar sitios con alguna actividad del síndrome. La información no se refirió esta vez a una unidad espacial (vereda), sino que a través de operaciones de superposición, se efectuó una ubicación aproximada de los lugares en las veredas que tienen activo el síndrome.

Los síntomas o tendencias usadas en el modelo anterior de intensidad, se ubicaron espacialmente de la siguiente forma:

- Para el aspecto de la frontera agrícola fueron ubicadas las áreas de expansión del período 88-04.
- Para el de sobreutilización, se ubicaron espacialmente las áreas que han mantenido la actividad agropecuaria desde el año 77 (fueron extraídas del ejercicio anterior de intensidad).
- En relación con la marginalidad, se ubicaron espacialmente aquellas zonas con mayor fragmentación en el año 2004.

Estos tres aspectos se unieron con un operador lógico booleano OR<sup>39</sup>, para obtener los posibles sitios de reforzamiento del círculo central del síndrome. Posteriormente dichos espacios se superpusieron a las veredas con ciertos grados de intensidad del síndrome, pudiéndose apreciar, dentro de ellas, una ubicación más localizada de esos sitios donde el síndrome presenta alguna actividad. Ver **Figura 30**.

#### 3.2.7.5 Validez de los indicadores de disposición e intensidad

Las mismas áreas obtenidas, se superpusieron a la alta disposición al síndrome, con el fin de verificar la validez de este modelo. En la **Figura 31** se presenta un diagrama de barras con los porcentajes de los sitios, localizados en los valores de predisposición al síndrome. Obsérvese que el porcentaje más alto de sitios (el 80% en total) se encuentra en valores de disposición al síndrome entre 0.5 y 1, lo cual indica que la gran mayoría de lugares con síndrome activo, coinciden con áreas de media a alta disposición natural y socioeconómica al síndrome de sobreutilización de suelos marginales.

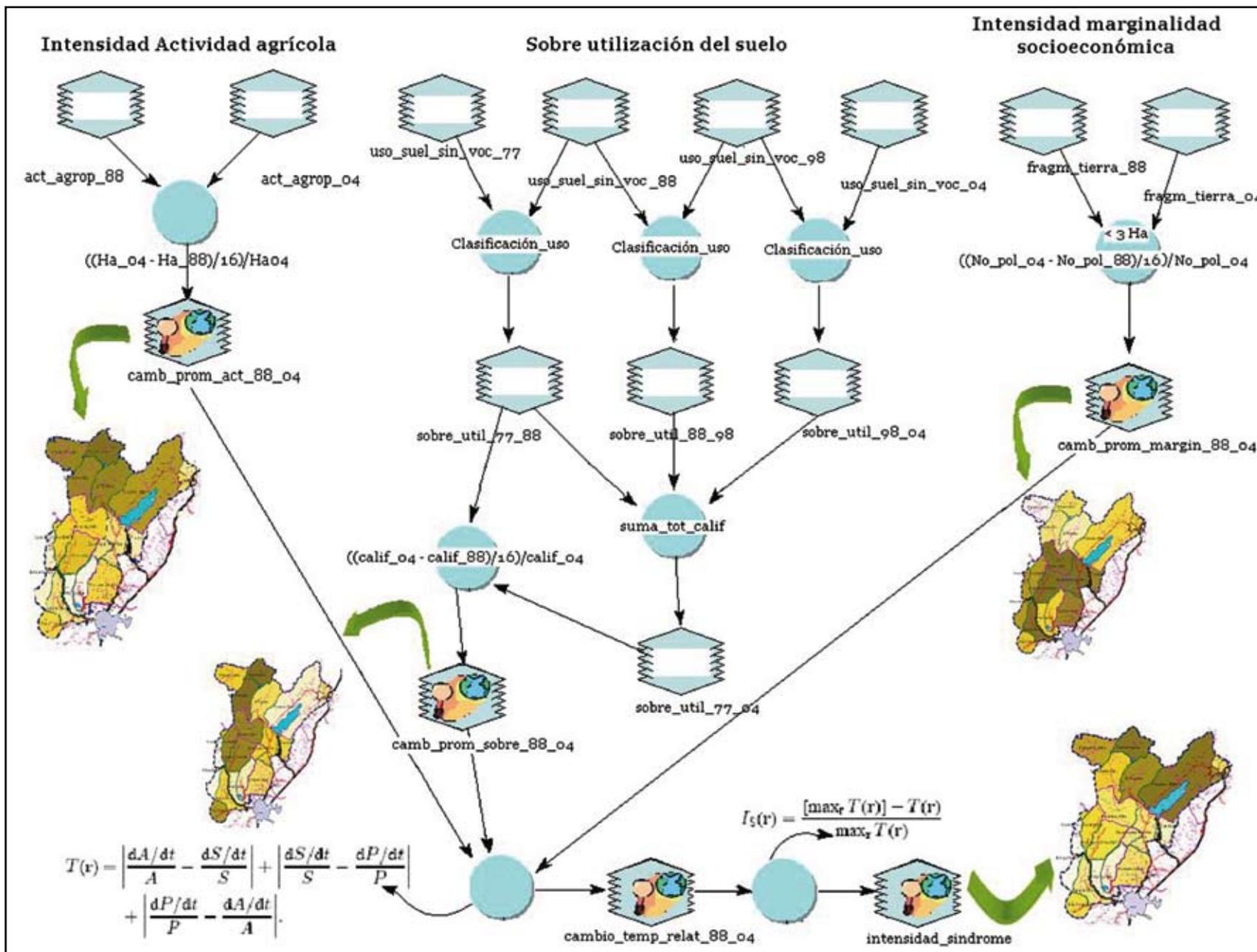
Esto da validez a los modelos desarrollados y muestra la coherencia entre uno y otro concepto manejado, para diagnosticar el síndrome.

Finalmente, estas zonas fueron verificadas frente a la ubicación geográfica de sitios de alta degradación, o de recuperación, reportados en el informe C.I. – CAR, 2001 y los visitados durante los trabajos de campo en el marco de esta investigación.

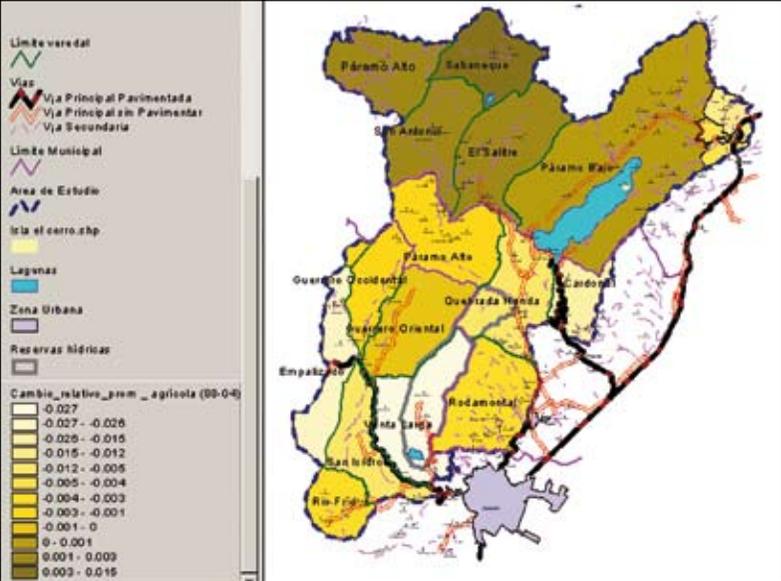
<sup>38</sup> Por ejemplo  $(dA/dt)/A$ . Cambio promedio (1988 a 2004) de superficie (en Ha.) de la actividad agropecuaria, por vereda, en el período de tiempo considerado.

<sup>39</sup> Funciona como una unión entre conjuntos. Deja incluidas las áreas de los tres aspectos ubicados espacialmente, no necesariamente coincidentes, asumiéndose el mayor riesgo en la decisión

**Figura 25.** Procedimiento en la obtención de ISA espaciales de intensidad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales



**Tabla 21.** ISA espaciales para medir la intensidad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales en el páramo de Guerrero

Información empleada y objetivo	Procedimientos específicos	Resultados y ubicación espacial de ISA
<b>CAMBIO PROMEDIO POR CADA ASPECTO (1988 y 2004)</b>		
<b>I. Intensidad/expansión de la actividad agropecuaria</b>		
<p>Ubicación espacial del uso del suelo (pastos y cultivos de papa) para las fechas 1988 y 2004.</p> <p>El objetivo fue calcular en cuántas hectáreas se aumentó la frontera de esas actividades por cada vereda</p>	<p>En la <b>Tabla 22</b> se aprecian los datos empleados. El cambio promedio se encuentra en la columna CAMB_PR_XAGR. Este fue estimado a partir de la variación de las áreas (en Ha) de la actividad agropecuaria de las columnas AREA_AGR_88 y AREA_AGR_04. Ver <b>Figura 25</b>. Los datos de cambio promedio de la actividad agrícola fueron ubicados espacialmente y se presentan en la <b>Figura 26</b><sup>1</sup>.</p>  <p>Expansión de la frontera agropecuaria en la vereda Páramo Alto, en zonas de pendientes escarpadas y en las mayores altitudes de páramo en la región</p>	<p><b>Figura 26.</b> Cambio promedio de la actividad agropecuaria para los años 88-2004</p>  <p>Nótese que para el período analizado se da una recuperación de la cobertura vegetal en varios sectores (signos negativos en el cambio). Ella fue acotada cuando se describieron las retroacciones positivas (numeral 3.2.5.6). Dicha recuperación podría estar relacionada principalmente con la declaración de las reservas forestales, con la cual se inició el proceso de adquisición de predios en partes estratégicas del páramo. Esto se aplica esencialmente a las veredas de Empalzado, Ventalarga y Quebrada Honda.</p> <p>Los valores de cambio más bajos y negativos, podrían responder sencillamente a la dinámica de la zona, que es muy alta y coincidir con sectores, por ejemplo, en descanso (acorde con el sistema de producción agrícola). También corresponden con veredas donde los remanentes de páramo se encuentran en pendientes muy abruptas o donde ya no existe páramo y bosque que pueda ser intervenido. A la fecha 2004, la zona ya ha sufrido una intensa dinámica de intervención, la cual se ha disminuido relativamente en los últimos años, respecto a lo que se observa en las décadas del 40 al 77.</p>

<sup>1</sup> En la leyenda de los mapas de cambio relativo promedio, el valor más alto está indicando un cambio relativo promedio mayor de la expansión de la frontera agrícola en esa vereda.

## II. Sobreutilización del suelo

Se superpuso la actividad agropecuaria de cada una de las cuatro fechas a los suelos más frágiles, con el fin de extraer exclusivamente las áreas sobreutilizadas o aquellas con actividad agropecuaria en suelos de baja vocación para ello. Como resultado se obtuvieron mapas binarios (con valores de uno donde existe sobreutilización y de cero donde no). Posteriormente, se procedió a combinar las fechas por pares, con el fin de calificar la sobreutilización en cada uno de los períodos: 77-88, 88-98, 98-04. La calificación de sobreutilización se efectuó de acuerdo con los valores de mapa de ambas fechas así:

Primera Fecha	Segunda fecha	Calificación
1	1	1
1	0	0.5
0	1	0.5

- Cuatro fechas diferentes (77, 88, 98, 04) de uso agropecuario; pero el cambio promedio de sobreutilización se halló para el período 88 y 04.
- Disposición al síndrome de sobreutilización (**Figura 24**)
- Suelo con condiciones insuficientes para la producción<sup>2</sup> y el más susceptible a la erosión, asumiendo que éste es el suelo más frágil de la zona

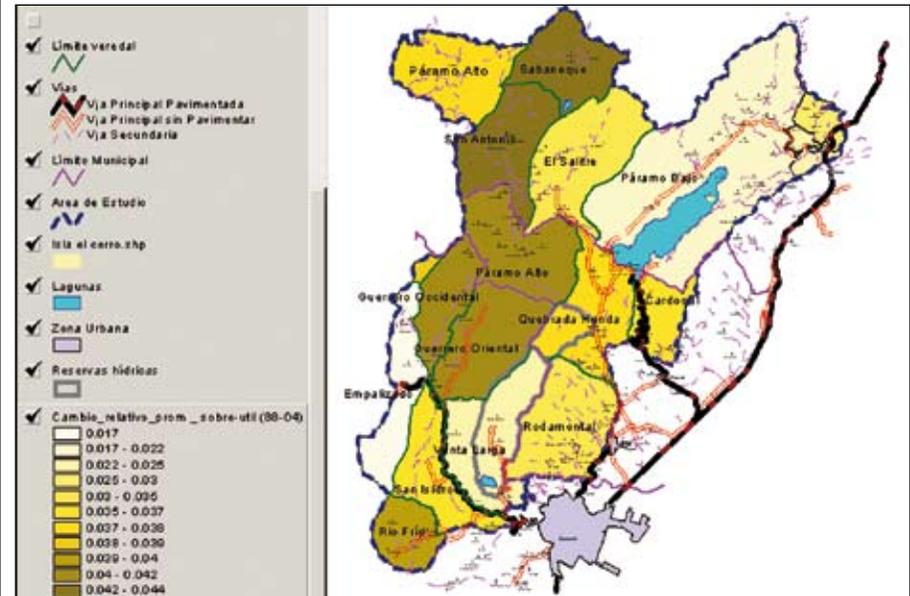
Donde la combinación de dos valores de uno, indica uso continuo del suelo, durante ese período analizado (de allí que la calificación sea la más alta). La de uno con cero, indica que ese suelo fue usado en la actividad agropecuaria, pero que después de la primera fecha entró en recuperación (de allí que su calificación sea menor). La de cero con uno, indica que el suelo empezó a utilizarse posterior a la primera fecha considerada<sup>3</sup>. Como métrica de la sobreutilización para el año 88, se empleó la calificación obtenida del período 77-88.

Como la vereda fue la unidad espacial seleccionada para la caracterización de la intensidad del síndrome, se realizó una estadística de la suma total de valores de sobreutilización por vereda. Este total fue comparado posteriormente con el total de la fecha 04.

Para el año 2004 se sumaron entre sí los mapas calificados del 77-88; 88-98 y 98-04, siguiendo los mismos pasos descritos en el párrafo anterior. Con estos dos resultados se calculó el cambio promedio de sobreutilización para el período 88-04. Ver procedimientos en **Figura 25**.

En la **Tabla 22** columna CAM\_PR\_SOBREU se presenta el cambio promedio de sobreutilización de suelos. En la **Figura 27** puede observarse esa variación para el área de estudio.

**Figura 27.** Cambio promedio de la sobreutilización del suelo, para el período 88-2004



En primer plano pueden notarse los efectos erosivos de la sobreutilización de los suelos por mecanización en pendientes altas. Vereda Páramo Alto

<sup>2</sup> Alta disposición edafológica a la degradación y condiciones bajas de mecanización

<sup>3</sup> La calificación de 0.5 presupone un cambio lineal progresivo de la sobreutilización o la recuperación, cuando la combinación es de 0 y 1 ó de 1 y 0 respectivamente. Es decir la mitad del estado de sobreutilización continua (combinación de 1 y 1).

### III. Intensidad de la marginalidad socioeconómica

Se emplearon pues las unidades de cultivos y pastos de las dos fechas, los cuales se codificaron independientemente (como polígonos o grupos contiguos de celdas con un mismo valor), con el fin de hallar el área por cada una de estas porciones de tierra.

Considerando que es en la pequeña propiedad donde se manifiesta la mayor marginalidad, fueron seleccionados los polígonos menores de tres Ha., para las dos fechas. La variación se determinó, con base en la diferencia del número de polígonos de una fecha a la otra (en POL\_FRAGMR88 y POL\_FRAGMR04 de la **Tabla 22**). El cambio promedio de la fragmentación de la tierra aparece en la columna CAMB\_PR\_FRAG.

En la **Figura 28** se presenta la ubicación espacial por vereda, de lo que se considera como el cambio promedio de la marginalidad socioeconómica, con base en el criterio de fragmentación de la tierra.

La ausencia de datos para el período de análisis seleccionado fue crítica, pero al final se optó por realizar inferencias a partir de la información extraída de las imágenes satelitales. Se conoce que uno de los fenómenos notorios que se ha dado allí es el de la fragmentación de la tierra, la cual conduce indefectiblemente a la marginalidad, y es a su vez, sintoma de ésta última.

El objetivo fue comparar de una fecha a otra, el número de unidades (parcelas) de cultivos y pastos menores de 3 ha. y medir su variación en el período entre 1988 y 2004.

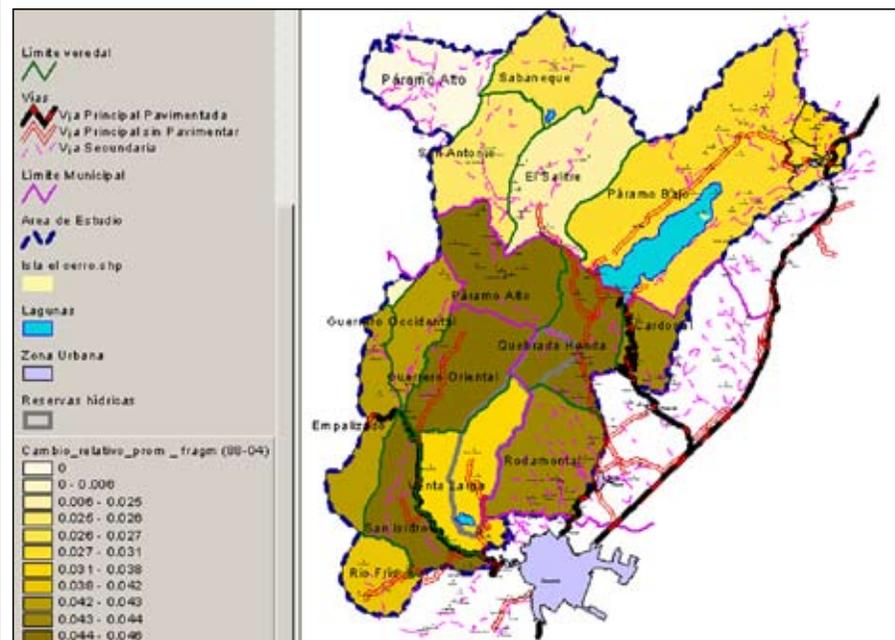


Al fondo puede observarse una alta fragmentación de la tierra en la vereda Páramo de Guerrero (occidente)



Fragmentación de la tierra en la vereda Quebrada Honda

**Figura 28.** Cambio promedio de la marginalidad socioeconómica en el período 88-2004



Las veredas con mayor acentuación de la fragmentación de la tierra son las que aparecen en tonos más oscuros.

**Cambio temporal relativo T(R) e intensidad - Is(R)**

El resultado de aplicar las ecuaciones por cada vereda puede apreciarse en las columnas TR e INTEN\_SINDR, de la **Tabla 22**.

La ubicación espacial de estos dos aspectos se presenta en la **Figura 29**. Obsérvese que las veredas con T(r) alto, presentan una intensidad baja del síndrome. Esto resultaría, aparentemente contradictorio para veredas como Empalzado (Sur-occidente del área), que ha sufrido una fuerte transformación desde varias décadas atrás; sin embargo la recuperación de la vegetación allí es bien evidente (de la interpretación de imágenes satelitales).

De acuerdo con el modelo matemático planteado, los fuertes cambios relativos entre los síntomas del mecanismo central del síndrome en esa vereda, estarían dando a T(r) un valor cada vez más alejado de cero, que insinuarían la poca constancia en el tiempo del reforzamiento de los tres síntomas analizados y por ende, de una intensidad más baja del síndrome. Considerando la retroacción positiva que se ha estado dando en algunas veredas por la recuperación de vegetación esto llega a corroborarse.

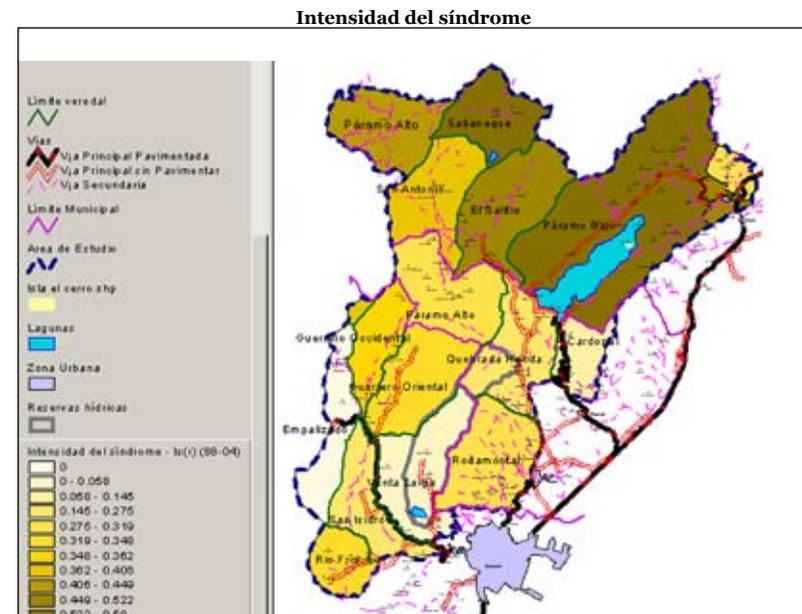
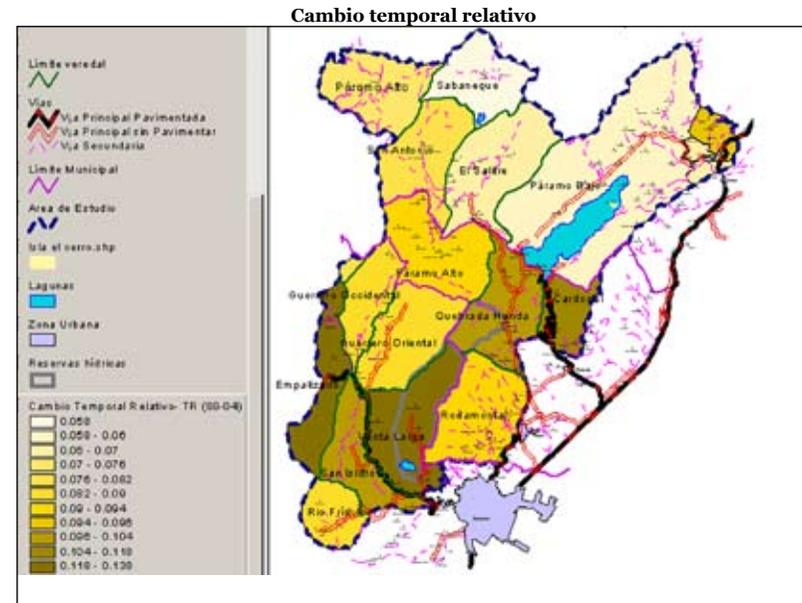
Los valores de intensidad obtenidos muestran que en cinco de 15 veredas el síndrome alcanza una intensidad media-alta. En las otras la intensidad del síndrome es baja. El máximo valor es para Sabaneque con 0.58. En El Empalzado la intensidad del síndrome es cero, debido a la recuperación de la cobertura vegetal, que actúa como retroacción positiva para la intensidad del síndrome. En el resto de veredas la intensidad del síndrome es baja.

- Para la estimación del cambio temporal relativo se emplearon los cambios promedios de cada aspecto, que fueron reemplazados en la **Ecuación II**
- Para la estimación de la intensidad relativa del síndrome, se empleó la **Ecuación I**



Actividad del síndrome en Páramo de Guerrero oriental

**Figura 29.** Resultados del cambio temporal relativo e intensidad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales por veredas



**Tabla 22.** Cálculo de cambios promedio, cambio temporal relativo total - Tr e intensidad por vereda para el mecanismo central del síndrome de sobreutilización de suelos marginales en el período 1988-2004

NOMBRE_VER	POL_FRAGMR88	POL_FRAGMo4	CAMB_PR_FRAG	AREA_AGR_o4 (Ha)	AREA_AGR_88 (Ha)	CAMB_PR_XAGR	SOBREU_88	SOBREU_o4	CAM_PR_SOBREU	TR	INTEN_SINDR
Sabaneque	549	973	0.027	578.03	437.24	0.015	1309	4426.5	0.044	0.058	0.58
Páramo Bajo	2335	4635	0.031	2989.23	2952.41	0.001	1458	2230	0.022	0.060	0.57
Páramo Alto (Tausa)	33	33	0.000	3.83	3.69	0.002	23	58	0.038	0.076	0.45
San Antonio	829	1408	0.026	1226.86	1173.99	0.003	248	861	0.044	0.082	0.41
El Salitre	1277	2117	0.025	1250.98	1211.72	0.002	733	1685	0.035	0.066	0.52
Páramo Alto (Cogúa)	795	3083	0.046	1687.29	1703.05	-0.001	496	1496	0.042	0.094	0.32
Quebrada Honda	609	2135	0.045	1415.44	1523.22	-0.005	4856	12428	0.038	0.100	0.28
Guerrero Occidental	356	1169	0.043	1013.36	1037.22	-0.001	1829	5696	0.042	0.088	0.36
Cardonal	362	1227	0.044	511.32	635.29	-0.015	2678	6575.5	0.037	0.118	0.14
Guerrero Oriental	515	1812	0.045	1065.93	1059.88	0.000	2177	6547.5	0.042	0.090	0.35
El Empalizado	362	1180	0.043	455.14	642.37	-0.026	1858	2554.5	0.017	0.138	0.00
Venta Larga	613	1555	0.038	772.73	1111.78	-0.027	1782	2991.5	0.025	0.130	0.06
Rodamontal	499	1675	0.044	1645.16	1722.06	-0.003	2290	5269.5	0.035	0.094	0.32
San Isidro	377	1431	0.046	1207.73	1328.55	-0.006	4331	10734	0.037	0.104	0.25
Río Frío	240	730	0.042	785.37	828.01	-0.003	1267	3463.5	0.040	0.090	0.35

Los sitios con alguna actividad del síndrome o sin actividad, que fueron ubicados espacialmente y los cuales pudieron ser confirmados son:

- Zonas de amenaza por hundimiento y deslizamientos, en Sabaneque (Tausa), disparados por acciones antrópicas, principalmente.
- Zonas con disminución de caudales especialmente en épocas de verano, en las veredas de venta Larga y páramo de Guerrero occidental (Cogua), por intervención de nacimientos de agua.
- Sitios de eriales en Sabaneque y El Salitre (Tausa).
- Hundimientos y movimientos de remoción en masa, en taludes inestables a lo largo de las carreteras de Ventalarga, Guerrero occidental y oriental.
- Disminución y deterioro de humedales en inmediaciones de Laguna Seca
- Siembra de pinos y especies inadecuadas que deterioran el suelo: en inmediaciones del Neusa y de la laguna Pantano Redondo

- Zona de laguna seca (Sabaneque - Tausa), con un alto grado de intervención que se observa en sus alrededores (cultivos, pastoreo, ganadería).
- Regeneración natural del bosque Alto Andino para el caso de las Áreas de Reservas Forestales localizadas en las veredas de Venta Larga y Quebrada Honda.

La ubicación espacial de sitios con síndrome activo que se presenta en el marco de la presente investigación, resulta ser objetivo fundamental para el enfoque de medidas de manejo y acciones en relación con la sostenibilidad ambiental de la zona. De allí la importancia de realizar más recorridos de campo para la verificación y reconocimiento de su problemática.

### 3.2.7.6 *Análisis multitemporal de los procesos de transformación de coberturas vegetales – ISA espaciales de dinámica*

Este análisis inicia con la orto-rectificación y geo-referenciación del material fotográfico e imágenes satelitales de las fechas y especificaciones que se muestran en el **anexo 2**. Las fotografías organizadas en mosaicos permitieron

tener la sinopsis del área. Estas no abarcaron todo el límite adoptado para la zona de estudio, pues no hubo cubrimiento total en las fechas más anteriores; de allí que haya sido necesario adoptar un límite diferente para las décadas 40, 50, 60; sin embargo el área que alcanzó a interpretarse es representativa de los cambios ocurridos en estas fechas y permite realizar valiosas observaciones.

De otro lado, las imágenes satelitales tienen ausencia de información en aquellos sitios con nubosidad, de allí los espacios que pueden notarse en algunos sectores.

El objetivo central fue identificar los usos y coberturas vegetales de cada fecha, con el fin de analizar la transformación. Dicha transformación fue evaluada en forma de ISA espaciales, los cuales facilitaron las comparaciones y entendimiento de la dinámica de la frontera agropecuaria en páramo de Guerrero para el período abarcado.

Los ISA desarrollados ubican en el espacio la transformación ocasionada por las interacciones del sistema sociedad-naturaleza y, al mismo tiempo, valoraron su dinámica (intensidad de la transformación, velocidad y extensión). Para su generación fue necesario aplicar a las imágenes satelitales y fotográficas diversas técnicas de procesamiento digital, las cuales se describen, en forma general en el **anexo 1**. En esta instancia se describen los resultados obtenidos y se analizan los aspectos más relevantes de la dinámica de la zona.

#### *Transformación de la cobertura vegetal y dinámica del uso*

La ubicación espacial de la cobertura vegetal en cada fecha y el uso del suelo, se efectuó a través de técnicas de clasificación, que consisten en la evaluación de muestras de las coberturas presentes en la imagen satelital, con el fin de asignar los diferentes valores de esa imagen a determinada clase, de acuerdo con su concordancia.

Este aspecto se plasmó en el **mapa 1** (en CD), donde puede ser apreciada la transformación en los diversos períodos estudiados. Es importante aclarar que como las fotografías son monocromáticas, no proporcionan mayores opciones para la separación de coberturas vegetales, de allí que toda la cobertura diferente a pastos y cultivos (por ejemplo rastrojos y matorrales), aparecen conjuntamente con la de bosques. Los pastos y cultivos fueron agrupados, pues las escalas de las fotografías aéreas presentan un alto detalle en comparación con el de las imágenes satelitales. De allí que estos dos últimos para la interpretación de los mosaicos fotográficos, sean fusionados en una unidad llamada intervención.

En las imágenes satelitales pudieron realizarse más diferenciaciones, pero por la presencia de sombras y el efecto de la topografía, algunas coberturas de rastrojos, podrían aparecer clasificadas como bosques. Los pastos y cultivos fueron clasificados sin dificultades; pero los páramos presentaron confusión espectral<sup>40</sup> con algunos suelos descubiertos y cultivos en suelos de páramo, que fueron asignados por los algoritmos de clasificación a la misma categoría.

La mayor dificultad del trabajo consistió en diferenciar en forma exacta las zonas de páramo, las cuales al final se detallaron manualmente, entendiendo lo delicado que hubiese sido dejar la clasificación al computador.

Se aclara también que para la fecha del 40 interpretada, la represa del Neusa aún no había sido construida, pero que por razones cartográficas de las salidas de mapa (todos usan la misma plantilla base), ella aparece allí en esa década. Igual sucede con el área de reserva hídrica, la cual fue declarada solo en el año 1992.

De las imágenes interpretadas puede observarse que las décadas con una mayor transformación de la cobertura vegetal fueron las dos primeras (40 y 50)<sup>41</sup>. Hacia los 40 y 50 la intervención mayor la sufrió el bosque Alto Andino. En la subzona analizada del 40 al 50, la mitad de los bosques fueron arrasados. Para estas fechas la dinámica en el páramo fue menor, pero ésta se acentuó entre los 60 y el 77. Esto se puede observar en la parte Norte del área en la vereda de Sabaneque y en la centro-sur (veredas Venta Larga, Guerrero oriental y páramo Alto – Cogüa). Nótese que los parches de intervención del páramo son más significativos en la interpretación del 77, que en la del 40 y 50.

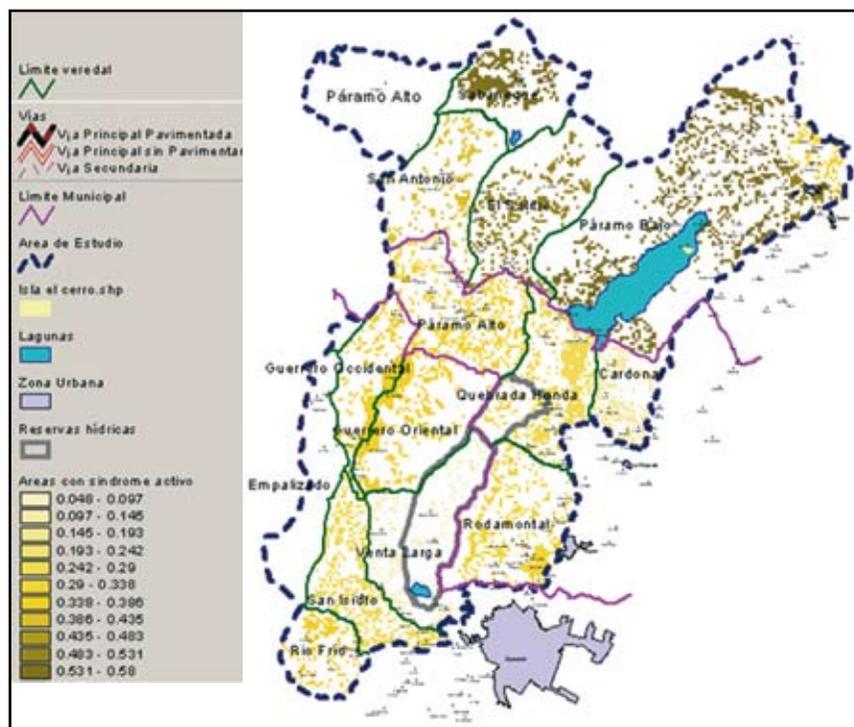
Del 77 al 88 la transformación del páramo se desacelera un poco, pero sigue dándose en forma progresiva. Los porcentajes disminuyeron de 23% en el 77, 19% en el 88 y 16.6% en el 98 a 14.6% en el 2004. Contrario a la disminución progresiva de la cobertura de páramo, la zona estudiada presenta una recuperación notoria; muchos de esos espacios no han alcanzado una sucesión a bosques, sino que son matorrales, rastrojos bajos y altos, correspondientes, frecuentemente a sectores en descanso (con barbecho) acorde con el sistema de producción presente en la zona. Del año 77 al 2004, esta recuperación ha sido del 13% al 21%.

<sup>40</sup> Las coberturas tienen una respuesta denominada espectral, la cual es medida por el sensor y consiste en la cantidad de energía electromagnética reflejada por ellas, en diversos rangos del espectro. Esto es lo que permite diferenciarlas en la imagen.

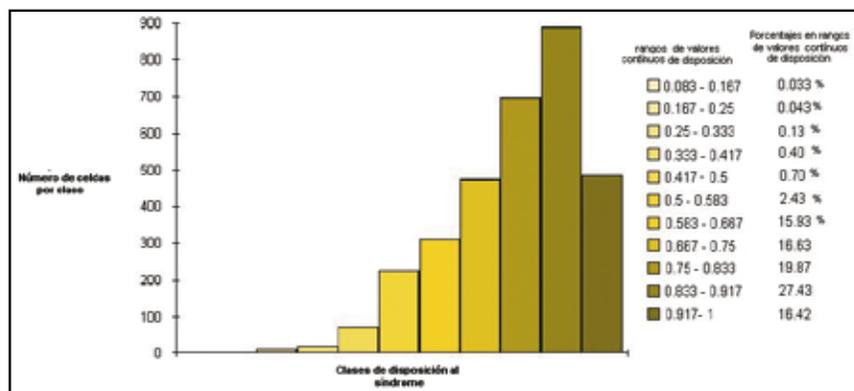
<sup>41</sup> Los porcentajes de transformación pueden ser observados en el mapa 1 (en CD).



**Figura 30.** Localización de sitios con síndrome activo dentro de la zona de estudio

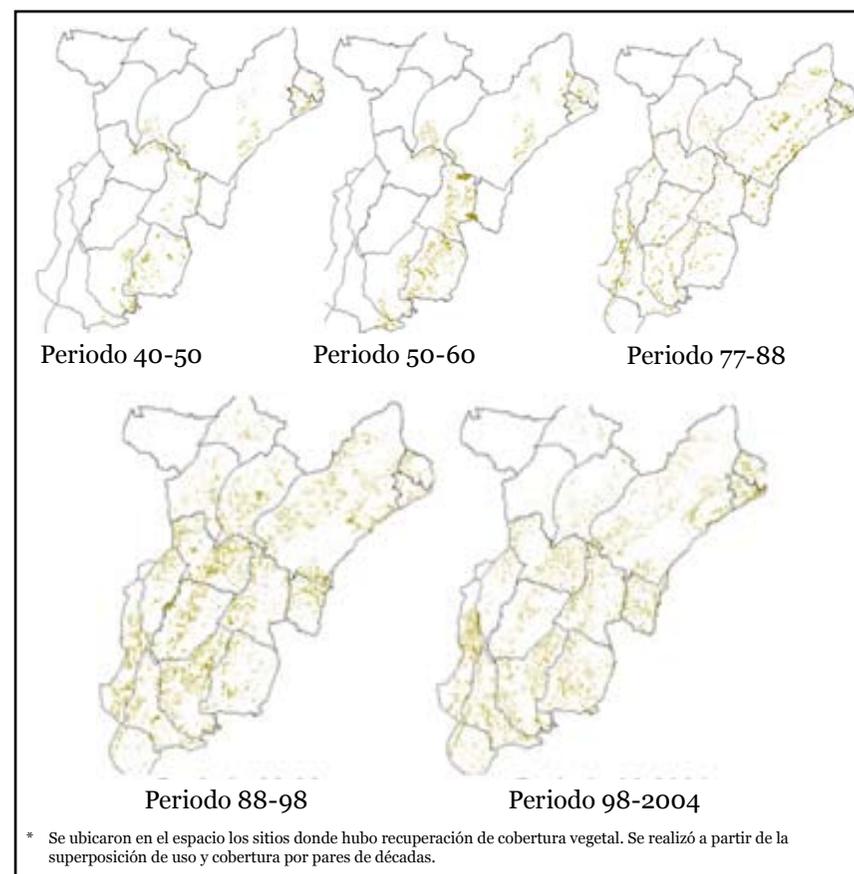


**Figura 31.** Porcentajes de sitios con síndrome activo en valores de disposición al síndrome



Para las fechas del 88 al 2004, unas de las áreas donde ese fenómeno puede ser apreciado es en la vereda Venta Larga, en el sitio de la Reserva Forestal Protectora en la Cuenca de la Laguna de Pantano Redondo y el nacimiento del Río Susaguá (Zipaquirá). También se observa recuperación en la vereda Empalizado (al sur-occidente de la zona). Los bosques plantados en el área estudiada, hacen parte de esa categoría, por ejemplo en el caso de los bordes del Neusa y algunos sectores en las inmediaciones de Pantano Redondo. En la **Figura 32** puede observarse la dinámica de recuperación en los periodos 40-50, 50-60, 77-88, 98-04, respectivamente<sup>42</sup>.

**Figura 32.** Dinámica de procesos de recuperación de la cobertura vegetal (décadas del 40 al 2004)\*



<sup>42</sup> Téngase en cuenta que el límite del área analizada para los años 40 a 60, es menor que el límite general del área de estudio.

## Procesos de transformación y consolidación

Los indicadores espaciales de transformación y consolidación pueden apreciarse en el **mapa 2**. Para definir esos procesos fueron superpuestas dos fechas de acuerdo con los períodos 40-50, 50-60, 77-88, 88-98 y 98-04. Esa superposición arrojó como resultado un mapa de valores nuevos y una matriz de combinación, donde cada uno de esos valores permite la asignación a un proceso de transformación o consolidación. Por ejemplo, cuando se superponen bosque y pastos, el valor resultante se asignaría a avance de la intervención en bosques.

En la **Tabla 23** se presentan los procesos de transformación y consolidación considerados en el presente análisis. Los productos con los procesos para cada período evaluado son presentados en el **mapa 2** (en CD).

**Tabla 23.** Procesos de transformación y consolidación

		Segunda fecha				
		Páramo	Bosques	Rastrojo	Pastizales	Cultivos
Primera fecha	Páramo	Páramo sin transformación	Paramización	Avance en páramo	Avance en páramo	Avance en páramo
	Bosques	No lógico	Bosque sin transformación	Avance en Bosque	Avance en Bosque	Avance en Bosque
	Rastrojo	No lógico	Recuperación	Recuperación	Intervención consolidada	Intervención consolidada
	Pastizales	No lógico	Avance en Bosque	Recuperación	Intervención consolidada	Intervención consolidada
	Cultivos	No lógico	Avance en Bosque	Recuperación	Intervención consolidada	Intervención consolidada

La intervención consolidada, hace alusión a un proceso de intervención anterior, que prevalece a la siguiente fecha; sin embargo, como se observa en la tabla, en ese espacio pudo ocurrir también una dinámica (por ejemplo pastos a cultivos o viceversa), lo cual es propio de páramo de Guerrero, por la rotación de cultivos y descanso periódico del suelo.

Los valores “no lógico”, no deberían presentarse una vez comparadas las dos fechas, pero hay que aceptar que la clasificación de imágenes no es un proceso de exactitud del 100%, por lo cual, estas combinaciones fueron encontradas y fue necesario retomar esos sitios para reinterpretarlos. Este es el valor agregado de este procedimiento, que además permite abordar inexactitudes y corregirlas.

Este tipo de análisis es fundamental pues proporciona información valiosa para ubicar espacialmente y temporalmente los procesos de transformación

de la interacción sociedad-naturaleza; así por ejemplo, en páramo de Guerrero, puede notarse que el período de mayor intervención del bosque se da entre aproximadamente los años 40 y 50; pero el de mayor intervención del páramo se da entre los años 77 y 88.

Así mismo, facilita el estudio de la dinámica vegetal y del uso en lugares específicos, permitiendo observar, en el tiempo, las tendencias no sostenibles, que han acarreado la degradación ambiental y la intercalación de aquellas con desarrollos favorables, que conducen a estados mejorados del ambiente, positivos para la sociedad y para la naturaleza. Estos últimos pudieron ser apreciados en las zonas que han sido declaradas reservas forestales protectoras. Con este tipo de ISA se garantiza un seguimiento temporal del síndrome y una comprensión mayor de su dinámica, patrones e interrelaciones causa-efecto.

En la **Figura 33** se presenta, en blanco y negro, el proceso de intervención de páramos y bosques para los períodos 40-50, 50-60, 77-88, 88-98 y 98-04, respectivamente.

### Caracterización de los procesos de transformación y consolidación

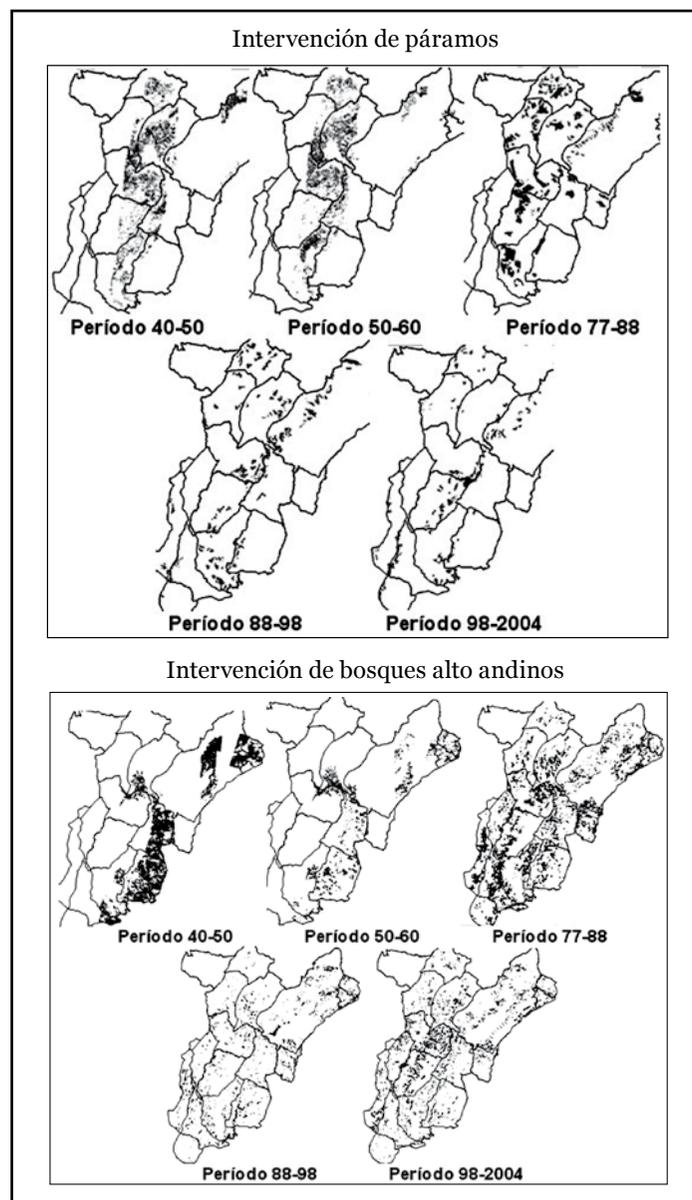
La intensidad de la transformación y de la consolidación y su ubicación espacial son fundamentales para entender que la dinámica de intervención a los ecosistemas de alta montaña es compleja y que se da en diversos matices, dependiendo también de los condicionantes socioeconómicos y naturales del ambiente en determinados lugares. Acá la cualidad abordada pretende mostrar el grado de “agresión” de la intervención sobre la unidad de cobertura vegetal analizada, o el grado de conservación de esa unidad después de haber sido impactada en algún sitio.

Este resultado serviría además de fuente a otras investigaciones, por ejemplo, donde el objetivo fuera establecer las causas y efectos de la transformación con alta intensidad, en sitios de páramo o bosque, con el fin de direccionar las medidas de acción para encontrar caminos sostenibles a esos patrones sistémicos peligrosos de las interacciones sociedad-naturaleza.

### Intensidad de los procesos de transformación y consolidación

El procedimiento que se siguió para obtener las salidas (**mapa 3** en CD) usó la dinámica de cambio de la cobertura vegetal y el uso del suelo entre dos fechas dadas. Las clasificaciones de las fotografías aéreas y las imágenes satelitales de los períodos ya descritos fueron las fuentes para el proceso. Para cada fecha anterior se definieron grupos contiguos de celdas que presentaban

**Figura 33.** Dinámica de intervención de páramos y bosques en el páramo de Guerrero (décadas del 40 al 2004)\*



\* Fueron ubicados en el espacio los sitios donde hubo intervención de páramo o bosque alto Andino. Se realizó a partir de la superposición de uso y cobertura por pares de décadas.

un mismo valor de cobertura<sup>43</sup> y cada uno de ellos se definió como unidad de interés para la cual se realizó el estudio de intensidad del proceso de transformación (definido por la segunda fecha).

Las dos fechas de un período fueron usadas para obtener una salida gráfica y una matriz de combinación de valores de coberturas. Sobre la matriz fueron realizadas operaciones para calcular el área y el porcentaje que de la unidad (primera fecha) representaban cada uno de los usos de la fecha posterior que la intervinieron.

Entonces la generación de ISA se basó en la medición de porcentajes de superficies, que permitieron dar una cualidad (alta, media, baja) a la transformación. Esa cualidad se definió como *intensidad*. Gráficamente esto fue presentado como la intensidad de los procesos de transformación, consolidación o conservación<sup>44</sup>. Así, un páramo o bosque sin transformación, es un remanente de alguna de estas coberturas, pero que sufrió en sus bordes alguna intervención, después de la cual, se conservó dicha unidad, en un porcentaje alto (>66%), medio (33-66%) o bajo (<33%).

El avance de la intervención en páramo o bosque, muestra que las unidades de esas coberturas vegetales pudieron estar sometidas a una intervención alta, si más del 66% de la superficie de esa unidad fue transformada, media si del 33 al 66% de su superficie fue transformada y baja si menos del 33% fue transformada.

En el caso de la consolidación, esas son unidades ya intervenidas, que permanecen así en la siguiente fecha, pero que alguna superficie de ellas puede sufrir dinámica también, por ejemplo, recuperación. Esta última también caracteriza a algunas unidades, que en la primera fecha eran intervención y en la segunda presentan algún tipo de cobertura vegetal. Del mapa puede también observarse que allá donde se tiene un porcentaje de conservación alto (>66%), se esperarí encontrar un avance bajo de la intervención (<33%).

La intensidad es relativa, dependiendo del período de tiempo en el que se esté midiendo. Esa intensidad puede ser alta para dos períodos consecutivos, pero si se analiza en un período de tiempo más largo, se van a encontrar grados de intensidad más bajos. Esto es necesario tenerlo presente, por ejemplo, al analizar las mediciones del período total 77-04, en relación con los otros períodos.

<sup>43</sup> Similar a separación de polígonos, donde cada uno de ellos constituye la unidad de análisis de la fecha más anterior (la estructura de datos usada aquí es raster, entonces se hablaría de celdas contiguas con los mismos valores). Cada una de dichas unidades puede ser transformada en su totalidad, tener una superficie remanente o permanecer sin cambio.

<sup>44</sup> Esta hace alusión a la superficie de los remanentes de las unidades que permanecieron después de la transformación ocurrida en un período de tiempo dado.

Los indicadores de intensidad de transformación y consolidación pueden observarse en las tablas, las cuales acompañan al mapa de cada período (ver **mapa 3** – en CD). En la **Tabla 24** se presentan los resultados para el período completo abarcado por la investigación (77-04) y con ella se explican los indicadores generados, en forma de porcentajes y superficies de los procesos.

**Tabla 24.** Estadísticas de la intensidad de los procesos de transformación y consolidación. Período 77 al 2004

Código	Proceso de transformación o consolidación	Área (Ha) <sup>1</sup>	Área (Ha) del proceso año 04	Porcentaje 77-2004 <sup>2</sup>	Porcentaje con respecto al total <sup>3</sup>
1	Bosque después de la transformación	6974.42	3760.74	53.92%	12.66%
2	Páramo después de la transformación	14302.44	4938.81	34.53%	16.63%
3	Intervención consolidada	14080.77	11816.96	83.92%	39.79%
4	Avance del páramo en área de bosque(*)	7269.36	72.68	1.00%	0.24%
5	Recuperación(*)	14310.61	2326.84	16.26%	7.83%
6	Avance en páramo con transformación baja	14781.27	2610.73	17.66%	8.79%
7	Avance en páramo con transformación media	616.38	311.55	50.55%	1.05%
8	Avance en páramo con transformación alta	497.16	424.51	85.39%	1.43%
	<b>Avance en páramo total</b>		<b>3346.79</b>		<b>11.3%</b>
9	Avance en bosque con transformación baja	2874.33	587.57	20.44%	1.98%
10	Avance en bosque con transformación media	1756.35	782.73	44.57%	2.64%
11	Avance en bosque con transformación alta	2578.81	2065.64	80.10%	6.96%
	<b>Avance en bosque total</b>		<b>3435.94</b>		<b>11.6%</b>
	<b>TOTAL</b>		<b>29698.76</b>		<b>100.0%</b>

<sup>1</sup> Área de la unidad del 77 bajo proceso de transformación o consolidación

<sup>2</sup> Porcentaje de la unidad del 77 transformada o consolidada por el proceso en el 04

<sup>3</sup> Porcentaje de transformación o consolidación con respecto al área de estudio total

(\*) Para estos procesos, en la columna "Área (Ha) del proceso año 04" se tuvo en cuenta el área que en total tenían en el año 77 las respectivas coberturas (bosque e intervención). Para el resto de procesos solo se tuvo en cuenta el área que en el año 77 tenían las zonas que fueron sometidas al mismo.

La intensidad de los procesos de transformación o consolidación analizados abarca las siguientes unidades:

- Las unidades de bosques y páramos remanentes, después de la transformación en el período de tiempo analizado. En las tablas de datos aparece la información de remanentes agrupada, pero en el mapa aparecen discriminadas como de baja, media y alta conservación.
- Los procesos de paramización (invasión del páramo en bosques)
- Recuperación de vegetación, consistente en áreas que recuperan cobertura vegetal. Aunque para algunos sectores podría tratarse de sucesión, esto no se puede establecer con el alcance de este análisis
- Avance en páramo. Para este avance es establecida una intensidad de transformación que puede ser alta, media o baja. Estas categorías están determinadas por el porcentaje de área de la unidad impactada que es arrasado durante el período de tiempo analizado.
- Avance en bosque. Es igual pero para cobertura boscosa

En la primera columna numérica se ubica el área (en Ha) de la unidad de la primera fecha que fue sometida a algún proceso de intervención (se excluyen las unidades que no fueron transformadas). La excepción la constituyen el avance de páramo en áreas de bosque y la recuperación en áreas de intervención, para las cuales se da el área *total* de bosque y el total de intervención de la primera fecha, con el objeto de mostrar posteriormente cuánta de esa área fue transformada por el proceso (de paramización o recuperación).

En la siguiente columna se almacena el área del respectivo proceso a la segunda fecha. De esta forma se tiene la información de áreas en Ha. de lo que había (primera columna), frente al área del proceso de transformación ocurrido (segunda columna). En la tercera columna se almacena el porcentaje de la unidad de la primera fecha que fue transformada o quedó consolidada (para el caso de intervención), o quedó remanente (si era páramo o bosque). La última columna guarda el porcentaje del proceso de transformación, de la consolidación o remanente, respecto al área de estudio total.

De esas mediciones, para el caso de remanentes de bosque, (código 1 en la tabla) o bosques después de la transformación, podríamos comprender que en el año 77 el área estudiada tenía 6974.42 Ha. de unidades de bosques, que sufrieron alguna transformación durante el período 77-2004. Después de esa transformación el área remanente fue de 3760.74 Ha. El porcentaje de las unidades de bosque que había en el 77, que quedó remanente fue de 53.92% y éste último con respecto al área total ocupa un porcentaje de 12.66%. Este mismo análisis se puede efectuar para el páramo después de la transformación o remanente de páramo.

En el caso de la intervención consolidada, se tiene que para el año 77 el área de ésta que no tuvo ninguna dinámica de recuperación (o si la tuvo fue solo en una parte de la unidad transformada) era de 14080.77 Ha.; pero al año 2004 esa área fue de 11816.96 Ha. Esto significa que un 83.92%, del área de intervención del 77, se consolidó en el 2004 y este porcentaje representa el 39.79% del área total estudiada.

Sobre la paramización podría decirse que en el 77, había un total de bosques (diferente al área de arriba que era solo de unidades que fueron transformadas) de 7269.36 Ha., de las cuales sufrieron paramización 72.68 Ha. Es decir, el 1% de dicha área de bosques y el 0.24% del área total estudiada.

La recuperación de vegetación en páramo de Guerrero, se dio para un área total intervenida en el 77 de 14310.61 Ha; el proceso en el 2004 alcanzó un área de 2326.84 Ha. que equivalen al 16.26% del total intervenido y al 7.83% del área total estudiada.

### *Distribución espacial de la intensidad de los procesos*

Para el período 40-50 se observa que el avance en bosque Alto Andino en el oriente y norte del área estudiada, se llevó a cabo con una intensidad alta, que significa que más del 66% de las unidades transformadas fue arrasado; mientras que para el páramo la intensidad fue predominantemente baja (menos del 33% de las unidades impactadas fue arrasado). De las unidades de bosques conservadas, la mayoría presenta una conservación baja (de menos del 33% del área anterior que tenía dicha unidad). Los páramos sí presentaron a esa fecha una conservación alta (se conservó la unidad transformada en más del 66% en el período de tiempo analizado).

En el siguiente período (50-60), los bosques siguen siendo intervenidos, pero con una intensidad media; en el páramo el avance fue en su mayoría de intensidad baja. Acá se reporta más avance en el páramo que en el bosque, para el área estudiada en esas fechas. La conservación de los páramos remanentes sigue siendo alta; mientras que la de los bosques es media a alta.

Para el período 77-88, sigue habiendo intervención de bosques, pero esta vez presenta una alta intensidad en el sector occidental del área considerada y media a baja en las mismas zonas que habían venido siendo intervenidas. El páramo presenta más intervención que en otras fechas (1968.59 Ha)<sup>45</sup>, pero de intensidad baja, en su mayoría; sin embargo hacia el centro del área son

<sup>45</sup> El área de estudio acá estudiada es diferente a las otras fechas; sin embargo visualmente sí puede observarse una mayor intervención de páramo en este período de tiempo. El porcentaje de transformación es de 6.6%, pero téngase en cuenta el área total mayor para este período.

notorias intervenciones de intensidad alta. La conservación de unidades de páramo y bosque remanente, sigue siendo en su mayoría alta. El período 88-98 y 98-04 presenta un avance menor en bosques y páramos. Para ambas coberturas la intensidad de transformación fue baja.

En resumen, para el período de tiempo general analizado (40-04) se puede observar que la mayor intervención de bosque Alto Andino en la zona de Guerrero, se llevó a cabo entre los años 40 – 60. La suma de los porcentajes de intervención de ese período es de 24.9%<sup>46</sup>. La intensidad del avance fue media a alta (en la mayoría de casos, más del 66% de las unidades impactadas fue arrasado). En este mismo lapso de tiempo se arrasó más páramo que entre el 77 y 2004. Los porcentajes alcanzaron 14.3% y la intensidad de intervención fue baja (menos del 33% de las unidades intervenidas fue arrasado). Del 77 al 2004, el porcentaje de bosque devastado fue de 11.6%, con un avance de alta intensidad y el de páramo fue de 11.3% (3346.79 Ha), con intensidad baja de intervención.

La conservación de los remanentes cobertura vegetal (tomando como referencia las superficies de esas unidades de cobertura vegetal del año 77)<sup>47</sup>, es media a alta para los páramos (las unidades que han sido intervenidas se conservan en su mayoría en un 66%) y media a alta para los bosques; sin embargo los bosques de conservación alta son los plantados. Los bosques naturales o semi-naturales, presentan una conservación media (del 33% al 66% de la unidad intervenida se conserva).

### *Velocidad de los procesos de transformación*

Otro tipo de ISA espacial generado dentro de la dinámica de la interrelación sociedad-naturaleza fue el de velocidad de los procesos de transformación. Esta velocidad se estimó tomando la superficie de la unidad transformada (de páramo o bosque Alto Andino) en los períodos estipulados para el análisis (ver **mapa 4** en CD) y dividiéndola por el número de años en los que se dio esa transformación.

En los mapas se destacan los sitios que tuvieron una más alta velocidad de transformación y su ubicación espacial. Estos indicadores permiten ver los períodos en los que la intervención se aceleró o encontró “recesos”. El análisis más completo debería encontrar las razones para estos eventos y los aspectos de causalidad y efecto involucrados. Las unidades de transformación de este indicador coinciden con las de la intensidad en algunos casos, pero lo que se mide en uno y otro caso son aspectos diferentes.

<sup>46</sup> Obsérvese que es un porcentaje alto, considerando que el límite del área estudiada para las fechas 40-60 es menor que el del 77-04.

<sup>47</sup> La superficie inicial de las unidades no las conocemos, pues vienen interviniéndose desde varios siglos atrás.

# 4

## Interpretación de ISA Espaciales y Cotejo con Indicadores de Primera y Segunda Generación

Este capítulo pretende presentar en forma explícita los diversos ISA espaciales o de tercera generación generados a lo largo de la investigación, con el fin de exaltar sus bondades y ventajas comparativas en relación con los indicadores basados en enfoques conmensuralistas. Para ello será necesario desarrollar los antecedentes relacionados con la construcción de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental - IDSA destacando sus ventajas y limitaciones. Con base en ello, será argumentada la necesidad del acercamiento sistémico para la generación de ISA espaciales y se dará la interpretación de algunos de ellos, obtenidos a través de los métodos y técnicas desarrollados y aplicados en páramo de Guerrero.

### 4.1 Antecedentes sobre indicadores de sostenibilidad ambiental - IDSA

En este acápite se abordan los antecedentes y el estado actual de los progresos de indicadores de desarrollo sostenible - IDS, los cuales contienen, frecuentemente, a los de sostenibilidad ambiental.

Uno de los pioneros en el desarrollo de indicadores de sostenibilidad fue SCOPE<sup>48</sup>, cuyo trabajo se continuó posteriormente por los gobiernos y las agencias internacionales y del sistema ONU (Quiroga, 2001).

En 1992 con la conferencia de las Naciones Unidas sobre ambiente y desarrollo celebrada en Río, se resolvió que el desarrollo de un conjunto de indicadores

era crítico para poder medir y evaluar el progreso del desarrollo sostenible hacia el logro de los objetivos establecidos (Ibíd. p. 16).

En 1997 se llevó a cabo la publicación de “Sustainability Indicators. Report of the project on IDS de SCOPE” y se colocaron en su sitio Web los resultados del Programa de Trabajo de la comisión de desarrollo sostenible - CDS en IDS, que contienen la lista seleccionada de IDS, el nuevo marco ordenador y las fichas metodológicas (Ibíd. p. 26).

Estos últimos indicadores se han usado como base por parte de la Unión Europea y muchos otros países para el desarrollo de sus propios IDS.

Otras iniciativas de investigación y desarrollo en el ámbito de IDS son (Quiroga, *op cit.* p 10-11):

- El proyecto de Indicadores de Sostenibilidad Georeferenciados de CIAT-Banco Mundial y PNUMA.
- Iniciativas individuales nacionales de indicadores ambientales en países líderes (Canadá, Nueva Zelandia, Suecia, Alemania).
- Los indicadores de DS de tipo índice (IBES, LPI, ISA, Huella Ecológica)<sup>49</sup>.
- Los indicadores monetizados de capital humano, natural y social del Banco Mundial (Riqueza real y ahorro genuino).
- La compilación de indicadores (estadísticas) ambientales de la División

<sup>48</sup> Scientific Committee on Problems of the Environment of ICSU (International Council of scientific Unions). Organización no gubernamental independiente, establecida en 1969 para generar análisis en profundidad sobre los aspectos científicos de los problemas ambientales y asesorar a los tomadores de decisión.

<sup>49</sup> CIAT - Centro internacional de agricultura tropical; PNUMA - Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente; IBES- Índice del Bienestar Económico y social; LPI -Índice de Propiedades de Hogar; ISA - Índice de Sustentabilidad ambiental.

de Estadísticas de la ONU, de la OCDE, de la Agencia Ambiental Europea y de Eurostat.

- El reporte anual del Instituto Worldwatch “Vital Signs” y las iniciativas de Reporte periódico sobre los Recursos Naturales del mundo del World Resources Institute.
- Una profusión creciente de iniciativas de Indicadores Locales y Sectoriales de Sostenibilidad.

Con respecto al estado del arte en las iniciativas conmensuralistas pueden destacarse: el reajuste del símbolo de éxito económico, el Producto Nacional Bruto – PNB, la “renta sostenible”, el “PNB verde” y el índice de bienestar económico sostenible (IBES) de Daly y Coob, También se destaca el Índice de Sostenibilidad Ambiental, el Índice del Planeta Vivo (Living Planet Index) y la Huella Ecológica (Ibíd. p. 22).

El Banco Mundial ha desarrollado dos indicadores de sostenibilidad, que son la riqueza de las naciones y el ahorro genuino. “Ambas medidas, pero sobre todo la última, pretenden indicar la sostenibilidad de un país, que se basa en la medida en que dicha nación es capaz de mantener un flujo de ahorro genuino (que no es otra cosa que la tasa de ahorro tradicional de donde se descuentan la depredación ambiental y se añade la inversión educativa)” [Ibíd. p. 22].

En América Latina y el Caribe, los países que han logrado avanzar más son México, Chile, Costa Rica, Barbados, Colombia y Brasil. Estos países han hecho aportes distintos en términos de diseño e implementación de IDS o bien de carácter exclusivamente ambiental (Ibíd. p. 16).

En América Latina se ha progresado trabajando indicadores de primera generación (netamente ambientales o sectoriales). En el caso de México y Chile en indicadores de segunda generación. La experiencia del CIAT en Colombia es notoria, sobretodo por el uso de los Sistemas de Información Georreferenciados (SIG) y la cartografía para la presentación de indicadores. El anterior Ministerio de Medio Ambiente de Colombia desarrolló algunos indicadores de sostenibilidad, en cooperación intersectorial, con el apoyo de CEPAL y el PNUD (Ibíd. p. 21).

Casi todos los desarrollos que se aprecian abarcan una escala del nivel nacional, siendo la excepción el caso de Chile, el único que está desarrollando su sistema en forma nacional regionalizada, similar al caso canadiense (Ibíd. p. 17).

Los marcos de referencia usados en el proceso de construcción de IDS de primera y segunda generación, han sido diversos. Estos pueden observarse en la **Tabla 25** donde se muestra, además, sus limitaciones y bondades, resumidos del trabajo de Quiroga (2001).

En contraste con esos indicadores, en el contexto del cambio global y ya más concretamente en relación con la dimensión ambiental, han progresado indicadores desarrollados desde Alemania, a partir de marcos de referencia P-E-R. Dicho marco ha sido adaptado para hacer operativa la sostenibilidad ambiental a través de indicadores de tercera generación (éstos obedecen más a interrelaciones sistémicas y a sus dinámicas complejas). La última propuesta, es la aproximación adaptada de *síndrome*.

Los antecedentes del concepto de síndrome se remontan a 1992 cuando el Consejo Consultivo Alemán sobre el Cambio Global- CG<sup>50</sup> (WBGU) fue instado a responder al proceso de Río. La primera actividad del WBGU fue presentar una definición potencial así como un esquema de clasificación para el término, muy amorfo, de cambio global (GC). Con una terminología análoga a la medicina, el WBGU definió las tendencias y los progresos más importantes del GC. De acuerdo con una primera conjetura de los expertos, el WBGU identificó aproximadamente 100 síntomas (o tendencias) del CG.

La aproximación de síndrome ha sido valorada como prometedora para el CG y la investigación de sostenibilidad por la conferencia de las academias científicas suizas y por el Consejo de investigación nacional americano. El objetivo principal de la aproximación de síndrome fue la de proporcionar un concepto para analizar el CG, así como dar recomendaciones políticas hacia la toma de decisión del Gobierno Federal Alemán para un desarrollo sostenible. Esta orientación es adaptada posteriormente por el NCCR (Cassel-Gintz, 2003).

---

<sup>50</sup> El deber ser del WBGU es servir como órgano consultivo independiente para el gobierno Federal Alemán. Está compuesto por 12 expertos renombrados, de varias disciplinas.

**Tabla 25.** Principales características de los marcos ordenadores de IDS. Limitaciones y bondades

Nombre del marco ordenador y descripción	Limitaciones	Bondades
<p style="text-align: center;"><b>PER : Presión-Estado-Respuesta</b></p> <p>Internacionalmente reconocido. Fue desarrollado por la OCDE (1993), SCOPE (Ghent Report, 1995) y es usado, con modificaciones, por muchos países.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los indicadores de presión tratan de responder preguntas sobre las causas del problema. Incluyen emisiones y acumulación de desechos.</li> <li>• Los indicadores de estado del ambiente. Incluyen la calidad del aire urbano, la calidad de las aguas subterráneas, los cambios de temperatura, las concentraciones de sustancias tóxicas o el número de especies en peligro.</li> <li>• Los indicadores de respuesta tratan de responder preguntas sobre que se está haciendo para resolver el problema. Indicadores de este tipo incluyen los compromisos internacionales o tasas de reciclaje o de eficiencia energética.</li> </ul> <p>Enmarcan indicadores de tipo descriptivo, según Bermejo, 2001, con los que no se planifican las consecuencias de la sostenibilidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No aportan metas de sostenibilidad</li> <li>• No dan información sobre las funciones ecológicas y las estructuras de los ecosistemas</li> <li>• Dicen poco o nada sobre la saturación de la capacidad de carga de ecosistemas o de la erosión de la resiliencia ecosistémica</li> <li>• Se basan exclusivamente en datos existentes y por eso se focalizan en procesos que están ocurriendo: declinación de los bosques, cambios climáticos, problemas de biodiversidad, etc. Este hecho lleva necesariamente al desarrollo de políticas preferentemente remediales y de corto plazo.</li> <li>• Parecen privilegiar los stocks de recursos existentes, pero no se cubre con igual fuerza a los flujos de insumos que provienen desde la ecósfera a la tecnósfera o antropósfera.</li> <li>• Limitaciones para las políticas ambientales preventivas. Por ende no tienen capacidad de prever y anticiparse a desarrollos no deseables desde las instituciones competentes</li> <li>• Cortos en la preocupación del mejoramiento permanente de las leyes y sus reglamentos en materia ambiental (particularmente en cuanto a recursos naturales).</li> <li>• Sus usuarios no están enfrentando efectivamente las causas originarias, sino más bien, la situación dada y su efecto.</li> <li>• No trascienden los límites de la fenomenología ambiental hacia los procesos subyacentes y relacionados directamente con el ambiente</li> <li>• Es lineal por lo que no puede reflejar las complejas cadenas causales existentes. No puede sacar conclusiones claras sobre la medida en que las presiones determinan los estados, ni sobre los actores que ejercen las presiones, ni sobre la responsabilidad de los estados (Bermejo, 2001)</li> <li>• Dependen de lo epistémico del analista. Un indicador puede ser clasificado como de presión económica e igualmente de respuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al ser recomendado por la OCDE y la mayor parte de las dependencias de Naciones Unidas permite comparaciones de indicadores ambientales a nivel internacional.</li> <li>• Generan la sensación de que los problemas son claramente manifestados y evaluados negativamente.</li> <li>• Se trabaja con el síntoma, fundamentalmente. Por lo mismo son fácilmente comunicables y accesibles.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Fuerza Motriz (impulso)-Estado-Respuesta (F-E-R)</b></p> <p>El Departamento de Coordinación de Políticas y Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas desarrolló un programa propio de indicadores tomando las ideas del marco P-E-R como punto de partida, pero extendiéndolo a las dimensiones no ambientales de la sostenibilidad. Igualmente, en 1995 las Naciones Unidas cambian el concepto de presión hacia el de fuerza motriz (“Driving force”), por considerarse que la palabra presión contiene un significado primordialmente negativo, mientras que fuerza motriz puede impulsar cambios tanto negativos como positivos en las otras variables del sistema.</p> <p>De este intento surge otro marco ordenador, llamado F-E-R. (Fuerza motriz-Estado- Respuesta). Este intenta acomodar más correctamente la adición de indicadores sociales, económicos e institucionales. Se estableció que una misma fuerza motriz puede tener un impacto positivo en lo socioeconómico (por ejemplo, aumentar el empleo), pero un impacto negativo en el ámbito ecológico (aumento de las emisiones).</p> <p>En el marco de F-E-R, de acuerdo a la sistematización de Mortensen (1997), se establece que los indicadores de fuerza motriz representan actividades humanas, procesos y patrones que tienen un impacto en el desarrollo sostenible. Corresponden a desarrollo a nivel de empresas, industrias o sectores económicos, así como a tendencias sociales. Ejemplos: tasa de crecimiento de la población, y la emisión de gases de efecto invernadero.</p> <p>Indicadores de Estado: proveen una indicación sobre el estado del desarrollo sostenible, o de un aspecto particular de éste, en cierto momento. Corresponden a indicadores cualitativos o cuantitativos. Por ejemplo: expectativa de escolaridad o concentración de contaminantes en zonas urbanas.</p> <p>Indicadores de Respuesta: indican opciones de política y otras respuestas sociales a los cambios en el estado del desarrollo sostenible. Estos indicadores proveen una medida de la disposición y efectividad social en la construcción de respuestas. Incluye legislación, regulaciones, instrumentos económicos, actividades de comunicación. Ejemplos: cobertura de tratamiento de aguas, gasto en disminución de la contaminación.</p> <p>Cuando este marco se usa para indicadores de desarrollo sostenible, tanto el estado o la condición del ambiente (o de subsistemas ecológicos) como el estado de los subsistemas humanos tienen que ser considerados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No aportan metas de sostenibilidad y no dan información sobre las funciones ecológicas y las estructuras de los ecosistemas</li> <li>• La crítica sobre linealidad y causalidad se mantiene en este esquema. En este marco subyace cierta noción de causalidad que no deja de inquietar a los que tienen visiones más sistémicas y de proceso.</li> <li>• El marco de referencia F-E-R resulta ser poco generalizable y de escasa confiabilidad, al no considerar la interdependencia entre los diferentes factores y el carácter de multicausalidad que opera en los fenómenos sociales y ambientales.</li> <li>• Por esto mismo, no se sabe cuál(es) de las medidas propuestas se consideran como efectivas para redireccionar las fuerzas emergentes o en general para mejorar el estado.</li> <li>• Falta de efectividad para una proactividad</li> <li>• Los indicadores propuestos desde este marco están claramente focalizados en la situación de los países industrializados, de manera que no son demasiado significativos para las realidades de los países en desarrollo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Está bien extendido internacionalmente al ser recomendado por la OCDE y Naciones Unidas para lograr comparaciones de indicadores ambientales a nivel internacional</li> <li>• Propone considerar a las dimensiones económicas, sociales e institucionales de la sostenibilidad con aquellas de carácter ambiental.</li> </ul>

Nombre del marco ordenador y descripción	Limitaciones	Bondades
<p style="text-align: center;"><b>Marcos jerárquicos</b></p> <p>Los marcos jerárquicos se basan en el supuesto de linealidad causal donde los fenómenos, criterios, indicadores y normas se unen linealmente para formar verdaderas pirámides lógicas.</p> <p>Por ejemplo, la Fundación Tropenbos desarrolló un marco para el ordenamiento y consistencia en la formulación de principios, criterios e indicadores (P,C,I) de sostenibilidad, que en principio fueron formulados para el tema de bosque y manejo forestal sostenible, pero que constituyen un valioso aporte a la metodología de diseño de indicadores en cualquier área.</p> <p>Los niveles parten desde la más alta y general meta global del sistema (por ejemplo, “desarrollo sostenible”), continúa al nivel inmediatamente inferior de principios orientadores (por ejemplo, “la capacidad productiva de los ecosistemas debe ser mantenida”), del que a su vez se desprende un nivel siguiente que contiene criterios específicos (por ejemplo: “la productividad del suelo deberá ser mantenida”), del que a su vez se genera un cuarto nivel jerárquico de indicadores (por ejemplo: productividad en toneladas de biomasa por Ha.), con sus correspondientes verificadores.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Linealidad causal que deja por fuera visiones más sistémicas y de proceso.</li> <li>Su aplicabilidad se asocia más bien al estudio de la sostenibilidad de un sector o tema en particular, porque es difícil mantener la linealidad en temas más amplios o complejos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporciona un criterio de ordenamiento de tipo jerárquico donde confluyen distintos “niveles” de elaboración, especificidad y operacionalidad</li> <li>Este marco describe niveles jerárquicos (Principios, Criterios e Indicadores) para facilitar la formulación de un conjunto de parámetros en una forma consistente y coherente; describiéndose la función de cada nivel, así como las características comunes de los parámetros que aparecen en un nivel particular</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Presión-Estado-Impacto/ Efecto-Respuesta, P-E-I/E-R, del CIAT, Colombia</b></p> <p>Este modelo se basa en elaborar cinco grupos de indicadores. El primero para observar las causas de los problemas ambientales (Presión sobre el Medio Ambiente), el segundo se relaciona con la calidad del medio ambiente en función de los efectos de las acciones antrópicas (Estado del Medio Ambiente), el tercero observa el impacto/efecto de las actividades humanas sobre el medio ambiente y viceversa (Impacto sobre el Medio Ambiente y la Sociedad); el cuarto se refiere a las medidas y respuestas que toma la sociedad para mejorar el medio ambiente (respuestas sobre el medio ambiente). El quinto grupo son indicadores prospectivos que se relacionan con los progresos necesarios para la sostenibilidad (Progresos hacia la Sostenibilidad). De esta manera se trata de enfatizar sobre la importancia de considerar las potencialidades y limitaciones en el uso de las tierras y los recursos naturales para la elaboración de políticas y acciones para un desarrollo sostenible.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplican las mismas que para P-E-R y F-E-R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplican las mismas que para P-E-R y F-E-R</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Marco Ordenador con base en Familias, Chile</b></p> <p>Propone que los procesos involucrados en el desarrollo sostenible son dinámicos y complejos, y que como sistema se retroalimentan continuamente unos a otros. Tiene una inspiración de economía ecológica y ordena los procesos en una primera familia donde se estudia la extracción de energía y materiales por parte de los humanos, una segunda familia que consiste en la transformación de este transflujo en bienes y servicios, junto con sus problemas y dinámicas distributivas, luego se tiene una tercera familia de soporte vital donde se agrupan los fenómenos de contaminación y manejo de residuos, y finalmente una familia de dinámicas culturales e institucionales con las que la sociedad va respondiendo a las variables y la información que se maneja para modificar o reproducir el sistema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A pesar de que usan un marco ordenador más sistémico, los indicadores son sólo de sostenibilidad ambiental, no de desarrollo sostenible propiamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se tiene claro el criterio de que el marco debe aportar valor al usuario de los IDS, que debe ser simple, evidente y ordenador, y que en ningún caso debe complicar la comprensión del usuario</li> <li>Único país en Latinoamérica que está diseñando indicadores regionales, con miras a realizar la agregación nacional</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Marco Ordenador Temas y Subtemas CDS IDS, 2001</b></p> <p>El Department of Economic and Social Affairs (DESA), Division for Sustainable Development (DSD) produjo en marzo 2001, en el contexto del Programa de Trabajo de la CDS, un nuevo marco ordenador para los IDS, basado en temas y subtemas.</p> <p>Si bien es una forma simple de presentar los indicadores, ha sido recientemente recomendada por el Programa de Trabajo de la CDS en IDS luego de su prueba en 134 países.</p> <p>Está movido por las siguientes consideraciones: riesgos futuros, correlación entre temas, metas de sostenibilidad y necesidades sociales básicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La organización de temas y subtemas dentro de las cuatro dimensiones de desarrollo sostenible: Social, ambiental, económica e institucional puede llevar, así no sea su propósito, a la consideración de estas dimensiones en forma separada, dejando de lado sus interrelaciones como parte de un sistema abierto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los temas y subtemas pueden reflejar los énfasis nacionales tanto de los problemas como de los desafíos del desarrollo sostenible.</li> <li>Sirve para organizar y consolidar información</li> <li>Aumentará significativamente la efectividad de la Agenda 21, al proveer información en un marco ordenador uniforme.</li> </ul>

Fuente: Quiroga 2001.

## **4.2 Las tres generaciones de IDSA y cómo están relacionadas**

En un contexto sistémico los indicadores de primera y segunda generación podrían verse como características simples y compuestas del sistema mismo sociedad-naturaleza, donde las últimas constituyen agregaciones, de los aspectos de ese sistema, relacionados o complementarios. Los indicadores sistémicos ambientales - ISA estarían proporcionando información sobre las relaciones e interrelaciones existentes entre dichas características simples y compuestas, sólo que esa información no se derivaría aditivamente de las variables medidas y observadas. Esto último estaría más acorde con la naturaleza transdisciplinaria y compleja de los procesos de la interacción sociedad-naturaleza.

El desarrollo de indicadores de las tres generaciones en un mismo proyecto no sería incompatible, de hecho es necesario; pero sí resulta perentorio que se construyan también los sistémicos, para una caracterización más fiel de la realidad compleja, multidimensional y dinámica del sistema.

## **4.3 Pertinencia del acercamiento sistémico para la generación de IDSA**

Con base en lo presentado en los dos numerales anteriores, los marcos de referencia para indicadores de primera y segunda generación exhiben dos debilidades principales que conducen a la necesidad de un acercamiento sistémico de las interacciones sociedad-naturaleza con el fin de diagnosticar la sostenibilidad ambiental:

1. El enfoque P-E-R y sus marcos de referencia extendidos son lineales y los enlaces causa-efecto son horizontales. La sostenibilidad ambiental puede percibirse solamente como característica dinámica del sistema Tierra. Con dicha linealidad los conflictos resultantes entre los tres elementos principales de la sostenibilidad (economía, ecología, sociedad) no pueden ser expresados adecuadamente.
2. Esos enfoques no retratan las interconexiones estrechas y numerosas que se dan entre la sociedad y la naturaleza. Algunos de ellos cuantifican relaciones, pero aún como cadena causal (no como red causa-efecto), tampoco consideran los efectos sinérgicos, ni las retroacciones positivas y negativas propias de la dinámica de un sistema.

La presente investigación apuntó principalmente a lograr la condición operativa de la sostenibilidad ambiental, a través de indicadores que reflejan, en forma más fiel, el comportamiento de las interrelaciones sociedad-naturaleza. Esos indicadores de tercera generación o sistémicos consideran la compleja red sistémica de vínculos sociedad-naturaleza.

Las interacciones complejas sociedad-naturaleza requieren ser materializadas mediante indicadores que modelen esa misma complejidad, de allí que el presente trabajo haya adoptado los ISA espaciales.

La pertinencia de los ISA espaciales se confirma además por su capacidad de modelar interacciones del sistema sociedad-naturaleza, que van más allá de límites disciplinares y de escalas temporales y espaciales.

## **4.4 ISA espaciales construidos y su interpretación**

La aplicación de los métodos y técnicas para el desarrollo de los indicadores se llevó a cabo a partir de modelos integradores de las dimensiones ambientales, de los cuales se derivaron los ISA espaciales de diversos tipos. Esos modelos usaron técnicas de lógica difusa, ecuaciones diferenciales cualitativas, funciones de análisis espacial de software SIG y procesamiento digital de imágenes fotográficas y satelitales para la generación de información con valor agregado. Los diversos modelos desarrollados, así como los ISA espaciales o de tercera generación para páramo de Guerrero, se presentan en la **Tabla 26**. Ellos abarcan indicadores descriptivos, analíticos y de dinámica. Estos últimos basados en el estudio temporal de los procesos de transformación en páramo de Guerrero para varias décadas.

Aquellos ISA espaciales que fueron obtenidos mediante los métodos de integración con lógica difusa representan una conjunción de cualidades de las dimensiones ambientales (ecosistemas, sociedad, economía) las cuales abarcan aspectos que no necesariamente son conmensurables, pero que sí juegan un papel definitivo en la obtención de una señal que permita concluir sobre la sostenibilidad o no sostenibilidad. Este es el caso de los ISA espaciales de disposición (socioeconómica y natural) al síndrome de sobreutilización de suelos marginales. Allí se hallan implícitas las interacciones sistémicas sociedad-naturaleza, donde en cada ubicación convergen cantidades y/o cualidades que se integran entre sí. Ellos son indicadores vinculantes que incorporan simultáneamente varios atributos o dimensiones de la sostenibilidad



Esos ISA espaciales son complejos puesto que modelan para cada localización las interrelaciones de variables socioeconómicas y naturales, las cuales actúan y participan en el análisis de forma diferencial, unas con mayor fuerza, otras con menor, unas compensando a otras o definitivamente anulándolas.

Algunos de estos ISA espaciales poseen además características dinámicas (reflejan el estado del sistema a través del tiempo) que expresan el reforzamiento mutuo de factores en un período de tiempo, no un valor absoluto. Ellos permiten evaluar también la intensidad del reforzamiento de los aspectos centrales del mecanismo de desarrollo de un síndrome determinado. Este es el caso de los ISA de intensidad del síndrome y los dinámicos.

La ubicación espacial de los ISA facilita el análisis de la distribución de procesos y fenómenos, además de permitir su relación con otras variables. El indicador de alta fragmentación de la tierra permite visualizar a los pequeños agricultores en las pendientes más bajas del terreno, con las implicaciones, que para la producción de los cultivos de papa, ello tiene. Los grandes agricultores están ubicados en las pendientes más altas por tener mayores recursos para la tecnificación y donde la fragmentación de la tierra es menor. Estas relaciones y abstracciones difícilmente se consiguen con indicadores aditivos del enfoque conmensuralista.

Esos indicadores muestran en el espacio transiciones graduales de diversas condiciones, lo cual es más afín con la realidad, al igual que la convergencia de diversas cualidades en forma compensada, propio de los sistemas y sus interrelaciones.

Debido a que los ISA espaciales hacen parte de una red causa-efecto previamente conceptualizada, es posible relacionarlos con otras variables y aspectos fundamentales en la interpretación de la sostenibilidad ambiental. El indicador de condiciones insuficientes para la producción agrícola se podría leer integradamente con otras tendencias. Donde esas condiciones son insuficientes y existe una actividad agropecuaria actualmente, el deterioro del suelo será inminente, con éste la baja productividad y menor rentabilidad con consecuencias para la marginación socioeconómica. Todo esto llevaría a prever un patrón no sostenible de la relación sociedad-naturaleza para esas localizaciones.

De otro lado, esa misma conceptualización de la red causa-efecto, en la que se basa la generación de los ISA espaciales, facilita su visión no en forma aislada, sino bajo la conjunción, interacción y sinergia de procesos socioeconómicos, políticos, culturales y biofísicos, que ocurren a diversas escalas (nacional, regional, local), además permite vislumbrar su relación con factores internos y externos causa-efecto.

**Tabla 26.** Tabla resumen de modelos e ISA espaciales desarrollados

Nombre del modelo	Nombre de ISA de tercera generación*	Técnicas usadas	Resultados
Síntomas o tendencias del síndrome de sobreutilización de suelos marginales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja disponibilidad de agua</li> <li>• Bajas condiciones de enraizamiento</li> <li>• Alta variabilidad de la precipitación</li> <li>• Condiciones limitantes de temperatura</li> <li>• Alta disposición a erosión del suelo</li> <li>• Alta dependencia de la actividad agropecuaria</li> <li>• Alta fragmentación de la tierra</li> <li>• Altos costos de producción</li> <li>• Alta proporción de grandes productores</li> </ul>	Lógica difusa (funciones difusas de membresía) y SIG	Ubicación espacial de los sitios con tendencias o síntomas específicos del síndrome. Los indicadores presentan valores continuos entre cero y uno que indican el grado de membresía a la categoría lingüística estipulada para cada tendencia
Disposición al síndrome de sobreutilización de suelos marginales	<p>I. Alta disposición al síndrome</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta disposición natural al síndrome: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones insuficientes para la producción agrícola</li> <li>• Condiciones insuficientes del suelo para producción <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta disposición edafológica al síndrome</li> <li>• Baja mecanización</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Insuficiencia de la producción por condiciones climáticas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja disponibilidad de agua</li> <li>• Alta variabilidad precipitación</li> <li>• Alta limitación temperatura</li> </ul> </li> <li>• Alta disposición a la erosión <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta pendiente y longitud</li> <li>• Baja protección por uso</li> <li>• Alta erodabilidad del suelo</li> <li>• Precipitación de alta erodabilidad</li> </ul> </li> <li>• Alta disposición socioeconómica al síndrome <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de producción</li> <li>• Alta dependencia de la actividad agrícola</li> <li>• Alta fragmentación de la tierra</li> <li>• Alta proporción de grandes productores</li> </ul> </li> </ul>	Lógica difusa (operadores lógicos AND y OR, operadores compensatorios);  SIG	Cada ISA fue ubicado espacialmente. Acá se generaron mapas de sitios con alta disposición natural, socioeconómica y total al síndrome.  Un alto porcentaje del área estudiada posee una disposición media alta a alta a desarrollar el síndrome (78%). Esto demuestra la fragilidad de los ecosistemas presentes. Esto no significa que en algunos sectores la producción de papa no pueda realizarse en forma óptima, lo que queda claro es que no es la vocación natural de esos suelos; de allí que para ellos se haya adoptado en este trabajo, el término de “marginales”
Intensidad del síndrome de sobreutilización de suelos marginales	<p>II. Intensidad del síndrome por veredas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio temporal relativo de aspectos del mecanismo central del síndrome (reforzamiento en el tiempo de tendencias)</li> <li>• Cambio temporal de la actividad agrícola</li> <li>• Cambio temporal de la sobreutilización del suelo</li> <li>• Cambio temporal de la marginalidad socioeconómica</li> </ul>	Ecuaciones diferenciales cualitativas y SIG	Cada indicador se ubicó espacialmente usando la unidad vereda. Los valores de intensidad obtenidos muestran que en 5 de 15 veredas el síndrome alcanza una intensidad media-alta. El máximo valor es para Sabaneque con 0.58 (la escala de intensidad es de cero a uno). En empalizado la intensidad del síndrome es cero, debido a la recuperación alta de la cobertura vegetal.
Sitios con síndrome activo de sobreutilización de suelos marginales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grado de intensidad del síndrome activo en localizaciones</li> </ul>	SIG y operaciones booleanas AND y OR; álgebra de mapas	Permitió validar los dos modelos anteriores: el 80% de sitios con síndrome activo coinciden con áreas de media a alta disposición natural y socioeconómica al síndrome de sobreutilización de suelos “marginales”.

Nombre del modelo	Nombre de ISA de tercera generación*	Técnicas usadas	Resultados
Análisis temporal de los procesos de transformación	III. Dinámica de uso y cobertura vegetal <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformación de la cobertura vegetal y dinámica del uso del suelo (años 40-2004)</li> <li>• Procesos de transformación y consolidación</li> <li>• Intensidad de procesos de transformación y consolidación               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Área de unidad de primera fecha bajo proceso de transformación o consolidación</li> <li>• Área del proceso en la segunda fecha</li> <li>• Porcentaje unidad de la primera fecha transformada o consolidada por el proceso de la segunda fecha</li> <li>• Porcentaje del proceso con respecto al área total de estudio</li> </ul> </li> <li>• Velocidad de los procesos de transformación</li> </ul>	Clasificación supervisada y no-supervisada de imágenes fotográficas y satelitales.  En SIG: generación de zonas (unidades de análisis); operaciones de matrices de combinación y superposición de clasificaciones de dos fechas; operaciones de estadística zonal y estadísticas de cruce de dos mapas.	<p>Se generaron los mapas de transformación para las fechas 40, 50, 60, 77, 88, 98 y 2004 (<b>mapa 1</b>, en CD). Se dan los porcentajes de cada cobertura y uso del suelo, por cada fecha. Se puede observar la dinámica de bosques y páramo en esas fechas. Fechas de mayor y menor intervención. Conversión de ecosistemas a la actividad agropecuaria.</p> <p>Procesos de transformación y consolidación (en <b>mapa 2</b>) por períodos: Avance en bosques y páramos, paramización, recuperación, consolidación de la intervención, bosques y páramos sin transformación.</p> <p>La intensidad de los procesos se presenta en el <b>mapa 3</b>. Se ubican espacialmente sitios que sufrieron intervención con intensidad alta, media y baja; sitios remanentes después de la intervención, con una conservación alta, media y baja; intervención consolidada y recuperación.</p> <p>Para el período de tiempo general analizado (40-04) se pudo observar que la mayor intervención de bosque Alto Andino en la zona de Guerrero, se llevó a cabo entre los años 40 – 60. La suma de los porcentajes de intervención de ese período fue de 24.9%. La intensidad del avance fue media a alta (en la mayoría de casos, más del 66% de las unidades impactadas fue arrasado). En este mismo lapso de tiempo se arrasó más páramo que entre el 77 y 2004. Los porcentajes alcanzaron 14.3% y la intensidad de intervención fue baja (menos del 33% de las unidades intervenidas fue arrasado). Del 77 al 2004, el porcentaje de bosque devastado fue de 11.6%, con un avance de alta intensidad y el de páramo fue de 11.3% (3346.79 Ha), con intensidad baja de intervención.</p> <p>La velocidad de los procesos (<b>mapa 4</b>), ubica los sitios con diversa velocidad de intervención (basada en la superficie de las unidades que fueron intervenidas, en un período dado de tiempo). Las velocidades de intervención van decreciendo en el orden de las décadas 40-50, 50-60, 77-98, 98-04.</p>

\* Los ISA se organizan en forma jerárquica. Existe un indicador de mayor orden, que contiene a otros de menor orden

# 5

## Diseño de la investigación para la mitigación de PSP(S): la integración vertical en el enfoque de síndromes

La integración sistémica de las causas, los mecanismos y efectos como un patrón específico de los problemas ambientales conforma la integración vertical en el enfoque de síndrome. Esta produce un mejor entendimiento del sistema de la interacción sociedad-naturaleza como un todo y se constituye en la base para el diseño de la investigación que conduce a la mitigación de los PSPs.

Esa integración vertical permitirá, a través de un orden lógico, generar estrategias de respuesta para cada área problema que se determina. Esas estrategias aquí abarcan exclusivamente la parte de diseño de la investigación, pero la metodología de integración vertical original, va mucho más allá (implementación de instrumentos de monitoreo, proceso de solución de problemas, análisis de problemas de toma de decisión, principios organizacionales e instrumentos para el análisis holístico de los síndromes, entre otros)<sup>51</sup>

La investigación sobre transformación ambiental basada en el concepto de síndromes debe ser organizada de tal forma que los recursos financieros y científicos sean usados y asignados de la mejor manera posible. Cuando estos aspectos son tomados en cuenta, el análisis de sistemas puede ser trasladado a un modo específico de organización de las actividades de investigación (WBGU, 1997).

Cada síndrome es un foco de investigación, alrededor del cual se agrupan los tópicos disciplinarios. Además cada uno de esos patrones de transformación ambiental genera, casi automáticamente, un número de tópicos interrelacionados que se vuelven una prioridad para las estrategias de investigación interdisciplinaria (Ibíd.).

Dentro de este contexto, los síndromes son fenómenos trans sectoriales, que comprenden los factores causales claves, el mecanismo por el cual ellos operan y la mayor contribución de los problemas centrales. Este método sistémico de análisis y descripción provee un marco organizacional para descifrar la complejidad de las transformaciones ambientales. Si la investigación es organizada acorde con los principales síndromes del sistema, entonces los recursos existentes podrán enfocarse en los problemas y las causas, acentuando la eficiencia de las actividades de investigación (Ibíd.).

### ***5.1 Diseño de la estructura básica de la red de investigación***

Este se muestra como un ejemplo aplicado al páramo de Guerrero, solamente para el síndrome trabajado en detalle, que fue el de sobreutilización de suelos marginales. Todos los demás síndromes también deberían ser incluidos, de acuerdo con la metodología de integración vertical.

Este diseño parte de un primer nivel que es la investigación y análisis de los síndromes, a partir de los cuales son establecidos, en un segundo nivel, los grupos de problemas centrales. En un tercer nivel son definidos los componentes de investigación y en un cuarto nivel son considerados los principios de integración (Ibíd. p. 132).

#### ***5.1.1 Grupos de problemas centrales de investigación – segundo nivel***

El análisis y diagnóstico del síndrome ya se realizó, se proseguiría con el segundo nivel, el de los grupos de problemas centrales. Se destaca

<sup>51</sup> Para detalles remitirse a WGBU, 1997. World in Transition: The Research Challenge . Annual Report of the German Advisory Council on Global Change (WBGU). Springer, Berlin.

que la estructura del síndrome mismo y como fueron diseñadas las interrelaciones allí, garantiza la transdisciplinariedad a través de las subredes diferenciadas, pues las tendencias implicadas en ellas, abarcan dos o más esferas ambientales. Como cada esfera abarca una disciplina o ciencia, entonces indefectiblemente habrá una integración horizontal de la investigación. A su vez, las subredes se interrelacionan vinculando los problemas claves del síndrome, entre sí. Los tópicos de las interacciones periféricas son menos importantes, mientras que aquellos relacionados con las tendencias centrales son muy importantes (Ibíd., p. 136).

Los siguientes son los grupos de problemas establecidos para páramo de Guerrero y algunas preguntas de ejemplo que podrían abordarse aprovechando la integración que propicia el enfoque de síndrome. Estos grupos se diferencian con base en el esquema desarrollado en la **Figura 11**, de donde se toma en cuenta el mecanismo central y sus respectivas subredes de interrelaciones:

- Opciones de respuesta a la población afectada (en rojo en la figura): ¿qué alternativas se brindarían a los grupos amenazados por la marginación y qué factores podrían influir en las posibles decisiones que ellos pudieran adoptar?
- Cambio climático regional: (en verde): ¿Cuáles son las interacciones específicas sociedad-naturaleza que afectan el clima regional, los ecosistemas, el sistema de producción agrícola y la disponibilidad de agua en la zona?
- Condiciones socioeconómicas y político-institucionales (azul): ¿Cómo son las interrelaciones concretas de la inestabilidad de los precios de comercialización, el aumento en los costos de producción y la tenencia de la tierra, con la marginación socioeconómica en páramo de Guerrero?, ¿Cómo incide la globalización de mercados y los procesos como el TLC en la economía de los pequeños agricultores?, ¿Cuáles políticas proteccionistas, en relación con los incentivos funcionarían para la conservación de las zonas ambientalmente sensibles? ¿Cómo podría la definición de derechos de propiedad volverse una retroacción positiva para la zona?
- Ciencia y tecnología (naranja): ¿Cuáles son las interrelaciones de la ciencia/tecnología con lo socioeconómico que propician una intensificación de la agricultura y la alejan de ser un sistema de producción sostenible?. ¿Cuáles sistemas de producción, tecnológicamente sostenibles, podrían desarrollarse?

### 5.1.2 Componentes de la investigación – tercer nivel

Estos componentes podrían desarrollarse en forma muy amplia, pero únicamente se van a enumerar, para dejarlos como posibles temas de desarrollo de investigaciones futuras que podrían centrarse en la integración vertical del síndrome.

#### *Opciones de respuesta a la población afectada:*

Se requerirían investigaciones sectoriales con participación de las ciencias económicas, geografía, sociología, psicología, antropología social y otras. Tres aspectos podrían ser examinados (Ibíd. p. 137):

- Evaluación de las opciones y estrategias de la población marginada. Condiciones de esa población con base en la disposición natural y socioeconómica al síndrome, manifestaciones del síndrome y factores disparadores, entre otros.
- Modelamiento y simulación del comportamiento de grupos en peligro
- Elaboración de alternativas de respuesta basada en experiencias y modelos. Además investigación en empoderamiento para realzar la posición de grupos marginales

#### *Cambio climático regional (Ibíd.):*

- Investigaciones sobre escasez de agua potable, con análisis de la oferta frente a la demanda
- Los efectos de retroacción sobre la erosión del suelo, debido al cambio climático
- Disposición del síndrome, con respecto a la variabilidad climática
- Modelos socioeconómicos para investigar los cambios de uso del suelo que ocurren o que es probable que ocurran en respuesta a posibles pérdidas de producción, por las condiciones climáticas.

#### *Condiciones socioeconómicas y políticoinstitucionales (Ibíd.):*

- Rol jugado por las tendencias económicas y las condiciones del proceso de marginación social

- Cómo refuerzan las influencias internacionales la marginación socio-económica
- Determinantes de la producción agrícola considerando factores étnicos, culturales y sociales, teniendo en cuenta la economía nacional y sus estructuras
- Investigación regional empírica sobre condiciones socioculturales y socioeconómicas, que gobiernan el brote y la trayectoria del síndrome
- Sistemas alternativos de producción
- Mecanismos de presencia institucional, que incluya políticas proteccionistas y construcción de incentivos

#### *Ciencia y tecnología (Ibíd.):*

- Redes de interacción entre automatización, mecanización, dependencia de semillas y agroquímicos y costos de producción
- Programas alternativos de producción sobre control biológico de plagas y uso de abonos orgánicos
- Mejoramiento y manejo de producción pecuaria
- Implementación de Sistemas de Labranza Mínima
- Tecnologías sostenibles para la zona, transferencia de tecnología.

A una escala más detallada, los problemas y situaciones específicas reflejadas en cada indicador obtenido, es la base para investigaciones futuras. Obsérvese la **Tabla 26** para corroborar esta afirmación.

Los componentes descritos, una vez profundizados, deberían convertirse en programas y proyectos de investigación.

#### *5.1.3 Consideración de principios de integración – cuarto nivel*

Son necesarios para trasladar la demanda de la interdisciplinariedad dentro de los requerimientos específicos a ser cumplidos por los programas y proyectos de investigación. Tales principios se relacionan con las características de la investigación objeto y las metodologías pertinentes, así como con aspectos de organización de la investigación y acciones de implementación (Ibíd. p. 128).

#### *Aspectos analíticos de integración (Ibíd.):*

- *Referencia espacial:* la investigación debería juntar las disciplinas individuales y dirigirlas hacia un área geográfica específica
- *Referencia temporal:* es importante pues muchos problemas ambientales resultan porque los ecosistemas no pueden adaptarse rápidamente a los cambios ambientales y los procesos de adaptación social y económica requieren longitudes de tiempo variables, entonces la cooperación entre las diversas disciplinas debería ofrecer una perspectiva temporal para todos.
- *Procesos y estructuras socioculturales:* cada sociedad tiene su propio nivel de desarrollo, nivel de educación y sistema de valores (estructura sociocultural), que afecta factores como la voluntad de aceptar los riesgos, la capacidad adaptativa, sensibilidad a los tópicos ambientales y relevancia de lo ambiental para ellos. Cuando se integran las actividades de investigación, esas diferencias deberán ser mostradas explícitamente para mejorar la eficiencia de la investigación y su subsiguiente implementación.

#### *Aspectos metodológicos (Ibíd. p. 129):*

- *Modelamiento y simulación:* “Todo modelo intenta simular la realidad por medio de hipótesis simplificadas que tomen en cuenta las interdependencias y que sean validadas con datos empíricos. Esto significa que la construcción de modelos es un método adecuado para integrar las disciplinas, por medio del cual las simulaciones enfocan la atención en esas hipótesis que requieren de una revisión crítica o que revelan vacíos en el modelo”.
- *Instrumentos de enlace:* extienden la integración en el mismo sentido. Pueden involucrar el uso coordinado (complementario) de equipos (satélites, computadores), infraestructuras y recursos de conocimiento (bases de datos o algoritmos)

#### *Aspectos organizacionales (Ibíd.):*

- *Facilidades interdisciplinarias:* Este método de integración se centra en crear instituciones de investigación con focos interrelacionados claramente definidos, que haga necesaria, por consiguiente, la colaboración entre científicos de lo natural, ingenieros, economistas y científicos sociales, de acuerdo con las tareas específicas.



- *Asociaciones temporales:* Se refiere a la formación de redes basadas en proyectos de mediano plazo entre instituciones, de disciplinas específicas, para promover la integración. En páramo de Guerrero han sido conceptualizadas esas redes, pero en la práctica no funcionan.
- *Estructuras de soporte y programas:* El principal elemento es el establecimiento por parte de la gobernación y el municipio de programas con una naturaleza transdisciplinaria, la consolidación de redes de investigación interdisciplinaria (evaluación de la investigación, promoción de centros de investigación colaborativa, que traten un complejo específico de tópicos, más que centros definidos metodológicamente y geográficamente distribuidos). Establecimiento de institutos locales enfocados a los procesos ambientales o institucionalización de premios para la investigación ambiental que logren una síntesis entre diferentes disciplinas.
- *Orientación en programas internacionales:* Mayor participación en programas internacionales (programas sobre cambio global, construcción de capacidades vinculantes entre países en desarrollo). Este es un camino para superar el vacío de las perspectivas globales en la investigación ambiental.
- *Educación y entrenamiento:* La integración se logra desarrollando cursos básicos y de nivel avanzado en tópicos ambientales (agricultura ecológica, geoecología, ambiente y administración, análisis de sistemas de relaciones sociedad-naturaleza), programas de intercambio académico.

*Aspectos de implementación (Ibíd. p. 130):*

- *Participación:* los efectos de la integración pueden lograrse a través de una mayor participación en el establecimiento de causas, efectos y del abordaje de los problemas ambientales en los procesos de investigación ambiental. Los asociados podrían ser los municipios (alianzas de protección ambiental), industria (industria energética, sector de seguros), grupos activistas en políticas ambientales.
- *Evaluación:* La experiencia muestra que la evaluación de la investigación puede promover la integración. La evaluación debe enfatizar las preguntas como qué clase de investigación es necesaria para entender los síndromes y para manejarlos a través de la mitigación de sus componentes no sostenibles.

# 6 Consideraciones finales

De esta propuesta de diagnóstico de la sostenibilidad ambiental emana la necesidad de una ulterior profundización y ampliación de las interacciones sociedad-naturaleza que aporten a una mejor comprensión de las transformaciones ambientales y sus consecuencias para la sostenibilidad ambiental.

Hacer operativa la sostenibilidad ambiental requiere una comprensión previa y holística de los diversos componentes del sistema que la modela. Dicho sistema está constituido por las interrelaciones de las dimensiones ambientales disímiles; de allí que esta tarea tenga que extenderse más allá de límites disciplinares, temporales y escalares.

La construcción de una base teórica que explique el comportamiento de ese sistema, para el posterior desarrollo de ISA espaciales o de tercera generación, que conduzcan a lograr la condición operativa de la sostenibilidad ambiental, es un quehacer que no puede obviarse. Será a partir de esa construcción teórica como se puede llegar a la consolidación de un marco de referencia para el desarrollo de ISA espaciales o de tercera generación. Un andamiaje teórico, conceptual y metodológico conveniente es la noción de síndrome, que facilita esa visión holística, la integralidad e interdisciplina.

Con base en dicha noción puede diseñarse la red de interrelaciones sociedad-naturaleza, que incorpora las relaciones funcionales específicas en una zona de interés. Como resultado de este proceso se define el patrón sistémico peligroso PSP del síndrome, como su mecanismo central y las subredes de interacciones, que se derivan de él. Esto conlleva una comprensión más

amplia de las transformaciones ambientales y su abordaje más adecuado. Este ejercicio fue aplicado en la región de Páramo de Guerrero, con resultados muy positivos para el diagnóstico de la sostenibilidad ambiental.

Con todo esto se pudo comprender también que es perentoria la definición de un esquema metodológico para la conceptualización, diseño e implementación de ISA de tercera generación bajo un enfoque que se salga del rigor cuantitativo, en favor de los aspectos cualitativos, intuitivos y de tipificación de lo social. Esas metodologías híbridas, deberían abrir una puerta importante a la interacción de los científicos de las ciencias naturales y sociales, facilitando diversas herramientas de modelación, gráfica, matemática y espacial, que reúnan elementos de la teoría de los sistemas, de la lógica difusa y de evaluaciones de juicio, con base en el conocimiento local y de los expertos.

Con la presente propuesta se promueven nuevas formas para el abordaje de la transformación ambiental, que no usan divisiones entre áreas temáticas o reduccionismos, sino que más bien pretenden develar la coevolución de patrones dinámicos de la interacción sociedad-naturaleza.

En este contexto, se hacen definitivos los desarrollos de modelos para la medición de características sistémicas de la sostenibilidad ambiental, a través de ISA de predisposición a condiciones ambientales no favorables para la sostenibilidad, o ISA de dinámica de la interacción sociedad-naturaleza, como los que fueron construidos aquí.

Lo instrumental dentro de la tarea de hacer operativa la sostenibilidad ambiental cobra un mayor significado, pues facilita la automatización de modelos que pueden ser empleados posteriormente en otras áreas de interés, pero sumado a esto, abre puertas a los métodos y técnicas híbridas de cuantificación y cualificación en el marco de escenarios de convergencia de lo nomotético y lo idiográfico, bajo una flexibilidad de escalas espaciales y temporales.

Los indicadores de tercera generación, tal como fue ejemplificado, deberán pues llevar implícitas relaciones sistémicas, tendrán espacialidad y poseerán características como las de ser sinérgicos, transversales y jerárquicos, en lugar de aditivos o de agregación como los de primera y segunda generación.

Si bien el enfoque de síndrome mostró ser útil para hacer operativas las relaciones complejas sociedad-naturaleza de la transformación ambiental, también es imprescindible para el diseño de la investigación, en torno a la problemática integral que logra derivarse de su construcción. Por su misma esencia sistémica y transdisciplinar, la investigación que promueve se basa en

principios de integración de los diversos aspectos metodológicos, analíticos, organizacionales y participativos.

Los indicadores de primera, segunda y tercera generación son imprescindibles en estos análisis, pero los dos primeros son solo una parte de la caracterización ambiental (habitualmente por esferas separadas). Lo que se enfrenta realmente es la exigencia del abordaje de interacciones complejas de la sostenibilidad ambiental para hacerla operativa. De allí surge entonces la necesidad de construir nuevos indicadores sistémicos y ese intento se llevó a cabo en el marco de este trabajo.

Finalmente, este tipo de productos apoyarían las tareas de los tomadores de decisión, materializando en forma de indicadores espacializables y de composición compleja, la transformación ambiental bajo la perspectiva del sistema sociedad-naturaleza. Una de sus bondades es la de mostrar con eficiencia dónde están localizados los problemas, facilitando la priorización de su abordaje y dejando atrás el abordaje sectorial que frecuentemente caracteriza a los estudios ambientales.

# Bibliografía

- Alzate B. 2006. Indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación en la gestión ambiental sistémica. Caso Páramo de guerrero. Cundinamarca. Tesis de maestría en medio ambiente y desarrollo. IDEA. Universidad Nacional.
- Alcaldía municipal de Cogua – Cundinamarca. 2002. Plan de manejo para las zonas de reserva forestal del municipio de Cogua – Cundinamarca. Consultor Mario Alonso Cubillos Malagón. Ingeniero forestal U. D.
- Bermejo, R. 2001. Economía sostenible. Principios, conceptos e instrumentos
- Buzai G. D. y Baxendale C. A. 2006. Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Lugar Editorial. Argentina. 400 p.
- CAR. Regional Zipaquirá. 1998. Caracterización de la ribera de la subcuenca del río Frío y programas a desarrollar para su recuperación. Documento final de la expedición realizada por el río Frío del primero al 17 de septiembre de 1997. Descripción de la situación actual.
- Cassel-Gintz M. (2003): Reflections on the Syndrome Approach for the NCCR North-South: The link between Sustainable Development, Systems Theory and the Syndrome Approach. NCCR N-S Dialogue Paper. <http://www.nccr-north-south.unibe.ch>.
- Cassel-Gintz M. A., Lüdeke M. K. B., Petschel-Held G., Reusswig F., Pliich M., Lamme G., Schellnhuber H. J. 1997. Fuzzy logic based global assessment of the marginality of agricultural land use. *Climate Research*. Vol. 8: 135-150.
- Cassel-Gintz, M. and Petschel-Held, G. 2000. GIS-based assessment of the threat to world forests by patterns of non-sustainable civilisation nature interaction. *Journal of Environmental Management*. Vol. 59, p. 279-298.
- CEPAL, con apoyo de UNDES/DSD. Informe del seminario Indicadores de desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Santiago, Chile, 29-30 de noviembre de 2001.
- CEPAL. 2004. Memoria del curso taller de indicadores de desarrollo sostenible. Buenos Aires, 30 de Agosto al 3 de Septiembre.
- CIFOR. 1999. Guidelines for Developing, Testing and Selecting Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management. The Criteria & Indicators Toolbox Series. Center for International Forestry Research (CIFOR). Jakarta, Indonesia.
- Conservación Internacional (C.I.), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 2001. Proyecto Piloto para la Conservación y Uso Sostenible del Páramo de Guerrero.
- Correa S. A. 1989. Efecto de las quemadas sobre algunas propiedades del suelo y el forraje en el páramo de Guerrero. *Suelos ecuatoriales*. V. 19 No. 1; pp.70-83. Memorias del seminario sobre los páramos de Colombia.
- Cortés L. A., Chamorro B. C., Vega A. 1990. Cambios en el suelo por la implantación de praderas, coníferas y eucaliptos en un área aledaña al embalse del Neusa (páramo de Guerrero). *Investigaciones* V.2 No. 1; pp. 101-114. IGAC-UNAL.
- DANE. 2002. Primer censo Nacional de cultivo de la papa. Departamento de Cundinamarca. Primera, segunda y tercera separatas.
- Downing T.E. y Lüdeke M. 2002. International Desertification. Social Geographies of Vulnerability and Adaptation. En *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?*. Edited by J.F. Reynolds and D.M. Stafford Smith. Dahlem University Press.
- Eastman J. R., McKendry J.E. y Fulk M.A. 1995. Change and time series analysis. United Nations Institute for Training and Research. Clark Labs. Clark University. Volume 1.
- Escobar J. J., 2004. Síndromes de sostenibilidad ambiental del desarrollo en Colombia. Proyecto “Evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe”, NET 056, NET 063. CEPAL. Naciones Unidas. Santiago de Chile.

- Fernández M. E. 2006. Análisis de las fases extremas de la variabilidad climática en el Páramo de Guerrero (zona norte de Cogua y Zipaquirá) y sus efectos en el agroecosistema de cultivos de papa. Monografía de grado.
- Gallopín G. 2002. Indicadores de desarrollo sostenible: marco conceptual y metodológico. Seminario Indicadores de Desarrollo Sostenible para la República Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable.. (Presentación en [www.medioambiente.gov.ar/acciones/seminario\\_indicadores\\_sustentables/I\\_taller/default.htm](http://www.medioambiente.gov.ar/acciones/seminario_indicadores_sustentables/I_taller/default.htm))
- Gallopín, G. 1997. Indicators and their Use: Information for Decision-making. Consultada en octubre 25 en la dirección web: <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope58/contcho1.html>.
- Gallopín, G. 2003. Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. División de desarrollo sostenible y asentamientos humanos. Proyecto evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe. CEPAL/Gobierno de los países bajos. Santiago de Chile.
- Garkovenko R. V., Shatalov A. T., Novik I.V. 1977. La sociedad y la naturaleza: principios de interacción. Editorial de Ciencias Sociales. La Habana.
- German Advisory Council on Global Change. 1994. World in transition. The Threat to soils. 1994 Annual Report.
- Henaó J. E. 1996. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás. Centro de enseñanza desescolarizada. Bogotá.
- Heylighen, F. and Joslyn, C. 1992. What is Systems Theory? In: Heylighen, F., Joslyn, C. and Turchin, V. (eds): Principia Cybernetica Web (Principia Cybernetica, Brussels), URL: <http://pespmc1.vub.ac.be/SYSTHEOR.html>.
- IGAC. Subdirección de agrología. 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Cundinamarca. Tomo I, II y III.
- Kasperson, J.X., Kasperson, R.E. and Dow, K. 2001. Global Environmental Risk. Earthscan, Tokyo: United Nations University Press.
- León T., Guzmán F., Cortés C. Pinzón C. 2006. Características del medio natural del Páramo de Guerrero. Documento síntesis.
- Lüdeke M.K.B., Moldenhauer O., Petschel-Held G. 1999. Rural poverty driven soil degradation under climate change: the sensitivity of the disposition towards the Sahel Syndrome with respect to climate. *Environmental Modeling and Assessment* 4 315-326.
- Martínez Coll, J. C. 2001. "El desempleo" en La Economía de Mercado, virtudes e inconvenientes. Edición de 26 de noviembre de 2004. <http://www.eumed.net/cursecon/14/index.htm>
- Martínez, L. J. 2006. Modelo para evaluar la calidad de las tierras: caso del cultivo de la papa. En imprenta.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Departamento administrativo nacional de estadística. 2002. I Censo nacional del cultivo de papa. Departamento de Cundinamarca. Primer documento, separatas No. 2 y No.3.
- Molano B. J. 2000. Los páramos en la declinación del siglo XX. En páramos y bosques de niebla. Censat Agua Viva.
- Molano B. J. 2005. Análisis sociocultural y geopolítico de los páramos. Quinta Conferencia Nacional de Páramos. Inzá, Cauca.
- Muñoz J. D., Martínez, L. J., Giraldo R. 2005. Análisis de relaciones espaciales entre variables edáficas y agronómicas. Memorias semana de Geomática. Agosto 8 al 13. Bogotá.
- Nebel B. J., Wright R. T. 1996. The Way the World Works. Environmental Science. Prentice Hall. Quinta edición.
- Petschel-Held G., Block, A. Cassel-Gintz M., Kropp J., L'udeke M.K.B., Moldenhauer O., Reusswig F. y Schellnhuber H.J. 1999. Syndromes of Global Change: a qualitative modelling approach to assist global environmental management. *Environmental Modeling and Assessment* 4 (1999). P. 295-314
- Pulido C. E. 1988. Génesis y evolución de los suelos de los páramos de Sumapaz, Chingaza y Guerrero. Suelos Ecuatoriales. Volumen XVIII, No. 2.
- Quiroga R. 2001. Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: Estado del arte y perspectivas. División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos. Santiago de Chile.
- Quiroga R. 2002a. Información y Participación en el Desarrollo de la Sustentabilidad de América Latina.
- Quiroga R. 2002b. Indicadores de Sustentabilidad. Experiencia mundial y desafíos para América Latina.. Seminario Indicadores de Desarrollo Sos-

- tenible para la República Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (Presentación en [www.medioambiente.gov.ar/acciones/seminario\\_indicadores\\_sustentables/I\\_taller/default.htm](http://www.medioambiente.gov.ar/acciones/seminario_indicadores_sustentables/I_taller/default.htm))
- Rabinovich, J., Torres, F. 2004. Caracterización de los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de Argentina. Proyecto “Evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe” (ESALC) División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.
- Ramos J. P. y Martínez L. J. 2005. Aplicación de la lógica difusa en la clasificación de aptitud de suelos para el cultivo de papa. Investigación realizada como parte del proyecto “modelo para evaluar la calidad de las tierras dedicadas al cultivo de papa. Financiado por SENA-COLCIENCIAS-UNAL (DIB).
- Rivera. E. S. 1992. Neusa 9000 años de presencia humana en el páramo. Fundación de investigaciones arqueológicas Nacionales. Banco de la República. No. 52,
- Rodríguez, P. F. Fundamentos de la inteligencia artificial. En <http://www.monografias.com/trabajos10/trabajos/trabajos.shtml>.
- Roehrig J. y Gunter Menz. 2005. The determination of natural agricultural potential in Western Africa using the fuzzy logic based marginality index. EARSel eProceedings 4, 1/2005.
- Sarmiento C. I. y Alzate A. B. 2004. Análisis espacial de la transformación de las selvas del Piedemonte Amazónico Colombiano. Sector Parque Nacional Natural. Alto Fragua Indi Wasi. Instituto de Etnobiología. Primera Edición.
- Schellnhuber H., Block Arthur, Cassel-Gintz M., Kropp J., Lammel G., Lass W., Lienenkamp R., Loose C., Ludeke M., Moldenhauer O., Petschel-Held G., Plochl M., Reusswig F. 1997. Syndromes of Global Change. GAIA 6(1): 19-34.
- Schellnhuber, H.J. 1998. Earth System Analysis: The Scope of the Challenge. En: Schellnhuber H.J. and Wenzel, V. (eds) Earth System Analysis. Integrating Science for Sustainability, Springer, Heidelberg.
- Schirnding, Y.v. 2002. Health in Sustainable Development Planning: The Role of Indicators . World Health Organization, Geneva.
- Schuschny, A. R. Y Gallopín G. C. 2004. La distribución espacial de la pobreza en relación a los sistemas ambientales en América Latina. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. CEPAL.
- SIAC - Sistema de Información Ambiental de Colombia. 2002. Primera Generación de la Línea Base de la Información Ambiental de Colombia. IDEAM, SINCHI, IAvH, IIAP, INVEMAR.
- Tudela F. 2004. Los síndromes de sostenibilidad del desarrollo. El caso de México. Proyecto “Evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe”. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Santiago de Chile. Naciones Unidas. CEPAL.
- Turner, II B.L., Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Tuchman-Mathews, J. and Meyer, W.B. (eds.) 1990. The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years . Cambridge University Press, Cambridge.
- UN Commission on Sustainable Development 1996. Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies. New York: United Nations.
- UN Commission on Sustainable Development 2003. CSD Theme Indicator Framework. New York: United Nations. Consultada en [http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isdms2001/table\\_4.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/isdms2001/table_4.htm).
- Vega, L. 2005. Hacia la sostenibilidad ambiental del desarrollo. Construcción de pensamiento ambiental práctico a través de una política y gestión ambiental sistémica. Ecoe ediciones.
- Villamil V. J. 2005. Ponencia Contexto Nacional e Internacional en el que se Desarrolla la Territorialidad de la Alta Montaña. Quinta Conferencia Nacional de Páramos. Inzá, Cauca.
- WBGU 1997. World in Transition: The Research Challenge . Annual Report of the German Advisory Council on Global Change (WBGU). Springer, Berlin.
- WBGU. 1999. World in Transition: Conservation and Sustainable Use of the Biosphere. Earthscan Publications Ltd. London and Sterling, VA.
- Worboys M. y Duckham Matt. 2004. Gis a computing perspective. Second edition. CRC Press.
- Zadeh L. A. 1973. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, , IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-3, No 1. Pag 28-44



# Anexo 1. Técnicas de SIG y Percepción Remota

En este anexo se presenta la descripción general sobre las técnicas de procesamiento digital de imágenes de satélite empleadas en el análisis de dinámica de la cobertura vegetal y el uso del suelo en la zona de Páramo de Guerrero. También se describen las funciones de análisis y de modelamiento espacial empleadas en la generación de indicadores sistémicos o de tercera generación, a través de la herramienta del software SIG.

El presente anexo es únicamente descriptivo, no pretende explicar a profundidad en qué consiste cada técnica o función. Su espíritu es el de ilustrar a los lectores acerca de los métodos y técnicas usados en esta parte del trabajo. Los detalles de cada técnica pueden ser consultados en las ayudas ON LINE del software ERDAS, ARCVIEW<sup>1</sup> e IDRISI que fueron los empleados.

## 1.1 Correcciones geométricas de las imágenes

Estas correcciones abarcan los errores ocasionados, principalmente por la geometría de la tierra. Las imágenes fueron orto-rectificadas (para corregir deformaciones) y posteriormente georreferenciadas, de acuerdo con la proyección:

Projection Type:	Transverse Mercator
Spheroid Name:	International 1909
Datum Name:	Bogota Observatory
Scale factor at central meridian:	1.000000
Longitude of central meridian:	74:04:51.300000 W
Latitude of origin of projection:	4:35:56.570000 N
False easting:	1000000.000000 meters
False northing:	1000000.000000 meters

1 Esri GIS and mapping software. <http://www.esri.com/>. Versión 3.2.

## 1.2 Procesamiento de imágenes satelitales de las décadas del 70, 80, 90 y 2004

El procesamiento para las imágenes satelitales SPOT de alta resolución y Landsat MSS, se realizó en el software ERDAS<sup>2</sup> e IDRISI<sup>3</sup>. Consistió en aplicar varias técnicas, divididas en los siguientes grupos:

1. Realces espaciales, radiométricos y espectrales
2. Análisis de perfiles espectrales de coberturas y contrastes
3. Composiciones a color de bandas originales, componentes principales y bandas con realces espaciales
4. Clasificaciones no-supervisadas y supervisadas, que abarcaron los siguientes pasos:
  - a. Definición de firmas espectrales
  - b. Evaluación de firmas espectrales
  - c. Procesamiento de la clasificación
  - d. Evaluación de la clasificación resultante
  - e. Corrección de clases y edición raster de sitios de confusión
  - f. Aplicación de máscaras de nubes y complementación con otros datos

Los ejemplos de imágenes resultantes al aplicar las técnicas por cada grupo (tabla de imágenes), se toman para la imagen SPOT-5 de 2004; la más reciente utilizada en el estudio.

### 1.2.1 Realces espaciales, radiométricos y espectrales

Se llevaron a cabo para el reconocimiento y separación más enfática de coberturas vegetales y unidades de uso del suelo. Para los realces espaciales se usaron dos técnicas: la de filtros de convolución y la de "Crisp". El filtro de convolución aplicado fue el de "edge enhancement", con el fin de definir los bordes de vías, infraestructuras, estructuras geológicas, geoformas, bordes de bosques plantados, entre otros. El de "crisp" facilitó afinar la luminancia de las imágenes sin distorsionar el volumen temático de éstas.

2 ERDAS imagine 8.5. Geographic imaging made simple [www.erdas.com](http://www.erdas.com). Leica geosystems.

3 Clark Labs. Clark University. [www.clarklabs.org](http://www.clarklabs.org). Versión usada: IDRISI Kilimanjaro.

Dentro de los realces radiométricos fueron aplicados ecualización de histogramas e inversión de brillo. La primera, con el fin de diferenciar clases con alta frecuencia de valores ND en las imágenes y la segunda con el fin de develar áreas bajo sombra y bajo el humo, ocasionado por quemas efectuadas en el momento de toma de las imágenes.

Fueron usados varios realces espectrales. Entre ellos se cuenta: Componentes principales, índices de vegetación y composición natural. Los primeros permitieron descartar la información redundante multiespec-

tral, para visualizar los datos menos correlacionados o los de mayor variabilidad. Estas componentes generadas se visualizaron a través de una composición a color, para observar diferencias entre coberturas de respuesta espectral similar. Los índices de vegetación permitieron observar distribución de vegetación de diversa reflectancia y de suelos desnudos. También permitió discriminar la vegetación con base en su humedad, usando la banda del infrarrojo medio. La composición natural ayudó a separar la vegetación natural de los pastos y los cultivos de diversos estadios de desarrollo.

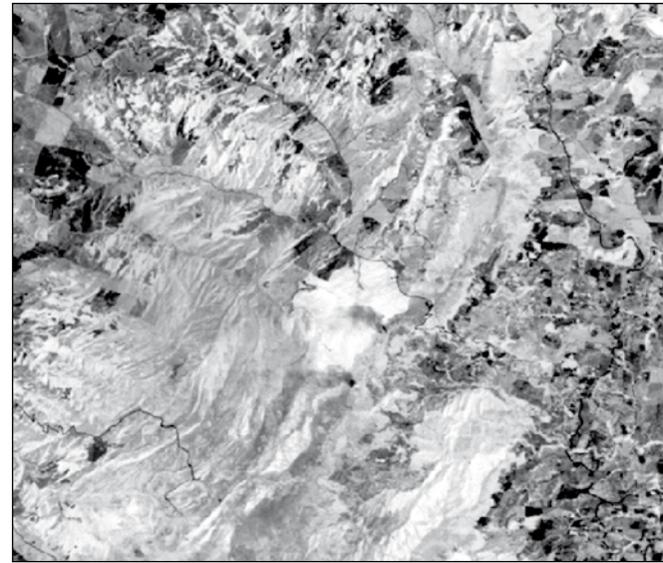
**Tabla de imágenes**

IMAGEN ORIGINAL	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO APLICADA
	 <p data-bbox="1292 1284 1661 1308">Filtro de realce "edge enhancement"</p>

TÉCNICA DE PROCESAMIENTO APLICADA



Realce espacial con "crisp"



Reversa de brillo. Puntos rojos son quemas



Ecuilización de histogramas



Componentes principales (1,2,3)\*



Índice de vegetación normalizado (banda4-banda3/banda4+banda3)\*



Composición de color natural (3,2,1)

(\*Las bandas a las que se hace referencia corresponden a la banda 1= Verde; banda 2 = Rojo; banda 3 = IR cercano y banda 4 = IR medio.)

### 1.2.2 Análisis de comportamiento espectral de las coberturas y realces

Se realizó a través de la generación de perfiles espectrales y de histogramas de valores de datos ND (números digitales).

El análisis espectral permitió realizar la definición más precisa de coberturas vegetales de diversa densidad, altura y condiciones de humedad; además discriminar suelos descubiertos y cultivos de papa de crecimiento diverso. A continuación se presentan algunos perfiles e histogramas para las coberturas de la zona de interés.

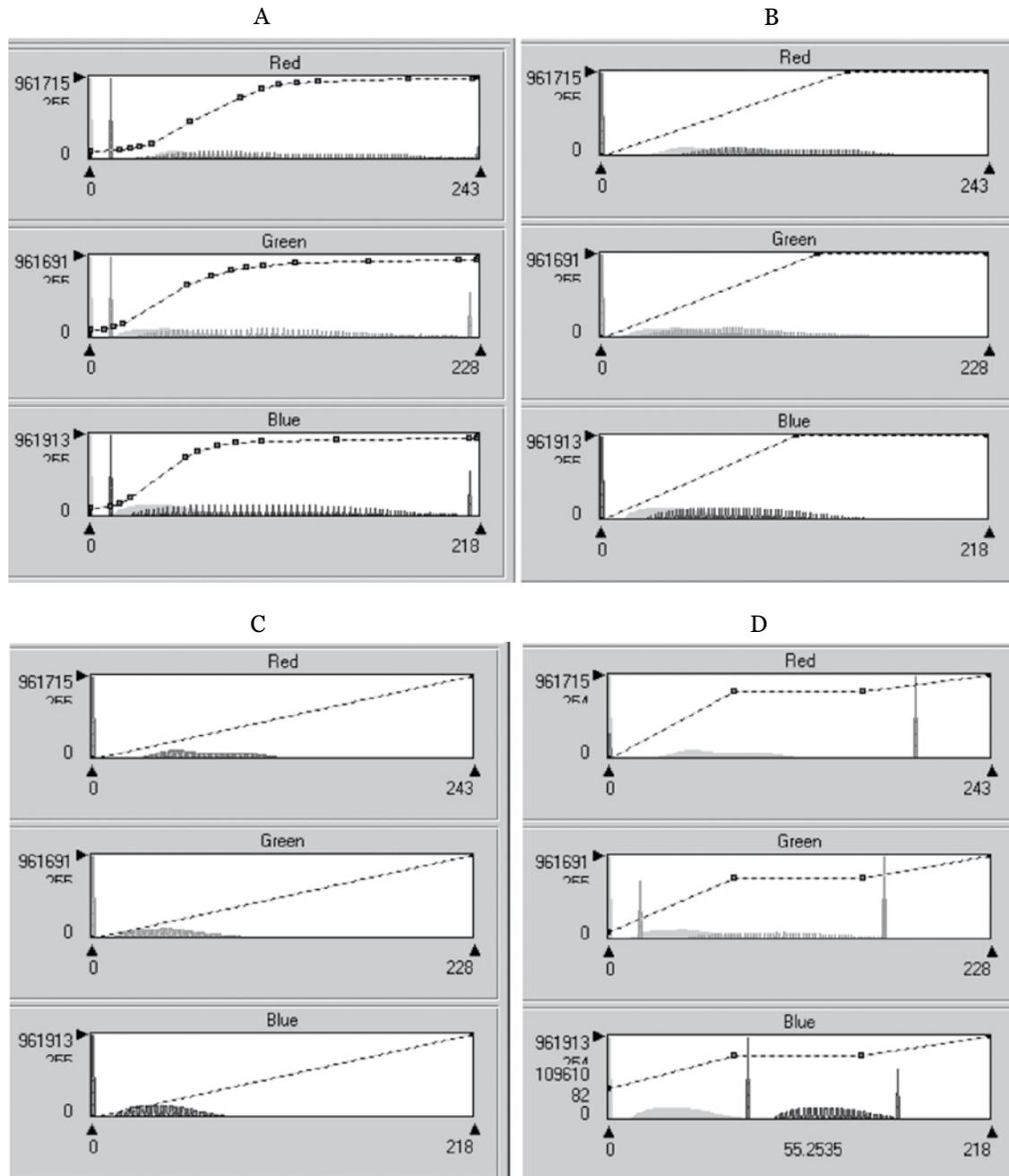
Algunos estiramientos de los histogramas fueron aplicados, con el fin de mejorar los contrastes de las imágenes y facilitar la discriminación de coberturas.

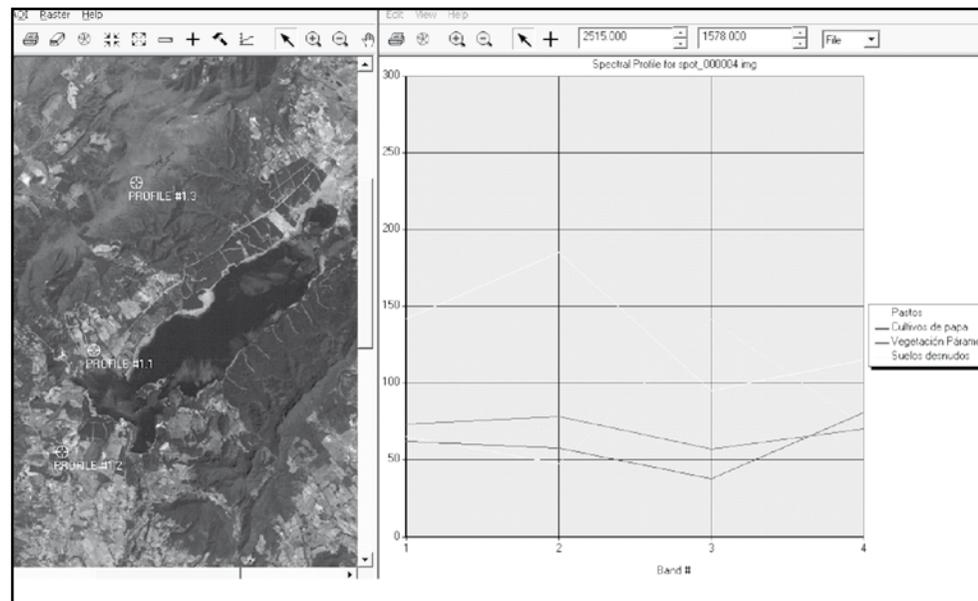
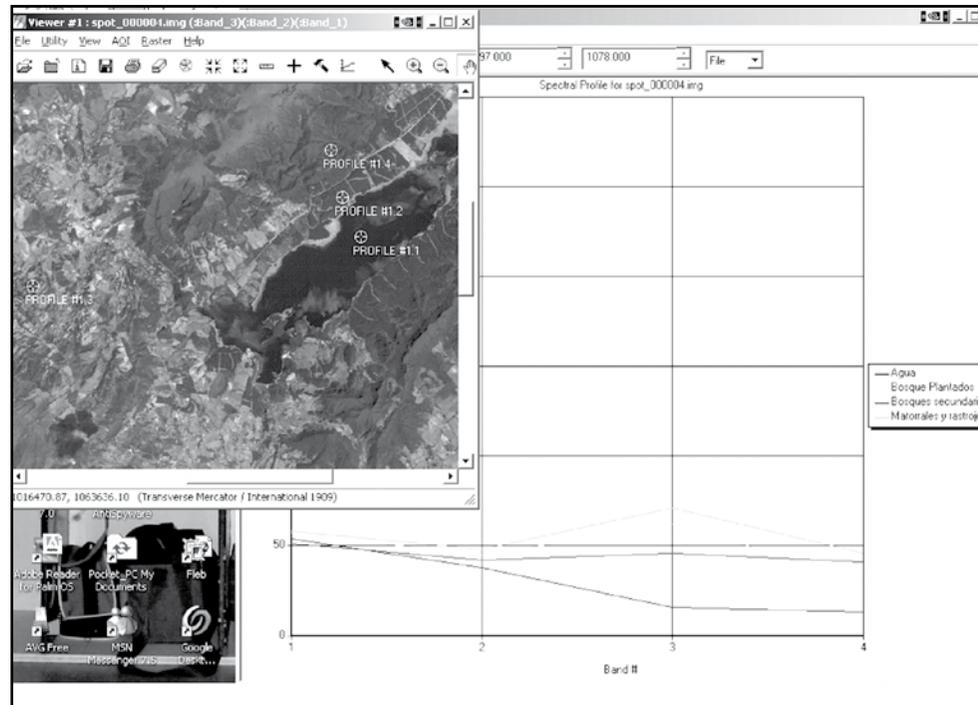
### Histogramas y firmas espectrales por bandas

En las figuras puede observarse los estiramientos para las bandas roja, verde y azul (3,2,1) respectivamente:

- Contraste por eualización
- Contraste por desviación estándar
- Contraste lineal
- Contraste por piezas

A continuación se presentan los perfiles espectrales para varias coberturas detectadas en la imagen. El perfil muestra el valor ND (en el eje de las Y) por cada banda analizada (1,2 y 3) – en el eje de las X.





### 1.2.3 Composiciones a color de bandas originales, componentes principales y bandas con realces espaciales

Se utilizaron para diferenciar las coberturas en forma más óptima. Algunos ejemplos de estas composiciones se presentaron en la primera tabla. La diferenciación en este caso se logró a través del color, donde cada uno de ellos representa una combinación diversa de niveles de rojo, verde y azul, de acuerdo con las diferencias de reflectancia de las coberturas en distintos rangos del espectro electromagnético. Estas composiciones, junto con las firmas espectrales sirvieron para reconocer las coberturas y determinar las diversas muestras de entrenamiento para la siguiente etapa.

### 1.2.4 Clasificaciones espectrales

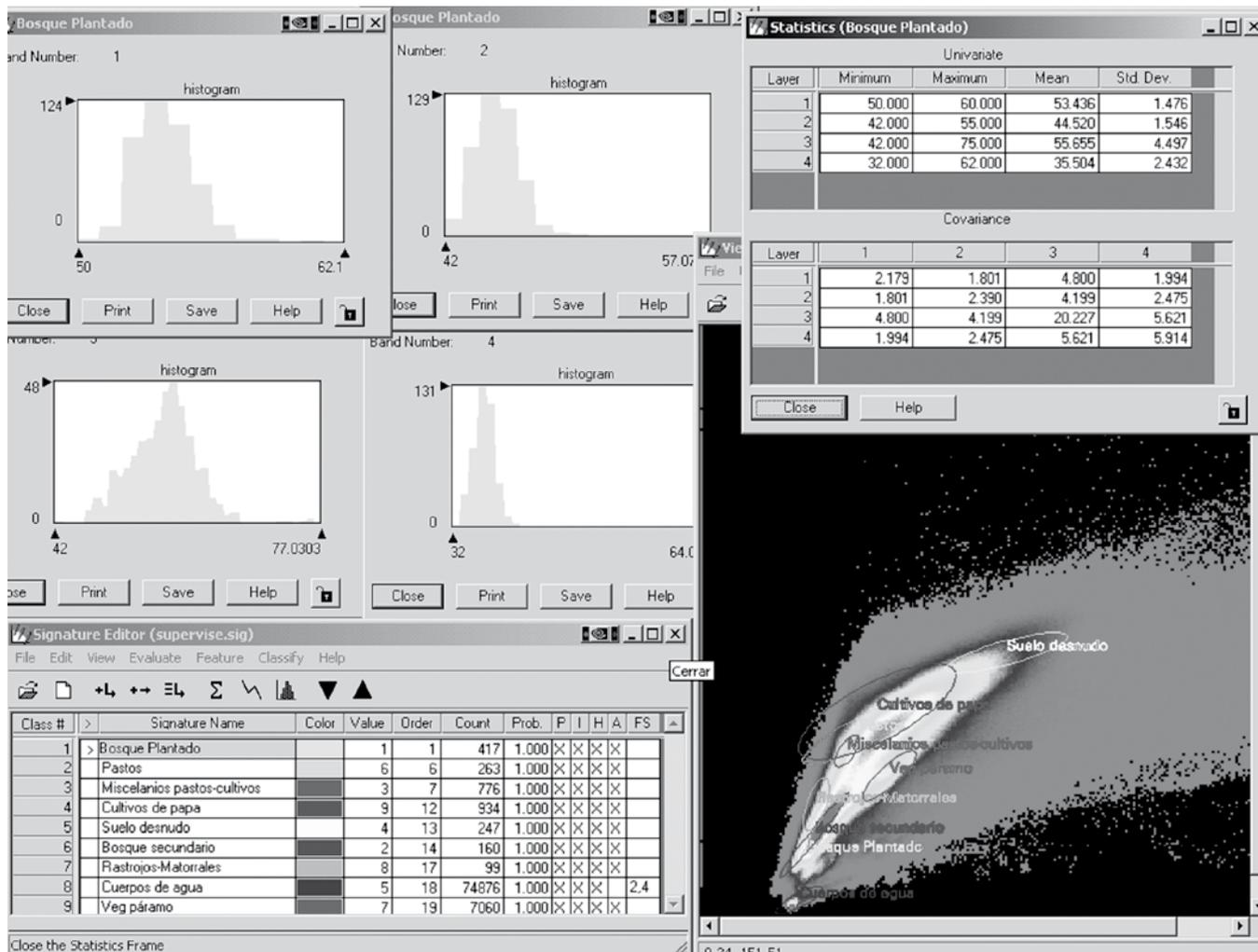
Las clasificaciones persiguieron diferenciar las unidades de uso y cobertura vegetal en la imagen, con el fin de obtener una zonificación para el área de interés. Los resultados obtenidos usaron un híbrido de dos tipos de clasificación: la no-supervisada y la supervisada. Al final las unidades obtenidas son una mezcla de resultados parciales de estos dos tipos de técnicas.

#### 1.2.4.1 Clasificación supervisada

El procesamiento digital en esta etapa abarcó varios aspectos:

- Definición de firmas espectrales: en esta etapa se obtuvieron las muestras de entrenamiento que permitieran al sistema reconocer cada una de ellas como clases, de entre las cuales debería haber una

selección para la asignación de cada uno de los píxeles de la imagen. A continuación se muestra el cuadro de firmas inicialmente obtenidas a partir de dos métodos: el de polígonos de áreas de interés (AOI) y el de espacio de rasgos "feature space". Para este último fue generado un "scatter" en un espacio bidimensional para diversas combinaciones de bandas, en las cuales se evaluó la mejor definición espacial de las muestras (se probó con agua, nubes y vegetación de páramo). El agua fue especializada en el "scatter" de bandas de combinación 2 y 4 y la vegetación de páramo en la de 2,3.



b. Evaluación de firmas espectrales: esta evaluación se efectuó a partir de la construcción de histogramas por cada muestra de entrenamiento y la revisión de sus estadísticas. Así mismo se utilizó el método de máscara (con base en el algoritmo de paralelepípedo) para las muestras de “feature space”, apreciando su coincidencia con la clase, desplegada en la composición a color de la imagen. Otro método usado fue la graficación de las elipses en la combinación bidimensional de bandas, evaluando las mejores combinaciones para las separaciones de firmas espectrales. Esto se muestra en la siguiente figura.

También se utilizó la matriz de contingencia de firmas espectrales, con el fin de analizar los porcentajes de píxeles de cada clase que quedaron clasificados correctamente. Esta matriz se presenta más abajo.

La separabilidad de las muestras de entrenamiento fue analizada con base en la medición de la distancia de las firmas espectrales en diversas combinaciones de bandas, bajo los métodos de distancia euclidiana, divergencia y divergencia transformada. Ver los resultados de este proceso estadístico más adelante.

Algunas muestras de entrenamiento fueron modificadas, fusionadas o reemplazadas por otras nuevas, después de realizada esta evaluación.

Al final se obtuvieron nueve muestras con las cuales se corrieron los algoritmos de clasificación final.

La mejor separabilidad se consiguió con las bandas 1,2 y 4, con las cuales se corrió la clasificación.

Matriz de Contingencia de muestras de entrenamiento (en porcentajes)

ERROR MATRIX				
Classified Data	Reference Data			
	Bosque Fla	Pastos	Miscelaneo	Cul
Bosque Fla	57.60	0.00	0.00	
Pastos	0.00	100.00	0.13	
Miscelaneo	0.00	0.00	99.87	
Cultivos d	0.00	0.00	0.00	
Suelo desn	0.00	0.00	0.00	
Bosque sec	1.92	0.00	0.00	
Rastrojos-	0.48	0.00	0.00	
Cuerpos de	0.00	0.00	0.00	
Veg páraao	0.00	0.00	0.00	
Column Total	417	263	776	

Classified Data	Reference Data			
	Suelo desn	Bosque sec	Rastrojos-	Veg
Bosque Fla	0.00	3.75	0.00	
Pastos	0.00	0.00	0.00	
Miscelaneo	0.00	0.00	0.00	
Cultivos d	1.62	0.00	0.00	
Suelo desn	58.38	0.00	0.00	
Bosque sec	0.00	94.38	2.02	
Rastrojos-	0.00	1.88	97.98	
Cuerpos de	0.00	0.00	0.00	
Veg páraao	0.00	0.00	0.00	
Column Total	247	160	99	

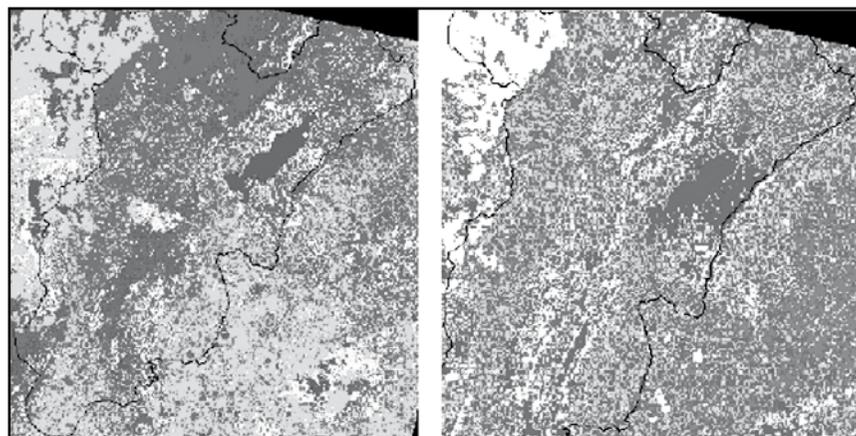
Separabilidad de muestras de entrenamiento, con base en la medición de distancia por el método de divergencia transformada y la combinación de tres bandas.

Best Miniuma Separability									
Bands	AVE	MIN	Class Pairs:						
			1: 2	1: 3	1: 4	1: 5	1: 6	1: 7	1: 8
			1: 9	2: 3	2: 4	2: 5	2: 6	2: 7	2: 8
			2: 9	3: 4	3: 5	3: 6	3: 7	3: 8	3: 9
			4: 5	4: 6	4: 7	4: 8	4: 9	5: 6	5: 7
			5: 8	5: 9	6: 7	5: 8	6: 9	7: 8	7: 9
			8: 9						
1 2 4	1998	1937	2000	2000	2000	2000	1937	2000	2000
			2000	1997	2000	2000	2000	2000	2000
			2000	1998	2000	2000	2000	2000	2000
			2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
			2000	2000	1997	2000	2000	2000	2000
			2000						

Best Average Separability									
Bands	AVE	MIN	Class Pairs:						
			1: 2	1: 3	1: 4	1: 5	1: 6	1: 7	1: 8
			1: 9	2: 3	2: 4	2: 5	2: 6	2: 7	2: 8
			2: 9	3: 4	3: 5	3: 6	3: 7	3: 8	3: 9
			4: 5	4: 6	4: 7	4: 8	4: 9	5: 6	5: 7
			5: 8	5: 9	6: 7	5: 8	6: 9	7: 8	7: 9
			8: 9						
1 2 4	1998	1937	2000	2000	2000	2000	1937	2000	2000
			2000	1997	2000	2000	2000	2000	2000
			2000	1998	2000	2000	2000	2000	2000
			2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
			2000	2000	1997	2000	2000	2000	2000
			2000						

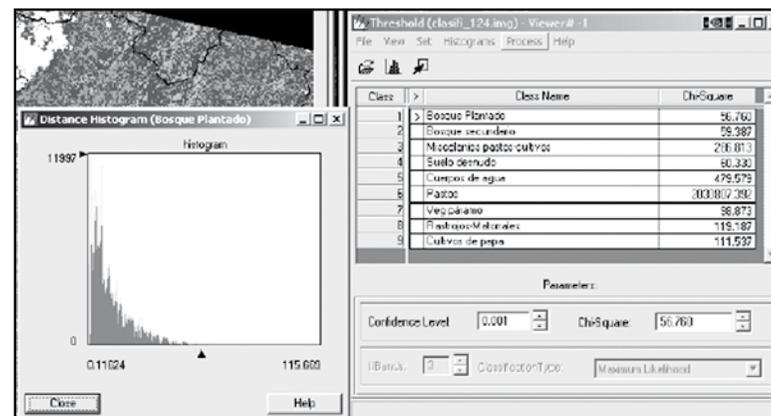
- c. Procesamiento de la clasificación: Fueron probadas varias reglas de decisión para la clasificación. Entre ellas se cuenta: para la clasificación no-supervisada la de “isoclust”. Para la clasificación supervisada: la no paramétrica uso la de “feature space”; la paramétrica empleó las reglas de máxima verosimilitud, Mahalanobis y distancia mínima. En las figuras puede compararse la clasificación supervisada obtenida con la regla de decisión de máxima verosimilitud, combinando las bandas 1,2 y 4 y la clasificación no-supervisada de nueve clases.



*Determinación gráfica de valor umbral para el cálculo del chi-cuadrado y del nivel de confidencialidad, en la evaluación de la clasificación supervisada*

- e. Corrección de clases y edición raster de sitios de confusión: Allí donde el umbral mostró pixeles con problemas de clasificación, fue realizada una edición para asignar dichos pixeles a otras clases. Para esto se usó la utilidad “flicker” sobreponiendo la clasificación a la composición a color de la imagen original y reasignando valores a los pixeles. Algunas clases fueron adheridas a la clasificación, producto del procesamiento no-supervisado.
- f. Aplicación de máscara de nubes y complementación con otros datos: Fue aplicada la máscara de nubes, la cual se extrajo de la composición a color de componentes principales; se recortó la clasificación con el polígono límite del área de estudio y se complementaron, con los mapas existentes de uso y cobertura vegetal, aquellas zonas que quedaron sin información, pues los límites de la imagen no las alcanzaron.

- d. Evaluación de la clasificación resultante: La clasificación resultante se evaluó con la utilidad de “thresholding” – umbral, la cual determina cuáles pixeles en la imagen obtenida, tienen una gran probabilidad de estar clasificados incorrectamente. Para ello se definió una distancia umbral para cada clase. Los pixeles cuyos ND son mayores que ese umbral definido, fueron reasignados a un valor de cero. El umbral se definió gráficamente a partir del histograma de cada firma espectral, después de lo cual el programa calcula automáticamente el valor del chi-cuadrado y el nivel de confianza. Esto se muestra en la siguiente figura.



*1.2.4.2 Clasificación no – supervisada*

Esta clasificación partió de analizar los picos de los histogramas multidimensionales, generados por las diversas bandas de entrada (en este caso seis) con el fin de determinar los “cluster”, que posteriormente son identificados como coberturas. La división entre “cluster” se realiza por los puntos intermedios entre los picos. Un pico, bajo este esquema, sería una clase de cobertura donde la frecuencia es mayor que la de todos sus vecinos (ayuda en línea del software IDRISI).

Ella fue empleada en el presente estudio como una primera aproximación para dividir coberturas de diversos tipos. Con esta división fueron creadas muestras de entrenamiento, las cuales se analizaron gráfica y estadísticamente, con el fin de detectar confusiones y coberturas susceptibles a mayor error en su localización espacial.

En algunas ocasiones se utilizaron clases diferenciadas con la clasificación no-supervisada o con el algoritmo de paralelepípedo (el caso de nubes).

### **1.3 Procesamiento de mosaicos fotográficos de las décadas del 40, 50 y 60**

Las fotografías aéreas fueron primero georreferenciadas y posteriormente unidas para construir los mosaicos. Para cada fotografía fue aplicado un realce que permitiera obtener las tonalidades más cercanas a las otras, con el fin de producir una imagen homogénea en la que se escondieran, lo mejor posible, las líneas de empate entre una y otra foto.

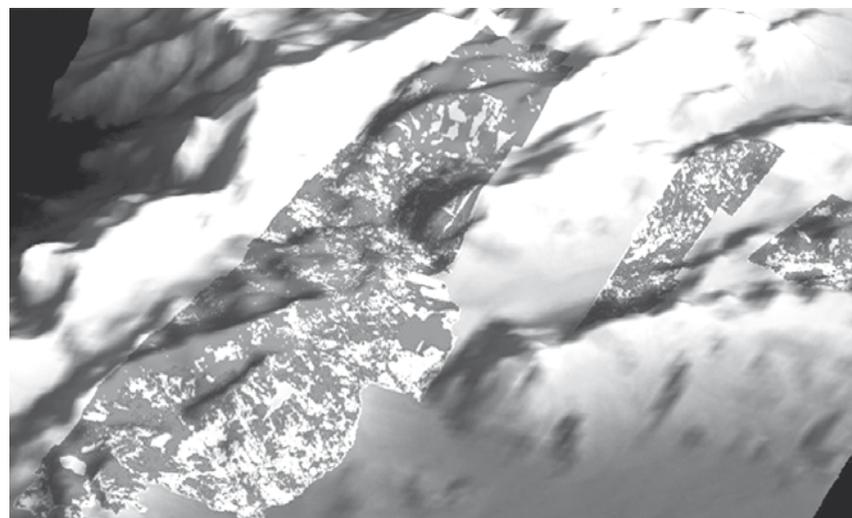
Una vez unidos los mosaicos, ellos se recortaron por el área común de estudio. Cada mosaico fue después dividido en tres zonas, que representan el cambio de altura, donde es más posible pasar del ecosistema de bosque Alto Andino al de páramo. La primera altura usada fue hasta los 2900 metros, después hasta los 3300 y las mayores de 3300. A cada franja se le corrió una clasificación no-supervisada, después de la cual se reagruparon las clases para que correspondieran con cobertura vegetal (incluidos los bosques), intervención (cultivos, pastos) y páramos como tal. En algunas ocasiones a alguna de las clases producto de la clasificación no-supervisada se asignó un valor diferente a los mencionados, con el fin de reasignarlo posteriormente a alguna de las clases estipuladas, pues presentaba confusión con dos de ellas.

Para la interpretación de mosaicos, fue útil emplear el despliegue en 3D que ofrecen los software de procesamiento, con el fin de decidir los límites entre bosque y páramo. En la figura se muestra cómo estas herramientas de despliegue son de gran ayuda. Después fueron comparados los resultados de una y otra fechas, con el fin de verificar la consistencia de la interpretación y realizar las correcciones donde se encontraron problemas.

### **1.4 Técnicas de Análisis de cambio en el tiempo para las décadas consideradas**

#### **1.4.1 Calibración de imágenes de las dos fechas**

Esta función fue empleada para ajustar las características numéricas de unas imágenes con las de las otras. De esta forma se redujeron las diferencias, ocasionadas por los diversos sensores. Dicha calibración se realizó excluyendo



Vista 3D para la interpretación del mosaico fotográfico del 40

algunas áreas, las cuales dificultaban el proceso. Para ello, se creó una máscara con las nubes para ambas fechas.

La imagen de referencia es considerada la variable dependiente y la de entrada, la independiente. Con los valores de ellas se calculó una regresión lineal. La pendiente de la ecuación de regresión es la ganancia y el intercepto Y es el desplazamiento. La imagen de entrada es multiplicada por la ganancia; el desplazamiento, es adicionado al resultado, para producir una imagen de salida. La imagen de salida es una imagen de referencia predicha, o sea lo que la imagen de referencia sería, si no hubiese otro cambio que el debido a la ganancia y el desplazamiento del sensor (ayuda del software IDRISI, comando CALIBRATE). Este método de calibración proporcionó resultados óptimos, permitiendo realizar la diferencia entre las imágenes. Esto permitió la extracción de información temática a partir de datos de un mismo significado.

Después de clasificada la imagen de cada fecha, se procedió a realizar el análisis de dinámica por períodos. Los períodos seleccionados fueron 40-50, 50-60, 60-77, 77-88, 88-98 y 98-04.

#### **1.4.2 Análisis de dinámica por períodos**

Para la realización del análisis de dinámica espacial fueron comparadas las mismas coberturas, diferenciadas para las dos fechas estudiadas. Esto se efectuó a través de una función de comparación de valores de clases, cuyo re-

sultado es un nuevo mapa, en el que cada valor representa una combinación dada de dos tipos de coberturas. Cada combinación posee un significado, el cual va a definir las categorías de la dinámica espacial de la zona de interés.

Debido a las diversas condiciones ambientales existentes en el momento de la toma de la imagen, pueden existir números digitales – ND que no corresponden con el comportamiento real de un elemento en la superficie terrestre. Por ello, la clasificación indefectiblemente va a presentar errores. Este método permitió, al mismo tiempo, llevar a cabo una corrección de las combinaciones que aparecen como no-lógicas e incluso de aquellas que aparentan ser lógicas. Algunos de esos errores pudieron ser corregidos a través de la constatación sobre las imágenes de ambas fechas. Igualmente fueron corroboradas las demás combinaciones.

Las clasificaciones corregidas fueron combinadas nuevamente para obtener, a partir de allí, los mapas de dinámica. Estos mapas se obtuvieron a través de la reagrupación de los valores del mapa de combinación, en las siete categorías establecidas.

Estas combinaciones se realizaron en el software ERDAS, bajo la opción MATRIX.

## 1.5 Modelos SIG desarrollados

A continuación se da la base teórica de los modelos implementados en el presente trabajo<sup>1</sup>

### 1.5.1 Modelos de información espacial

Un modelo es el resultado de un proceso de construcción artificial mediante el cual algunos aspectos de un dominio (el dominio fuente) son representados en otro dominio (el dominio destino). El propósito del modelo es simplificar y abstraer el dominio fuente hasta ponerlo en términos de un dominio destino. Todo lo que suceda en el dominio destino puede ser interpretado en el dominio fuente. Un ejemplo simple de un modelo es el simulador de vuelo. En este, objetos del mundo real tales como una aeronave, su panel de control, sonidos, movimientos y el espacio de navegación son simulados en un ambiente artificial. Si un piloto se entrena en este simulador de vuelos, luego puede aplicar sus experiencias adquiridas en este, para pilotear luego una aeronave real.

<sup>1</sup> Extraído de Worboys M. y Duckham Matt. (2004).

De este ejemplo se puede intuir la importancia de que el modelo sea capaz de simular lo más cercanamente posible el dominio fuente y qué tan fácil es pasar de un dominio a otro. El concepto matemático detrás de esta idea es el de *morfismo*. Un morfismo es una función de un dominio a otro que preserva algo de la estructura en la transformación. Un buen ejemplo aquí lo constituyen los logaritmos pues en ellos se toma la estructura multiplicativa de los números y se traduce a una estructura aditiva de los mismos; cualquier resultado en este dominio destino puede ser llevado al dominio fuente mediante la función de transformación inversa (el antilogaritmo en este caso).

Hay dos clases amplias de modelos de información geográfica: los modelos basados en campo y basados en objeto. El modelo basado en campo trata a la información geográfica como un conjunto de distribuciones espaciales. Cada distribución puede ser formalizada como una función matemática que va de un marco espacial (por ejemplo, una grilla regular colocada sobre un modelo idealizado de la superficie de la tierra) a un dominio de atributo (por ejemplo un DTM). De otro lado un modelo basado en objeto trata al espacio como poblado por entidades discretas e identificables cada una con su propia referencia espacial.

#### 1.5.1.1 Modelos basados en campo

La primera tarea a realizar para obtener un modelo basado en campo, es la construcción del marco espacial adecuado. Un marco espacial es una partición de una región del espacio de manera que formen una *teselación* finita de objetos espaciales. En el plano, los elementos del marco espacial serán polígonos. La teselación usada en un marco espacial puede ser regular, tal como una grilla de cuadrados, o irregular, tal como un TIN. La combinación del marco espacial y el campo que le asigna valor a cada una de sus teselas es llamada una capa (layer).

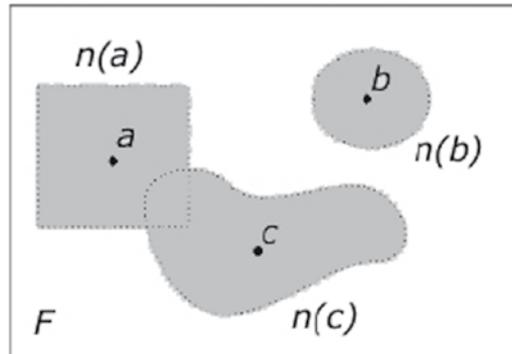
Para definir de manera más precisa el modelo basado en campo, conviene asumir que cada campo en el modelo tiene el mismo marco espacial  $F$  (por su inicial del inglés Framework). De esta manera:

- Un modelo basado en campo que tiene un marco espacial  $F$  consta de un conjunto finito de  $n$  campos espaciales  $\{f_i: 1 \leq i \leq n\}$
- Para  $1 \leq i \leq n$ , cada *campo espacial*  $f_i$  es una función calculable desde el conjunto  $F$  a un dominio de atributo finito  $A_i$ .

En este contexto, es posible definir operaciones entre capas para dar como resultado una nueva. El conjunto de operaciones permitidas por un modelo

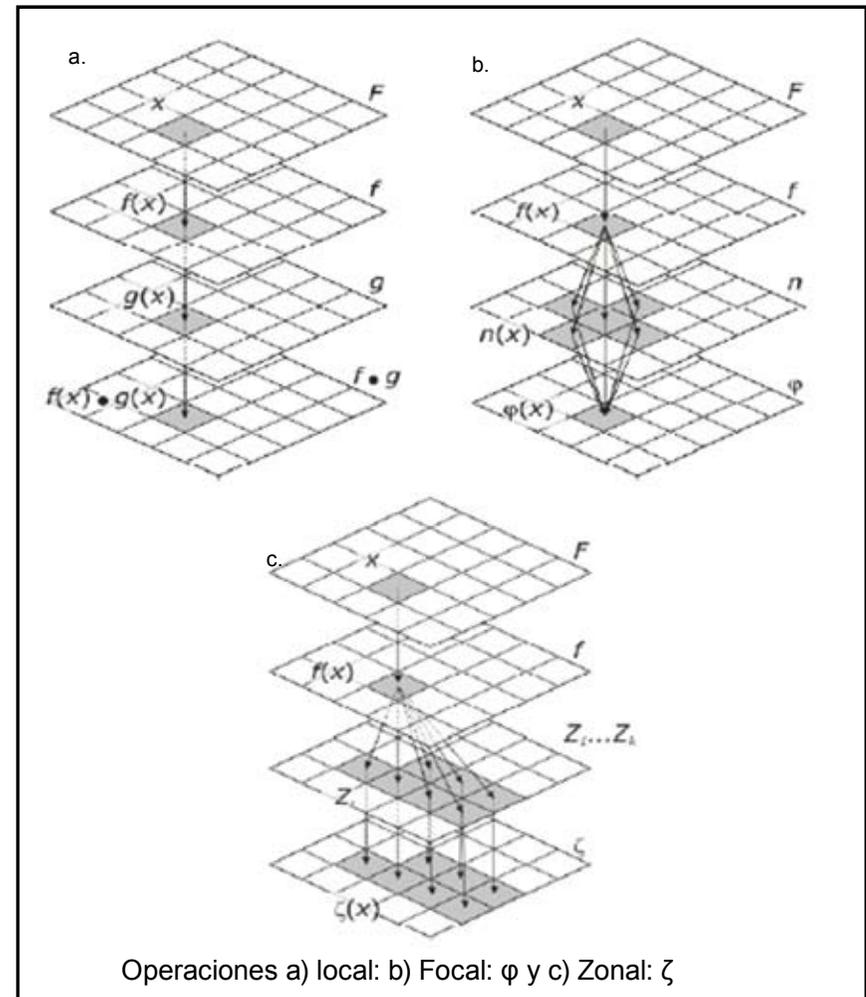
basado en campo se divide en tres clases principales: locales, focales y zonales. Para llevar a cabo estas operaciones frecuentemente es necesario manejar el concepto de función vecindario.

- Dado un marco espacial  $F$ , una *función vecindario*  $n: F \rightarrow P(F)$  es una función que le asocia a cada tesela  $x$  un conjunto de teselas que son cercanas a  $x$ . Donde  $P(F)$  es el conjunto de todos los subconjuntos de  $F$ . En la figura se muestran ejemplos de vecindarios.



Función de vecindario  $n$

Las operaciones locales actúan para cada tesela del marco espacial  $F$  de manera individual, operando sobre varios campos (capas). En las operaciones locales, se actúa sobre un conjunto de teselas vecinas de cada tesela  $x$  de un solo campo y se obtiene el valor del campo de salida asociado con esa tesela  $x$ . En las operaciones zonales, se agregan (suman, promedian, etc) valores de un campo ( $f(x)$ ) sobre cada una de un conjunto de zonas ( $Z$ ) cada una de las cuales define un vecindario de teselas para las cuales se debe tener en cuenta el valor del campo  $f(x)$ .



Operaciones a) local: b) Focal:  $\phi$  y c) Zonal:  $\zeta$

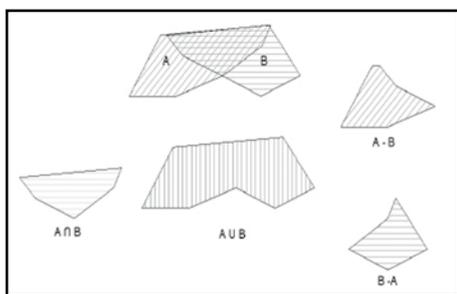
Fuente: Worboys y Duckham, 2004.

### 1.5.1.2 Modelos basados en objeto

Los modelos basados en objeto descomponen un espacio de información en *objetos o entidades*. Una entidad debe ser identificable, relevante y describible. Describible se refiere a que una entidad se describe mediante propiedades estáticas (ej. nombre), características comportacionales (simbología a determinadas escalas) y características estructurales (ubicación del objeto en la estructura general del espacio de información). En el modelo basado en objeto el marco completo de referencia espacial no está distinguido y prescrito sino que es poblado con entidades referenciadas espacialmente de manera independiente; en contraste en el modelo basado en campo se parte de la construcción de un marco espacial fijo  $F$ .

En el modelo basado en objeto los objetos espaciales son llamados “*espaciales*” debido a que existen dentro de un “*espacio*” que los contiene. La especificación de la *espacialidad* de un objeto espacial depende de la estructura de su espacio *contenedor*, aunque la situación más común es considerar que el espacio fundamental es euclidiano y que cada objeto espacial es especificado espacialmente por un conjunto de coordenadas o ecuaciones computables. De esta manera es posible especificar un conjunto de objetos espaciales primitivos a partir de los cuales es posible construir otros más complejos. Aunque se han propuesto diversas clases de objetos primitivos, las primitivas de punto-línea-polígono son las más empleadas.

Las operaciones definidas en el modelo basado en objeto, operan la referencia espacial de dos o más objetos espaciales, con el propósito de generar un nuevo objeto espacial. Existen muchas clases de operaciones entre objetos espaciales; sin embargo las más empleadas son las orientadas a conjuntos; tales como unión, diferencia e intersección.



Intersección, unión y diferencia de polígonos

Para realizar el análisis de dinámica de cambio de la cobertura entre dos fechas dadas, se adoptó un modelo basado en campo (incluir aquí la referencia al anexo sig) en el cual el marco espacial  $F$  se construyó con base en el

conjunto de celdas de las imágenes de satélite de las cuales fueron obtenidas las capas de uso y cobertura mediante el proceso de clasificación. Con base en cada grupo contiguo de teselas de la capa de uso de la fecha anterior que presentaban un mismo valor de uso, se definió una zona de interés para la cual se realizó el análisis de dinámica de cambio. Para cada una de las zonas obtenidas, y con base en operaciones zonales se calculó el porcentaje que de dicha zona representaban cada uno de los usos que en la fecha posterior se encontraban allí.

### 1.5.2 Funciones SIG empleadas

Para los diversos modelos se resumen las funciones SIG empleadas, en cada uno de los dos software usados:

#### 1.5.2.2 Software IDRISI

En este software fueron usadas las funciones de análisis SIG, para soporte en las decisiones y específicamente las funciones de membresía de conjuntos Fuzzy. Con ellas se obtuvieron espacialmente los mapas de valores de membresía difusa (entre cero y uno). Las funciones usadas fueron las sigmoideas, las J-shape y las lineales.

También fue modelado con los valores de pendiente y de longitud para el modelo de erosión. La función empleada fue la de *slope length*, que fue explicada en el texto del informe.

Además se generó el mapa de limitante de la temperatura, con el uso de una función difusa sigmoideal simétrica, con cuatro puntos de control.

#### 1.5.2.2 Software ArcView

En este software fueron realizadas principalmente las operaciones de estadísticas zonales entre mapas y las de operadores booleanos AND y OR y las operaciones algebraicas entre mapas GRID. Con este fin, fue empleado el módulo de ANALYSIS, con las opciones *sumaries zones* y *tabulated Areas*.

La opción de *Reclassify* fue usada para la remodificación de mapas y generación de clases agrupadas y la de MAP CALCULATOR, para realizar las operaciones booleanas y las de sumas y multiplicación entre temas raster.

Para los modelos que requirieron manejo de atributos de capas vector, estos atributos fueron trabajados con la opción TABLES de este software, que permite aplicar operaciones sobre tablas, relacionar temporalmente tablas y hacer cálculos para nuevas columnas.

## Anexo 2. Fotografías e imágenes de satélite

Fotografías aéreas empleadas en el estudio

Número de vuelo	Número de sobre	Número de fotos	Escala
Década del 40			
A211-1:25000-40*	S610	284-289	1:25000
A237-1:25000-41	S699	309-327	1:25000
A139-1:25000-40	S515	380-396	1:25000
A139-1:25000-40	S513	347-360	1:25000
A139-1:25000-40	S516	397-413	1:25000
A237-1:25000-41	S700	328-342	1:25000
Década del 50			
M-46-60-55	S-150	4501-4508	1:60000
M-46-60-55	S-148	4461-4469	1:60000
M-127-60-57	S-237	1821-1825	1:60000
Década del 60			
M-1058-60-61	S699	13377-13369	1:60000
M-1146-60-62	S909	19467-19458	1:60000
M-1058-60-61	S698	13353-13344	1:60000

\* El último número corresponde a la fecha y el penúltimo a la escala

Imágenes satelitales de la zona de estudio

1. Imagen SPOT-5 2004

### Parámetros de la extracción de la escena

**Escena id** 5 646-340 04/02/07 15:34:44 1 J

**K-J identificación** 646-340

**Dato** 2004-02-07 15:34:44.5

**Instrumento** HRG 1

**Nivel de preprocesamiento** 2A

**Modo espectral:** XSI

**Números de bandas espectrales** 4

**Indicador de banda espectral** HI1 HI2 HI3 HI4

**Número de ganancia** 6 6 4 3

**Ganancia de calibración absoluta(W/m<sup>2</sup>/sr/μm)**

1.850019 2.215501 1.318478 6.372000

**Ángulo de orientacion** 12.602083 degree

**Ángulo de incidencia** L10.974119 degree

**Ángulo solar** Azimut: 131.168894 Elevación: 58.629204

**Número de líneas** 7202

**Número de píxeles por línea** 7312

**Localización del centro de la escena:**

**Latitud** N5° 0' 42"

**Longitud** W74° 9' 44"

**Número píxeles** 3618

**Número de líneas** 3594

### Localización de la esquina

Esquina	Latitud	Longitud	Píxeles	Líneas
1	N5 20'13"	W74 22'5"	1333	1
2	N512'57"	W73 49'43"	7311	1331
3	N4 41'7"	W73 56'57"	5984	7200
4	N4 48'22"	W74 29'19"	1	5870

### 2. Imagen SPOT-4 1998

<b>Parámetros de extracción de la escena</b>
<b>Escena id</b> 2 647-340 98-01-02 15:14:55 2 X
<b>Identificación k-f</b> 647-340
<b>Fecha</b> 1998-01-02 15:14:55
<b>Instrumento</b> HRV 2
<b>Nivel de preprocesamiento</b> 2a
<b>Modo espectral</b> XS
<b>Números de bandas espectrales</b> 3
<b>Indicador de banda espectral</b> XS1 XS2 XS3
<b>Número de ganancia</b> 8 8 6
<b>Ganancia de calibración absoluta (W/m<sup>2</sup>/sr/μm)</b>
1.78994 1.42980 1.63850
<b>Ángulo de orientación</b> 8.7 grados
<b>Ángulo de incidencia</b> R 27.1 grados
<b>Ángulo solar</b> azimut: 138.3 Elevación: 52.2
<b>Número de líneas</b> 3489
<b>Número de píxeles por línea</b> 4305

### Localización de la esquina

Esquina	Latitud	Longitud	Píxeles	Líneas
1	N005 19'44	W074 16'33	642	1
2	N005 13'44	W073 36'56	4305	554
3	N004 48'00	W073 23'34	1	2932
4	N004 41'54	W073 43'53	3664	3489

### 3. Imagen SPOT de 1988

Tipo referencia	16463408 1522241x			
Referencia de la escena				
satelite	Reference GN	Datos de adquisición	Incremento	SAT
1	646 340	03/04/1988/15:22:24	1	0
Localización de geográfica				
Esquina NW		NE Esquina		
74° 25'W/5°19'N		Centro 73°52'W/5°14'N		
Sw ESQUINA		SE Esquina		
74°32'W/14°47'N		73°59'W/4°42'N		
Información técnica				
Modo espectral	[x] 20 m c	Orientación de escena	008,6	
Cobertura de nubes (avg)	CDCCCCC ( C )	Calidad de técnica	Excelente	
azimut solar	113,2	ganancia	565	
Elevación del sol	+ 61,0			

### 4. Imagen LANDSAT – MSS DE 1977

Escena	ID2008056007700790
Adquisición	Dato 1977/01/07
WRS-1	Path8
WRS-1	Row56
Número de satélite	Landsat 2
Superior izquierdo	Esquina 44°30"N, 74°51'02"W
Superior derecho	Esquina 6°44'30"N, 73°11'58"W
Inferior izquierdo	Esquina 5°07'27"N, 75°13'52"W
Inferior derecho	Esquina 4°51'25"N, 73°35'52"W
Centro de escena	5°47'59"N, 74°12'59"W
Cobertura de nubes	50%
Calidad de la imagen	5
Calidad de banda	5555
Número de micrófono	2200381016
Técnica de toma	Descendiente ( día)
Estación receptora	AAA
Elevación del sol	40.000000
Azimuth solar	126.000000
Bandas espectrales	Banda 4-7
Resolución espacial	79

