



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
POSTGRADO EN ECOLOGÍA



Diseño de una metodología de ordenamiento ecológico territorial derivada de la teoría ecológica. Caso de estudio a escala 1:60.000: Emplazamiento de la Refinería Petrolera de Cabruta (Faja Petrolífera del Orinoco)

Lic. Juan Carlos Santander Torres

Tesis presentada para optar al título de Doctor en Ecología

Tutor: Dr. José Luis Berroterán N.

Caracas, Enero de 2018



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
COMISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



VEREDICTO

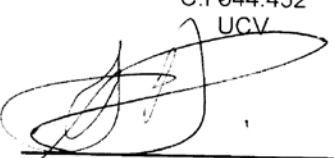
Comisión de Estudios
de Postgrado

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, para examinar la Tesis Doctoral presentado por el Lic. **JUAN CARLOS SANTANDER TORRES**, cédula de identidad N° 14.165.785, bajo el título **“Diseño de una metodología de ordenamiento ecológico territorial derivada de la teoría ecológica. Caso de estudio a escala 1:60.000: Emplazamiento de la Refinería Petrolera de Cabruta (Faja Petrolífera del Orinoco)”**, a fin de cumplir con el requisito legal para optar al grado académico de **DOCTOR EN CIENCIAS, MENCIÓN ECOLOGÍA**, dejan constancia de lo siguiente:

- 1.- Leído como fue dicho trabajo por cada uno de los miembros del jurado, se fijó el día 05 de marzo de 2018 a las 10:00 am, para que la autor lo defendiera en forma pública, lo que este hizo en el Instituto de Zoología y Ecología Tropical, mediante un resumen oral de su contenido, luego de lo cual respondió satisfactoriamente a las preguntas que le fueron formuladas por el jurado, todo ello conforme con lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado.
- 2.- Finalizada la defensa del trabajo, el jurado decidió **APROBARLO**, por considerar, sin hacerse solidario con la ideas expuestas por el autor, conforme a lo dispuesto y exigido en el Reglamento de Estudios de Postgrado.
- 3.- El jurado por unanimidad decidió otorgar la calificación de **EXCELENTE** al presente trabajo por considerarlo de excepcional por ser un trabajo inédito en su área de conocimiento en el país.

Para dar este veredicto, el jurado estimó que el trabajo examinado constituye un aporte significativo en el aspecto metodológico sobre problemas urgentes para la ordenación territorial y empresa petrolera en nuestro país.

En fe de lo cual se levanta la presente ACTA, a los 05 días del mes de marzo del año 2018, conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Estudios de Postgrado. Se deja constancia de que actuó como Coordinador del jurado el Dr. José Luis Berroterán.

 _____ Dr. Santiago Ramos C.I. 644.452 UCV	 _____ Magister Edgar Yarena C.I. 5.531.169 USB
 _____ Dr. Alexis León C.I. 11.550.429 UBV	 _____ Dr. Oscar Abarca C.I. 6.081.164 UCV
 _____ Dra. José Luis Berroterán C.I. 2.518.295 UCV	

Hd

DEDICATORIA

A todos mis seres más queridos

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la perseverancia y capacidad para lograr este objetivo en mi vida.

A la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Doctorado en Ecología, por permitirme ser integrante de esta importante casa de estudios.

Al FONACIT, por el apoyo económico parcial brindado, a través de la Misión Ciencia.

A la UBV, por el apoyo brindado, desde el Laboratorio de Geomatica.

Al Dr. José Luis Berroterán, por haberme dado la oportunidad de elaborar la tesis bajo su dirección y por el apoyo incondicional brindado.

A mi amigo Napoleón J León, por guiarme y apoyarme durante la realización de todo este Trabajo de investigación.

Al Tec. Edgar Mujica, por apoyarme en fase de campo durante la realización de este Trabajo de investigación.

Al Dr. Rafael Ortiz, por apoyarme en fase de campo durante la realización de este Trabajo de investigación.

Al Dr Roschman Gonzales por apoyarme en los cálculos estadísticos.

A Mañiño, por su valiosa colaboración durante los recorridos de campo.

A Herminia Daboin por toda su paciencia y consejos oportunos desde la dirección del postgrado de Ecología.

A los Profesores Víctor Hugo, Lourdes, Diego Rodríguez, Renato de Nobrega, Ismael Hernández, Mauricio Ramia, Marcia Toro, Yadira Rangel, Angel Valera, Rodrigo Lazo y Santiago Ramos por todo su apoyo durante mi fase de colegiatura.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
Planteamiento del problema.	6
1.1. Hipótesis	8
1.2. Objetivos de la Investigación	10
1.2.1. Objetivo General.....	10
1.2.2. Objetivos Específicos.....	10
1.3. Justificación	11
2. Descripción Del Área De Estudio	16
2.1. Localización y delimitación del área de estudio	16
2.1.1. Localización espacial.....	16
2.2. Características físico naturales.....	17
2.2.1 Clima.....	17
2.2.2 Hidrografía	22
2.2.3 Geología	22
2.2.4 Relieve	24
2.2.5 Suelos.....	26
2.2.6 Vegetación	27
2.3. Características Socioeconómicas	27

2.3.1 Población	27
2.3.2 Infraestructura: Vivienda y educación.....	28
2.3.3 Vialidad.....	29
2.3.4 Actividades económicas:	30
3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES.....	31
3.1. Aspectos Conceptuales	31
3.1.1. El enfoque sistémico en la ecología	31
3.1.1.1 Resiliencia, Resistencia, Estabilidad e irreversibilidad. 36	
3.1.1.2. El territorio visto como un sistema abierto y complejo.40	
3.1.1.3. El enfoque sistémico y la ordenación del territorio 42	
3.1.2. Ordenamiento Ecológico Territorial (OTE) como un instrumento de la Gestión Ambiental.	46
3.1.2.1. Planificación como sustento de la Ordenación Territorial	46
3.1.2.2. Ecología del Paisaje y el Ordenamiento Territorial	52
3.1.2.3. Ordenamiento Territorial Ecológico (OTE)	54
3.1.2.4. Ordenamiento Territorial Ecológico como herramienta de gestión ambiental.....	56
3.1.3. Aspectos Metodológicos del Ordenamiento Territorial.....	61
3.1.3.1. Metodologías para ordenamiento territorial	62
3.2. Antecedentes	68
4. MATERIALES Y MÉTODOS	78
4.1. Descripción de la metodología cuantitativa para la delimitación de unidades ecológicas.	78
4.2 Metodología para establecer las relaciones potenciales entre los componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial.....	106
4.2.1 Análisis de correspondencia canónico	106
4.2.2 Sistema socio ecológico	107

4.3. Establecimiento de indicadores de conservación y sostenibilidad de los ecosistemas existentes en el área de estudio.	110
4.3.1 La metodología PER	110
4.3.2 Área de bosque siempre verde y de morichales como indicadores del estado de conservación de los ecosistemas. ...	114
4.4. Evaluación multicriterio. Reglas de decisión para obtener el patrón óptimo de ocupación del territorio.	115
5 RESULTADOS.....	121
5.1 Aplicación de la metodología propuesta:	121
5.1.1 Recorridos de campo	121
5.1.2 Mapa de Vegetación e Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)	124
5.1.3 Fauna presente en área de estudio.....	134
5.1.4 Delimitación de unidades ecológicas según criterios cuantitativos	138
5.1.4.1 Modelo Digital de Elevación (MDE) y Análisis geomorfométrico.....	138
5.1.5 Delimitación de unidades ecológicas según criterios cuantitativos	143
5.1.6 Zonificación de las unidades ecológicas	146
5.1.7 Validación de las unidades	149
5.1.8 Metodologías tradicionales vs metodología propuesta	150
5.1.9 Descripción de las unidades ecológicas.	151
5.2. Relaciones potenciales entre los componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial.	154
5.2.1 Relaciones Suelo-Geomorfología-Vegetación.	154
5.2.2 Relaciones componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial.	161
5.2.3 Relaciones entre las zonas bien drenadas, uso agrícola, industrial y urbano.....	163

5.2.4 Relaciones entre zonas mal drenadas, uso industrial y urbano.....	164
5.3. Indicadores de Conservación y Sostenibilidad de los Sistemas Ecológicos con fines de Ordenamiento	167
5.4 Propuesta de Unidades de Ordenamiento Ecológico Orientado a la Asignación de Usos de la Tierra.	176
6.Consideraciones finales	191
7. CONCLUSIONES.....	195
8. BIBLIOGRAFÍA	198
9. ANEXOS	215

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas presentes en el área de estudio....	21
Cuadro 2. Formaciones Geológicas presentes en el área de estudio.....	24
Cuadro 3. Evolución progresiva de la planificación	48
Cuadro 4. Sistema nacional de planificación venezolana	48
Cuadro 5. Sistemas Ecológicos de los Llanos Centrales.	74
Cuadro 6. Metodología de delimitación de unidades ecológicas usando criterios cuantitativos.....	85
Cuadro 7. Escalas de trabajo propuestas para los niveles categóricos. .	104
Cuadro 8. Listado de especies de tipos de vegetación presentes en el área de estudio, verificada en campo.	129
Cuadro 9. Relación vegetación, textura y suelo según Susach 1989.	132
Cuadro 10. Fauna silvestre presente en el área de estudio	137
Cuadro 11. Definición de variables geomorfométricas para el área de estudio.	140
Cuadro 12. Grupo de variables geomorfométricas usadas en las clasificaciones.....	144
Cuadro 13. Valores del concepto central de cada clase digital de superficie de terreno identificada en el área de estudio.	145
Cuadro 14. Comparación unidades geomorfológicas encontradas a lo largo de una transecta Norte-sur dentro del área de estudio, según diferentes estudios.....	149
Cuadro 15. Descripción las unidades ecológicas presentes en el área de estudio.	153
Cuadro 16. Resultados del análisis de correspondencia canónica.	155
Cuadro 17. Unidades de paisajes, suelos y tipos de vegetación presentes en el área de estudio.....	160
Cuadro 18. Indicadores de conservación y de sostenibilidad de los ecosistemas existentes en el área Morichales y Bosques Ribereños.	167
Cuadro 19. Cambios en la superficie de los diferentes tipos de cobertura presente en el área de estudio, durante los años 1985 y 2003.....	171

Cuadro 20. Cambios en la superficie de los diferentes tipos de cobertura presente en el en el área de estudio, durante los años 2003 y 2016.....	171
Cuadro 21. Cambios en la superficie de los diferentes tipos de cobertura presente en el en el área de estudio, durante los años 1985, 2003 y 2016	172
Cuadro 22. Descripción de las unidades ecológicas	179
Cuadro 23. Indicadores y criterios fragilidad para el área de estudio.....	180
Cuadro 24. Unidades ecológicas de ordenamiento y el uso propuesto según los criterios antes señalados	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Situación Nacional del Área de Estudio.	16
Figura 2. Mapa imagen del área de estudio	18
Figura 3. Mapas de isoyetas del Área de Estudio.	20
Figura 4. Precipitación promedio mensual para el área de estudio.....	21
Figura 5. Estructura jerárquica del sistema de clasificación de ecosistemas (Berroterán 2004b).....	73
Figura 6. Esquema metodológico propuesto.....	79
Figura 7 Mosaico cartas escala 1:25000 Figura 8 Mosaico cartas escala 1:100000.....	86
Figura 9 Mapa topográfico del área de estudio	88
Figura 10. Algoritmo neuro-borroso para la obtención de clases morfométricas	93
Figura 11 Bases teóricas de Solim: S, es una función de los factores ambientales, Cl es el clima, Pm es la materia parental, Og son los organismos y Tp la topografía.....	100
Figura 12. Conceptualización de la delimitación de unidades ecológicas con criterios cuantitativos.....	102
Figura 13. Los flujos, relaciones e interrelaciones o acoplamientos funcionales principales entre los subsistemas de un sistema socio ecológico, Gallopin 2006.....	109
Figura 14. Estructura presión-estado-respuesta	111
Figura 15. Chequeo de cartografía en campo.	121
Figura 16. Mapa base con recorridos de campo	122
Figura 17. Chequeo de vegetación en campo.....	123
Figura 18. Chequeo de mapa de vegetación en campo.....	123
Figura 19. Chequeo de suelo y vegetación en campo	124
Figura 20. Mapa de vegetación del área de estudio	126
Figura 21. Índice de Vegetación (NDVI) del área de estudio	133
Figura 22. Modelo De Elevación (MDE)	139

Figura 23. Variables producto de análisis morfométrico a) Altura, b) CNBL c) ACN y d Pendiente.....	141
Figura 24. Variables producto de análisis morfométrico e) WI f) FLS g) Plano de Curvatura y h) Perfil de Curvatura.	142
Figura 25. Índice de rendimiento borroso.....	143
Figura 26. Mapa de unidades ecológicas delimitadas usando criterios cuantitativos.	147
Figura 27. El ordenamiento de los suelos y la vegetación de acuerdo a los paisajes. Los Círculos negros son las diferentes unidades de paisajes presentes en el área de estudio UP= Unidad de Paisaje. Los triángulos verdes son los diferentes tipos de vegetación V= Vegetación, mientras que los cuadrados amarillos representan el tipo de suelo, S= Suelo.....	156
Figura 28. Sistema Socio-Ecológico Modificado de Gallopín 2006.	161
Figura 29. Sub sistema natural propuesto.....	162
Figura 30. Áreas de emplazamiento de la refinería.....	166
Figura 31. Ámbitos de acción de los indicadores identificados	168
Figura 32. Combinaciones de bandas 3,2,1, a) Color verdadero 1985, b) Color verdadero 2003, c) Color verdadero 2016 de imágenes Land Sat de los años 1985, 2003 y 2016 para el área de estudio.	170
Figura 33. Interpretación no supervisadas Isocluster, d) 1985, e) 2003, f) 2016 basado en imágenes Land Sat de los años 1985, 2003 y 2016 para el área de estudio.	170
Figura 34. Cambios durante los años 1985-2016	175
Figuras 35. Expresión espacial de los indicadores de fragilidad, topografía y conservación para el área de estudio.....	181
Figura 36. Áreas restringidas para el uso petrolero	182
Figura 37 Áreas con potencial agrícola.....	183
Figura 38. Conflictos de usos existentes en el Area.....	188
Figura 39. Usos propuestos para el área de estudio.....	190

RESUMEN

El ordenamiento territorial, a partir de 1999 pasa a tener rango constitucional, a través del artículo 128 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, el cual plantea que el estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas. No obstante, los planes de ordenamiento territorial en el país, han contado con el enfoque ecológico en un porcentaje muy bajo, este solo se ha utilizado en pocos ensayos en parques nacionales y proyectos de investigación realizados por las universidades e institutos de investigación, financiados por el sector petrolero. Los planes de ordenación territorial desarrollados en nuestro país, a su vez, han generado información en campo con el fin de identificar las características los diferentes ecosistemas, su distribución espacial, procesos y potencialidades, usando para ello el juicio de expertos. En este sentido, el objetivo de este trabajo es presentar una metodología usando criterios cuantitativos, como las técnicas de inteligencia artificial, los Sistemas de información Geográfica (SIG) entre otras, que permita identificar y delimitar unidades ecológicas con la finalidad de dar lineamientos de ordenamientos y agilizar el proceso de conformación de usos. Hasta el momento en nuestro país, no existe una metodología que permita obtener de manera integrada, efectiva y operativa la definición de unidades ecológicas de ordenamiento territorial. Lo que hace necesario el diseño y publicación de esquemas metodológicos de ordenamiento territorial derivados de la teoría ecológica y las realidades socioambientales existentes en el área, con una visión sistémica y sinóptica de los componentes del territorio y sus relaciones subyacentes (flujos de energía y materiales, interrelaciones entre elementos, ambientales), necesarias en los proceso de Ordenamiento Territorial y la toma de decisiones. La metodología propuesta y aplicada permitió la delimitación de 12 unidades ecológicas, y asignar uso a las mismas, lo que la convierte en una nueva alternativa para los estudios de ordenamiento territorial con base en la teoría ecológica y la aplicación de técnicas basadas en criterios cuantitativos.

Palabras Claves: Ordenamiento Ecológico, Faja Petrolífera, Refinería.

1. INTRODUCCIÓN

La ecología puede ser vista como la historia de la ciencia; más aún, la historia de todos los saberes: de los saberes “científicos” y de los saberes “populares” de todos y cada uno de los diferentes pueblos que habitan la tierra desde la más remota antigüedad. Y dentro de ellos, particularmente, los saberes de todos los hombres y mujeres (recolectores, cazadores, agricultores, pescadores, entre otros), que en la historia de la humanidad han vivido en estrecho contacto con la naturaleza (Rodríguez Gómez 1997).

Esta ha ampliado progresivamente su objeto de estudio, incursionando con ello el objeto de muchas disciplinas y en diferentes direcciones, pasando de aspectos estructurales o estáticos, hacia los aspectos eco sistémico o dinámico. El estudio de los ecosistemas, el ambiente y el desarrollo, deben ser contemplados interactivamente.

La humanidad ha mostrado a lo largo de su evolución la tendencia a modificar los ecosistemas terrestres y acuáticos. Los seres humanos han formado y transformado paisajes en función de sus necesidades socioeconómicas, siendo los ecosistemas, paisajes urbanos y rurales algunos de los resultados del uso y aprovechamiento de los bienes ambientales.

El estudio de los efectos del asentamientos humanos sobre los ecosistemas, la valoración de los servicios ecosistémicos, o una mayor aceptación social de los esfuerzos de protección, demandan la incorporación de nuevos criterios en los esquemas de planificación del territorio. Gran parte de esta demanda se asocia a la falta de herramientas que permitan considerar los procesos ecológicos en la toma de decisiones y los estudios de planificación territorial.

La planificación del territorio debe ser considerada una parte básica del manejo de los ecosistemas y el manejo de estos debe ser visualizado con una filosofía de gestión que contempla tanto la protección de los hábitats naturales como el ambiente para las actividades humanas productivas. Adicionalmente la estrecha relación entre territorio y uso de la

tierra necesita incluir políticas de planificación urbanas y rurales para su desarrollo armónico.

En este sentido, la planificación y ordenación territorial no son actividades sencillas y simples, ya que se basan sobre el tratamiento de áreas que presentan características diferentes en términos ecológicos, económicos y sociales con componentes complejos que interactúan y se interrelacionan (Recalde y Zapata 2007).

Por ello se plantea la necesidad de planificar la utilización de los bienes ambientales en el marco de los objetivos que contempla el desarrollo sustentable satisfaciendo necesidades presentes y teniendo en cuenta las oportunidades ofrecidas hacia futuras generaciones.

Con la ordenación territorial se busca “la rectificación de las estructuras resultantes” de un crecimiento económico más o menos espontáneo y de una explosión demográfica a veces incontrolada; que conllevan a problemas como:

- Conflictos de uso de la tierra por incompatibilidad.
- Aprovechamiento no sostenible de los recursos naturales.
- Ocupación de áreas y amenazas naturales.
- Necesidad de desarrollo de corredores viales, redes de transporte y de comunicaciones.
- Expansión urbana desordenada.
- Elevación de la competitividad territorial.
- Desequilibrios en el acceso a servicios públicos y sociales en áreas urbanas y rurales.
- Desequilibrios territoriales de la distribución de actividades y oportunidades de empleo.
- La tenencia de la tierra improductiva, que en lo rural se manifiesta a través del latifundio y en lo urbano a través de las parcelas intra urbanas vacías y las tierras periurbanas en espera de ser incorporada a una poligonal urbana; son rémoras de una sociedad

rentista contrapuesta a los objetivos de inclusión social y productiva. (Colonnello y Salas-Dueñas 2004).

La existencia de estos problemas conlleva el desarrollo de metodologías planificadas de abordaje y prevención de situaciones relacionadas con desequilibrios territoriales, la ocupación y uso desordenado del territorio y las externalidades que provoca el desarrollo ligado al crecimiento económico. Como todo sistema, el territorial requiere de elementos de regulación que deben ser cubiertos por el sistema de planificación y gestión, los cuales están insertos en el proceso de ordenación territorial (Recalde y Zapata 2007).

La política territorial, estaría dirigida a la disminución de los desequilibrios territoriales, modificando el patrón de poblamiento, consolidando y diversificando la actividad económica a lo largo del país, en armonía con la vocación específica y ventajas comparativas de cada región, incrementado la población y las actividades económicas en áreas de desconcentración (ejes de desarrollo, regiones, y zonas especiales de desarrollo sustentable). A tales fines, se debe lograr condiciones que permitan a la población alcanzar un adecuado bienestar social y evitar su desplazamiento hacia grandes centros urbanos (PNDR 2001).

En este mismo orden de ideas, tenemos las Líneas Generales del Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2007-2013, en las que también se consideró la estructura socio-territorial actual, ya que la modificación de la estructura territorial se inscribe en un horizonte temporal de mediano y largo plazo, requiriéndose esfuerzos sostenidos y coherentes de gestión pública, planificación estratégica y movilización de actores políticos y fuerzas sociales con una visión geoestratégica compartida en función de lograr un nuevo sistema económico-productivo, diversificado e integrado, tanto funcionalmente como territorialmente, así como la inclusión social a través de la incorporación de espacios y actividades productivas bajo regímenes de producción social, cooperativos, asociativos y solidarios, donde la participación protagónica y corresponsable signe las nuevas

relaciones de producción, cuyos resultados sean acumulables y favorezcan la modificación de los patrones de asentamiento (PDESN 2007).

La Ley del plan de la patria 2013-2019, promueve políticas y programas del sector ambiente, conservación y ordenación territorial, con base en la sustentabilidad ecológica y la equidad socio territorial, en su quinto objetivo histórico y nacional, plantea construir e impulsar el modelo económico productivo eco-socialista, basado en una relación armónica entre el hombre y la naturaleza, que garantice el uso y aprovechamiento racional, óptimo y sostenible de los recursos naturales, respetando los procesos y ciclos de la naturaleza.

El enfoque ecológico dentro del ordenamiento territorial implica realizar acciones inmediatas que permitan rescatar el equilibrio de la tierra y apuntalar los procesos económicos productivos del ser humano, sobre la base del respeto de los ciclos de la tierra, mediante el establecimiento de una relación distinta de los humanos con la naturaleza (Chávez, 2013).

En este sentido el objetivo de este trabajo es presentar una metodología alternativa para delimitar y manejar ecosistemas particularmente susceptible a ser degradado por la actividad petrolera, como son los presentes en la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez (Fpohch), que estaría en armonía con la preservación de la vida en el planeta y la salvación de la especie humana, en este momento histórico, donde es necesario realizar esfuerzos sensibles y bien dirigidos en función de revertir las causas y efectos de las devastadoras crisis ambientales que atentan contra la posibilidad de vida en el mundo.

Por lo tanto, la aplicación de los criterios cuantitativos como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la percepción remota y la lógica difusa para el desarrollo de una metodología para la delimitación de unidades ecológicas derivada de la teoría ecológica, permitirá develar las bondades teórico-metodológico y prácticas alcanzadas por la ecología y la ecología del paisaje, ramas de las ciencias físico-geográficas, que proporcionan una base sólida para el análisis holístico y sistémico del territorio, que los métodos tradicionales no consideran.

Planteamiento del problema.

En la actualidad, la principal actividad económica de la República Bolivariana de Venezuela está basada en el desarrollo de la industria del petróleo, la cual la convierte en el puntal de la economía nacional y la primera fuente de divisas para el país (Zamora y Ramos, 2010).

El Plan Siembra Petrolera (PSP) implementado desde el año 2006, se marca dentro de la política petrolera definida por el estado, busca apalancar el desarrollo socioeconómico nacional y construir un nuevo modelo de desarrollo económico más justo, equilibrado y sustentable para combatir la pobreza y la exclusión social.

Dentro de los objetivos del PSP se contempla incrementar las capacidades de producción del reservorio de hidrocarburos más grande del planeta, como lo es, la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez (Fpohch), con el fin consolidar el país como potencia energética mundial, bajo el principio de la explotación racional y la política de conservación del recurso natural agotable y no renovable.

Este desarrollo considera la construcción de dos nuevas refinerías, una de las cuales sería la Refinería Cabruta al sur del estado Guárico, con capacidad de producir 221 mil de barriles diarios. Esta refinería será desarrollada en tres etapas, iniciando como Mejorador en el año 2017, siguiendo como Refinería Combustible en el año 2022 y finalmente como Refinería Petroquímica en el año 2027 (PDVSA 2010).

El desarrollo endógeno sustentable, en las adyacencia de la localidad de Santa Rita de Manapire, pretende estimular la desconcentración de la población y valorizar el crudo de la Fpohch a través de la transformación a productos refinados e insumos petroquímicos, en armonía con el ambiente y el entorno social de la instalación, tomando en consideración la nueva geopolítica nacional y las bases ecológicas en el proceso de ordenamiento racional de los recursos y del territorio.

Sin embargo las exigencias económicas basadas en la productividad y la explotación petrolera, no han tomado en cuenta la fragilidad de los ecosistemas, solo se ha basado en sus costos y beneficios y sin considerar algún esquema de conservación del ambiente y de mejor aprovechamiento del mismo, ya que los intereses económicos han desarrollado y ubicado la industria petrolera en lugares sin ninguna planificación de preservación, lo que ha traído como consecuencia el deterioro ambiental.

La industria petrolera genera impactos significativos en el ambiente, con sus actividades de exploración, explotación, transporte, almacenamiento y refinación, que ocasionan, el vertido de efluentes líquidos, contaminación de suelos y cuerpos de agua por desechos sólidos peligrosos y no peligrosos, contaminación por ruido, emisiones atmosféricas, pérdida de hábitat, afectación del paisaje y conflictos en el uso de la tierra entre otros. Lo que se traduce en una problemática, ya que conciliar los aspectos económicos y ambientales no es una tarea fácil, por lo tanto, considerar las externalidades de esta actividad económica sería una vía para garantizar el bienestar integral de la población

Todo esto lleva a plantearnos las siguientes interrogantes:

¿Cómo desarrollar la actividad petrolera, atendiendo a las realidades ecológicas y económicas en un área poco intervenida y de alto valor ecológico como es el caso del espacio para la localización de la Refinería Cabruta?

¿Qué metodología podría ser la más apropiada para ordenar el territorio atendiendo a los lineamientos de desarrollo de la actividad petrolera y de conservación ambiental, de manera de reducir los conflictos de uso y garantizar el menor impacto ambiental?

Las respuestas a estas interrogantes puede llevarse a cabo dándole mayor importancia dentro de la política territorial, al desarrollo teórico-metodológico y práctico alcanzado por la ecología, la geoecología y la ecología del paisaje, que proporcionan una base sólida para el análisis holístico y sistémico del territorio, permitiendo clasificar y delimitar unidades ecológicas homogéneas por sus características, que pueden ser

estudiadas, evaluadas y a partir del propio proceso de planificación del espacio (Forman y Godron 1986).

En este sentido es necesario desarrollar un instrumento metodológico alternativo, para delimitar y manejar ecosistemas particularmente vulnerables, con el fin de contribuir con la preservación de la vida en el planeta, de manera de concentrar esfuerzos y dirigirlos en función de minimizar el impacto ambiental de nuestra principal actividad económica sobre nuestro principal tesoro como lo es el ambiente.

1.1. Hipótesis

El ordenamiento ecológico considera las relaciones existentes entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema y las propiedades emergentes de estas relaciones, lo cual permite entre otras cosas, proponer un uso más adecuado del territorio.

Un área poco intervenida, debido a que el uso principal es la ganadería extensiva, la representa el espacio para la localización de la Refinería de Cabruta (RC), el análisis de los componentes de este ecosistema natural en forma integrada y sus relaciones, bajo la intervención generada por el establecimiento de la RC, podría generar indicadores ambientales que ayuden a la organización prospectiva del territorio adyacente a la RC donde se integren todos los actores.

Se puede determinar por métodos cuantitativos las características que expresan la mayor varianza de la información sobre la estructura de los ecosistemas del área de estudio, estas características síntesis permitirán entender el comportamiento de los sistemas, e inferir cual sería el mejor tipo de uso para dicho sistema.

Por lo tanto, se quiere evidenciar la correlación existente entre factores abióticos, bióticos y sociales con el fin de definir unidades de ordenamiento territorial ecológicas, partiendo de los elementos estructurales del sistema y su funcionalidad. El establecimiento de las relaciones funcionales y estructurales de los componentes ambientales y

sociales permitirá generar una metodología de ordenación territorial prospectiva que será dinámica y ajustada a los cambios espaciales de ocupación de la tierra.

En este trabajo se tratará de evidenciar que las relaciones existentes dentro del ecosistema son la base para garantizar un mejor ordenamiento territorial. Por lo tanto, la metodología propuesta para el ordenamiento territorial ecológico, podría ser la más apropiada para ordenar el territorio en áreas poco intervenidas, ya que esta guarda coherencia no solo con las políticas de ordenamiento sino con los lineamientos de conservación ambiental y de desarrollo sustentable.

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Proponer una metodología para la delimitación de unidades ecológicas derivada de la teoría ecológica, que guarde coherencia con la política de ordenamiento del área en particular, con los lineamientos ambientales y de desarrollo sustentable. Caso de estudio a escala 1:60.000: Emplazamiento de la Refinería Petrolera de Cabruta “(Faja Petrolífera del Orinoco)”.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Proponer una metodología para la delimitación de unidades ecológicas territoriales derivada de la teoría ecológica basada en criterios cuantitativos a través de la aplicación de modelos matemáticos con apoyo de técnicas de inteligencia artificial y herramientas como los Sistemas de información Geográfica (SIG).
- Establecer las relaciones potenciales entre los componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial.
- Delimitar las unidades de ecológicas según criterios cuantitativos de conservación, adecuadas a los objetivos y magnitud de las actividades que serán realizadas en el área.
- Establecer indicadores de conservación y de sostenibilidad de los ecosistemas existentes en el área.
- Proponer unidades ecológicas de ordenamiento territorial orientadas a la asignación de usos de la tierra (Actividades Industrial petrolera Uso urbano, Conservación y Agroturístico) que impulse el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales existentes, la distribución equilibrada de la población, y la recuperación en áreas degradadas.

1.3. Justificación

En la República Bolivariana de Venezuela se ha alcanzado un avance significativo en el diseño de políticas y mecanismos de planificación y ordenamiento territorial, tendientes a articular las estrategias de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y del ambiente en general.

Nuestro país dispone de un conjunto jerárquico de planes en los que se considera la concreción espacial, en su ámbito y escala geográfica, además del planteamiento de numerosas estrategias nacionales de ordenación y gestión ambiental, como la planificación física (la asignación de uso de las tierras), localización de poblaciones y actividades económicas en los espacios más idóneos (Méndez 2005).

Sin embargo, la implementación de los planes de ordenamiento territorial en los diferentes ámbitos y su desarrollo se ha visto opacada por problemas concernientes al ordenamiento territorial, como lo son, los conflictos de uso de la tierra por incompatibilidad, ocupación de áreas sujetas a amenazas naturales, expansión urbana desordenada, desequilibrios territoriales de la distribución de actividades y oportunidades de empleo, desequilibrios de la organización urbano-rural, así como la falta o debilidad de la organización institucional para la gestión.

Desde el punto de vista metodológico, la asignación de uso en la mayoría de los casos, ha sido producto de la acumulación de datos de inventario, diagnóstico y extensas memorias informativas, que en la mayoría de las veces genera excesiva información que dificulta detectar las regularidades que son realmente significativas.

Por otro lado, la asignación espacial de usos, se ha realizado usando límites políticos y cuencas hidrológicas entre otras unidades; mecanismos técnicos y administrativos, situaciones dadas o estáticas, todas estas acompañadas del juicio de los expertos que en la mayoría de los casos exceden el campo de sus competencias reconocidas.

Esto evidencia que si bien es cierto que el proceso de ordenación del territorio, han estado articulado a una serie de instrumentos y mecanismos para controlar la ocupación y uso del territorio, no ha sido eficiente en la evaluación de los impactos que causan las actividades económicas sobre el ambiente, ni en la eliminación de problemas sustantivos que afectan a la sociedad, a la configuración territorial y al ambiente en general (Méndez 1999).

En otro orden de ideas, en el marco de la nueva geopolítica nacional se deben desarrollar proyectos de inversión productiva en los ejes de desarrollo, y conformar redes y polos de desarrollo, para integrar el territorio nacional, tomando en consideración las bases ecológicas en el proceso de ordenamiento racional de los recursos y del territorio.

Un área donde se han intensificado la actividad de la industria petrolera es la Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez, la cual tiene una gran importancia para el desarrollo del país, sin embargo estas actividades generan impactos económicos, políticos, sociales y ambientales para la zona y sus áreas de influencia, por lo tanto, es necesario proponer un desarrollo territorial, donde los impactos ambientales sean los mínimos en los ecosistemas y sobre las comunidades locales.

Una excelente oportunidad para contribuir a esto, está representada por el proyecto de emplazamiento de una refinería y la generación de un polo de desarrollo sustentable, en una poligonal con radio de 100 km, alrededor de Cabruta, Parroquia Cabruta, Municipio Las Mercedes Edo. Guárico, Venezuela (PDVSA 2007b).

La puesta en funcionamiento del complejo refinador de Cabruta, será el dinamizador del núcleo endógeno, y estará estrechamente articulado a los proyectos aguas abajo, de tipo agrícola vegetal, animal, pesquero, forestal, agroindustriales, industriales y urbanos.

Por ello, las demandas por aprovechamiento de los recursos naturales podrían impactar considerablemente a la red hidrológica en cantidad y calidad, a los ecosistemas de sabana y morichales, a los suelos

de potencial agrológico, a la fauna terrestre y acuática y a la población tradicionalmente asentada en ese eje (PDVSA 2007b).

En este sentido, esta investigación se plantea el diseño de una metodología de ordenamiento ecológico flexible derivada de la teoría ecológica y con criterios cuantitativos la cual permitirá tener una alternativa para la delimitación de unidades ecológicas que guarde coherencia no solo con la política de ordenamiento del área en particular, sino con los lineamientos ambientales y de desarrollo sustentable.

El enfoque ecológico del ordenamiento territorial, permite escoger los elementos y procesos significativos, que parecen insignificantes en los inventarios usados comúnmente en las propuestas de ordenamiento territorial tradicionales.

Ya que, los factores que conducen a la transformación de los ecosistemas, el comportamiento de los actores sociales con relación al manejo de los recursos naturales, las tendencias que se presentan y los posibles escenarios que se pueden construir a partir de los procesos de decisión han sido poco estudiados.

Por esto, se hace necesario el diseño de una metodología alternativa que permitan relacionar las dinámicas de transformación, los factores, las decisiones y los procesos subyacentes que conducen al cambio; los cuales requieren el entendimiento del comportamiento de los actores sobre su entorno.

Al utilizar el enfoque ecológico y los ecosistemas se debe tomar en cuenta que, estos no poseen límites convencionales como las unidades de manejo utilizadas tradicionalmente en la ordenación territorial, y que la delimitación de la unidades ecológicas es el producto de las relaciones existentes entre los diferentes componentes físico naturales, develadas a través de criterios cuantitativos y análisis estadísticos multivariados, los cuales proporcionan un valor agregado que no suele estar al alcance del planificador y permite el análisis del comportamiento de los sistemas en respuesta ante presiones, así mismo se debe considerar, la capacidad de

amortiguamiento bajo distintos procesos físicos o antrópicos, los límites de las zonas de estabilidad (según distintos supuestos de uso del territorio), la redefinición al unísono con las políticas de ordenación, patrones ambientales que consideren la presencia de amenazas naturales y vulnerabilidad en la información de las políticas territoriales, tanto preventivas como correctivas.

Los criterios cuantitativos enmarcados en la geomatica, como la percepción remota, no solo permiten una mejor delimitación del área de estudio, la generación de cartografía y de información atributiva actualizada, sino el levantamiento de información base de manera más rápida, independientemente del área de estudio, lo cual se traduce en una menor inversión en los estudios de levantamiento de información base en campo, así como, en la reducción del período de tiempo necesario para obtener resultados de interés.

En el 2007 Pdvsa, previo a esta investigación, encontro que existe un área potencialmente aceptable para el emplazamiento de la refinería de Cabruta, que reúne las mejores condiciones para la ubicación del proyecto, esta área es el denominado Eje de Fundos (El Perro), con una superficie de 50,8 km²; se encuentra situado a 20 km, al norte de la población de Santa Rita (a 74 km de Cabruta). Dentro de las características que hacen esta área idónea para la ubicación de la refinería tenemos:

- Posee mayor disponibilidad de tierra urbanizable, con una morfología adecuada.
- Contribuye en buena medida a la conformación de Caicara – Cabruta como polo de desarrollo sub regional de primer orden.
- Localización inmediata a la troncal T012, permitiendo conectar de manera expedita con otras vías troncales cercanas, que recorren al país de norte a sur de y este oeste.

- Relativamente cercana a la principal fuente de agua representada por el río Orinoco, para satisfacer la gran demanda de agua de la refinería.
- Área con buenas condiciones de drenaje externo e interno.
- No tiene problemas de inundaciones ya que se ubica por encima de la cota de 40 m.s.n.m.
- Ligeras restricciones para el soporte de infraestructura.
- Moderada estabilidad del paisaje.
- Moderada habitabilidad.
- Mediana sensibilidad ambiental.
- Bajo potencial agrícola.
- Cobertura vegetal arbolada (chaparros) asociadas a sabanas de *Trachypogon*.

La aplicación de esta metodología alternativa no solo permite corroborar los sitios, previamente propuestos utilizando métodos tradicionales, sino proponer unidades de ordenamiento ecológico a partir de criterios cuantitativos y ecológicos para el desarrollo de los usos propuestos para esta área, la cual se considera geoestratégica, por ser el centro de gravedad y articulación entre los extremos Oeste-Este y Norte-Sur, respectivamente del país; y por estar ubicada en el potencial de reserva de hidrocarburos pesado más grande del planeta, como lo es la Faja petrolífera del Orinoco Hugo Chávez.

2. Descripción Del Área De Estudio

2.1. Localización y delimitación del área de estudio

2.1.1. Localización espacial

El área de estudio se encuentra dentro del Campo Boyacá de La Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez Frías (FPO-HChF), es un área que ha sido definida en función de sus potencialidades como productor de petróleo, y es el mayor reservorio de crudos conocido en el mundo (ver figura 1). Tiene un área geográfica de más de 55 mil kilómetros cuadrados y abarca los estados Anzoátegui, Guárico y Monagas. Se divide en cuatro grandes áreas de oeste a este: Boyacá, Junín, Ayacucho y Carabobo. A su vez, cada una de éstas se encuentra segmentada en bloques. La FPO-HChF se encuentra en la provincia ecológica de los llanos y abarca las sub regiones de los llanos centrales y orientales, con una altitud menor a los 250 msnm, (PDVSA 2007a).

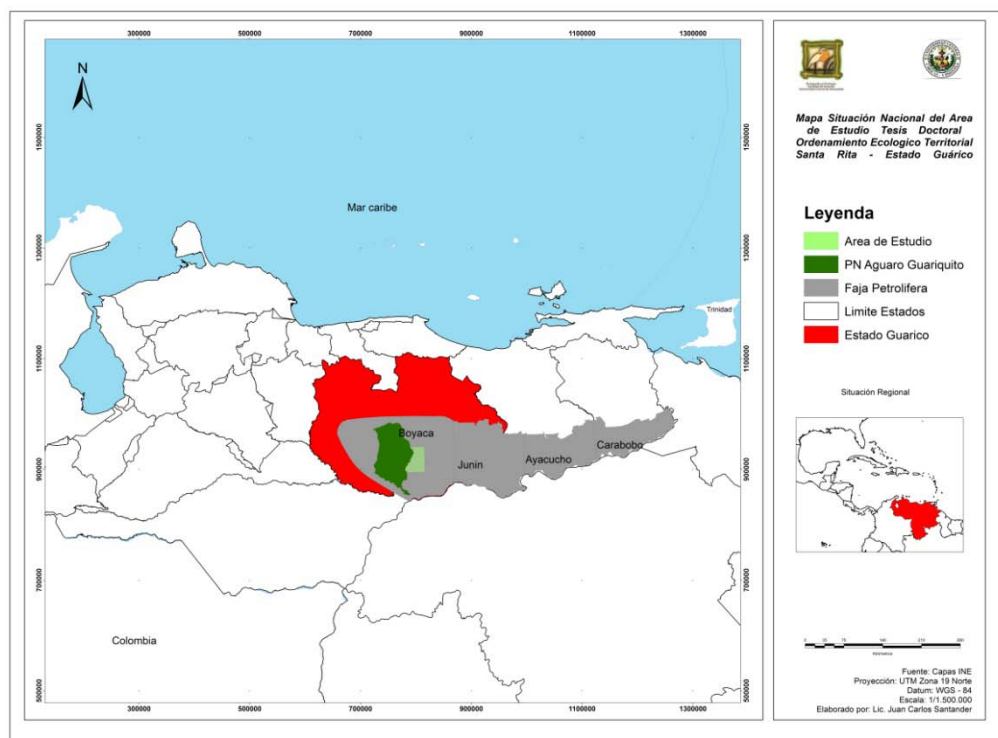


Figura 1. Situación Nacional del Área de Estudio.

El área de estudio, está localizada en la provincia fisiográfica de los Llanos, región natural de los Llanos Disectados Centrales situada en el sector centro – sur del estado Guárico, y abarca de acuerdo a la división política administrativa los municipios: Las Mercedes y Leonardo Infante (Marnr, 1985).

Los límites de la zona escogida para dicho estudio, se corresponden con la porción de terreno que se ubica entre el Parque Nacional Aguaro Guariquito al oeste, al este la localidad de Rabanal, mientras que el límite norte del área está ubicado muy cerca de la localidad El Perro a unos 22 Km, al norte de Santa Rita de Manapire, el límite sur está a 10 Km al sur de Santa Rita de Manapire. Esta zona se encuentra en las coordenadas UTM (Datum REGVEN y Elipsoide GRS80 en Huso 19N) 795000 - 804.119 este y 885000 - 925000 norte, con lo cual abarca aproximadamente unas 128808 ha.

En la Figura 2, se puede localizar gráficamente y con mayor precisión el área de estudio y en ella se muestra los límites correspondientes, línea continua amarilla.

2.2. Características físico naturales

2.2.1 Clima

El clima de la región ya ha sido analizado por varios autores entre los que se encuentra Berroterán y col. (1983), Susach (1989) y Ramia y Ortiz (2006). Los llanos representan cerca del 25% de la superficie total del país con altitudes por debajo de los 260 msnm, el clima varía entre los intervalos de excesivamente húmedo en los llanos occidentales con unos 2400 mm al año de precipitación al semiárido en los llanos orientales cercano a los 800 mm/año.

La zona de estudio se encuentra, en el área Boyacá, específicamente en los alrededores del centro poblado de Santa Rita en el sector oriental del estado Guárico, donde el mesoclima es del tipo subhúmedo-seco parcialmente húmedo. (PDVSA 2007a).



Figura 2. Mapa imagen del área de estudio

La radiancia, se define como la intensidad de la radiación solar recta y difusa en $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$, para la zona centro meridional del estado Guárico.

Se ha reportado una radiación promedio anual por encima de 400 cal /cm² /día lo cual es favorable para la fijación de energía vía fotosíntesis.

En lo que respecta a la temperatura, que es el elemento del clima con menor variabilidad, presenta una amplitud media anual inferior a los 4 °C y una temperatura media anual de 26,5 °C. Se presentan dos máximos de temperatura el primero ocurre en el mes de marzo y el segundo se presenta en el mes de octubre, la temperatura más baja ocurre en el mes de julio y está asociada a la presencia de la zona de convergencia intertropical sobre el área, la cual genera una alta nubosidad y de esta forma una radiancia mínima.

El viento es uno de los elementos climáticos que posee una importancia relevante, ya determina la evapotranspiración de las plantas, y por ser el agente que transporta la humedad en forma de vapor, influyendo así en el patrón de distribución de las lluvias. La velocidad promedio del viento es de 11,3 Km/h, presenta una gran variación estacional, como un máximo mensual de 16 Km/h al final de la época seca (Marzo-Abril) y un mínimo de 8 Km/h al final de la época de lluvias (Septiembre y Octubre).

Durante la estación seca los vientos predominantes vienen del noreste (NE) y son comúnmente conocidos como los vientos alisios del NE. Durante este periodo se presentan ráfagas de vientos que superan los 50 Km/h, lo cual puede representar un inconveniente para algunas actividades agrícolas.

La humedad relativa media es de 80 %, la máxima media es de 87 % y la mínima media es de 64%, que ocurre en el mes de abril, debido a los aumento de temperatura, la acción desecante del viento y la acción de la precipitación.

El régimen de precipitación, constituye un elemento climático de importancia en los llanos, por sus implicaciones ecológicas y utilitarias en la agricultura. La pluviosidad registrada en las estaciones climáticas de la zona, presenta un total anual de 1.230 mm, del cual el 90% se distribuye en los meses de abril a noviembre, con la mayor concentración de lluvia en los meses de mayo a octubre, los meses con mayor pluviosidad son julio y

agosto con más 200 mm de precipitación promedio mensual, el período seco se ubica entre diciembre y abril, durante el cual cae el 15% del total anual Berroterán y col. (1983). En el Figura 3 se muestra la información correspondiente a las isoyetas de precipitación del área de estudio, donde se observa que el comportamiento coincide con los valores reportados, en la sección anterior.

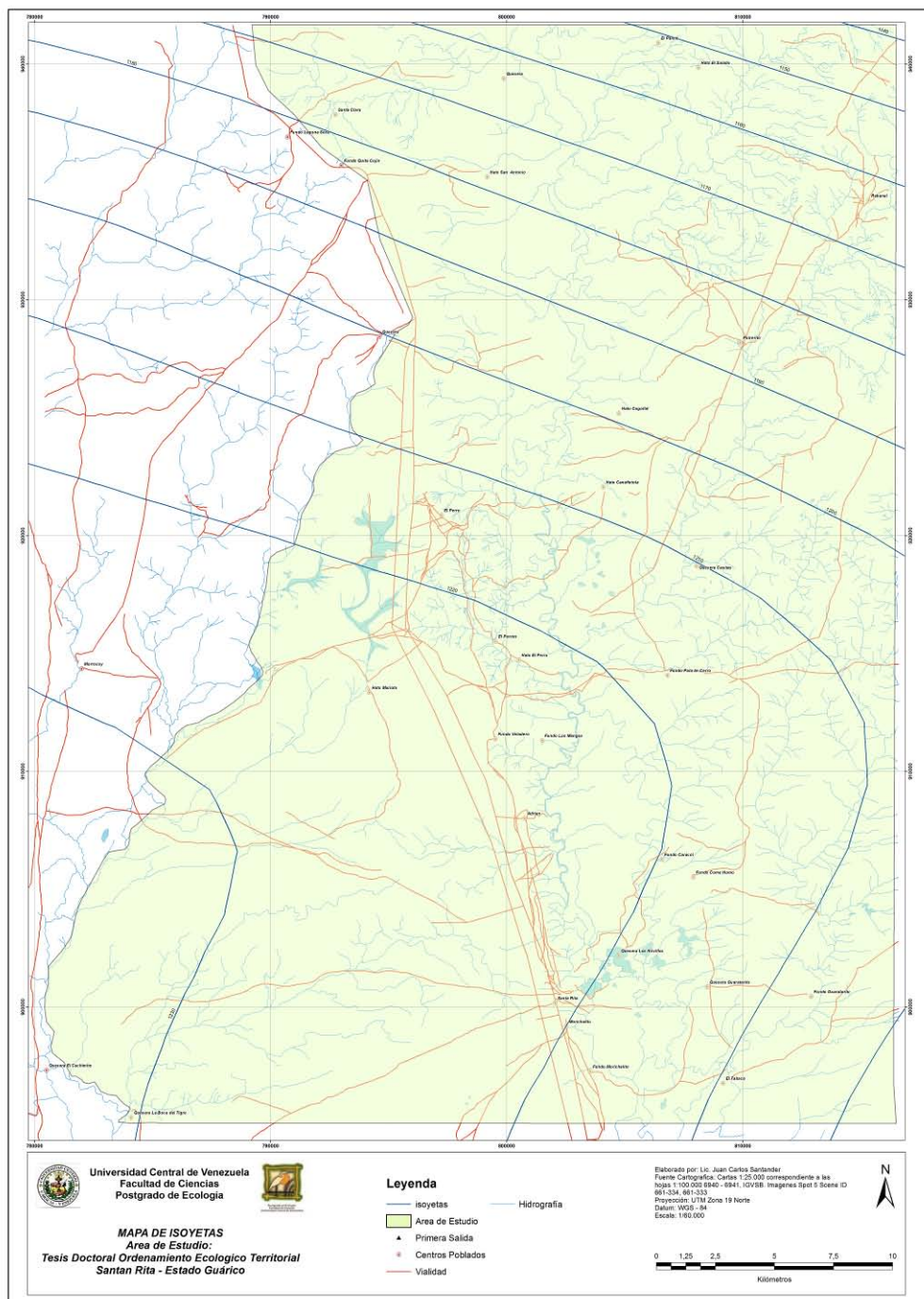


Figura 3. Mapas de isoyetas del Área de Estudio.

En la Figura 4, se muestra el histograma de precipitación promedio para el área de estudio, donde se observa el régimen de precipitación es unimodal, con un pico máximo de precipitación de junio-julio, el periodo lluvioso se extiende desde mayo a octubre y en algunos casos hasta noviembre, alcanzando en este periodo el 85% de la lluvia anual. El período seco se ubica entre diciembre y abril, durante el cual cae el 15% del total anual.

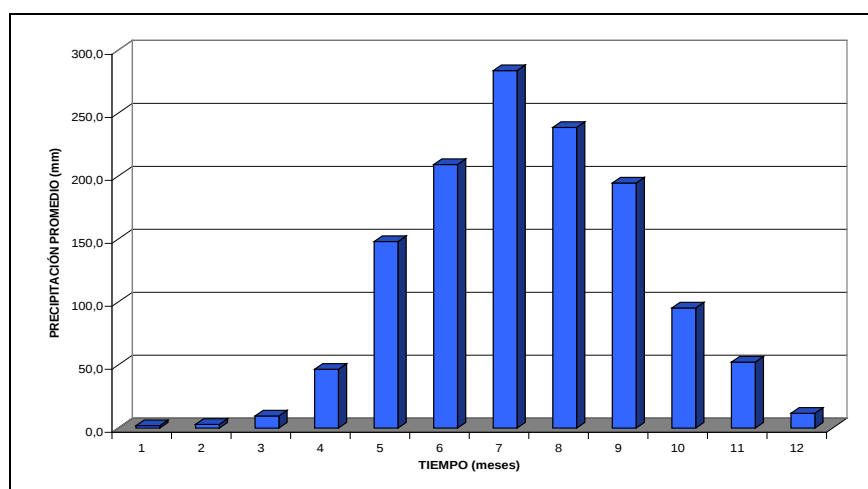


Figura 4. Precipitación promedio mensual para el área de estudio

Se utilizó la información meteorológica existente en la zona, las estaciones climáticas presentes en el área de estudio son Toro Negro, San Antonio y Santa Rita. Tanto la localización como el tamaño de la superficie de la poligonal del proyecto han limitado el análisis espacial de lo meteorológico – climático a un área triangular definida por 3 estaciones: Santa Rita, Toro Negro y Valle de la Pascua, las cuales se ubican a 11 km, 17 km y 114 km del centroide de la poligonal.

SERIAL	ESTACION	TIPO	ALTITUD msnm	ORG	EDO	LATITUD	LONGITUD
2413	SANTA RITA	PR	135	MA	GU	08°08'30"	66°15'30"
3505	SAN ANTONIO	PR	150	MA	GU	08°27'28"	66°16'50"
3506	TORO NEGRO	C2	88	MA	GU	08°22'40"	66°14'30"

C2: Estación Climatológica Ordinaria, se mide: precipitación, temperatura, evaporación, viento, radiación e insolación PR: Estación Pluviométrica en donde sólo se mide lluvia

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas presentes en el área de estudio.

2.2.2 Hidrografía

La hidrografía del municipio Las Mercedes está constituida por la cuenca del río Manapire, la cual posee un área total de 8.250 Km², con una longitud aproximada de 179 Km y una pendiente promedio es 0.05 %. Este nace en las cercanías del Cerro Chipinche, a 190 msnm, en el Distrito Infante del estado Guárico, con un recorrido Norte-Sur, para descargar en el río Orinoco a 24 msnm. (PDVSA 2007a).

Dentro de los ríos presentes tenemos los ríos Manapire, Aguaró, San Bartolo, Mocapra, Faldisquera, caño los Aceites y quebrada Chaguáramos, que tienen como colector principal el Río Orinoco, donde desembocan directamente o por intermedio de sus principales afluentes. En cuanto a las aguas subterráneas, la zona se caracteriza por tener extensos acuíferos de alto rendimiento.

Mientras en el municipio Leonardo Infante las aguas superficiales de la región también vierten hacia la gran cuenca del Río Orinoco; las mismas cubren aproximadamente el 74% del área. Se trata de una amplia red fluvial orientada en sentido Norte-Sur cuyos afluentes más importantes son: Río Manapire, con sus afluentes secundarios, Espino, Los Aceites, La Pascua, Espinito, Macanillal, Guanipa y Carapa (INE 2011).

Es importante resaltar que la red fluvial de la región es de curso intermitente (seco en verano) donde solo los ríos principales, cerca de su desembocadura, llevan agua durante todo el año. En cuanto a las aguas subterráneas, de acuerdo al mapa hidrológico del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, las zonas de llano bajo y parte del llano alto poseen acuíferos extensos de alto rendimiento y pocos profundos (INE 2011).

2.2.3 Geología

Desde el punto de vista geológico, la región está conformada por sedimentos de la Cuenca de Venezuela, de origen terciario superior y pleistoceno inferior (Mogollón y Comerma 1994). El paisaje geomorfológico asociado a la zona de estudio está representado por altiplanicies, y el relieve característico es de mesa, donde predominan terrenos surcados por

cárcavas activas y estabilizadas. Los llanos altos centrales están constituidos en su mayor parte por el paisaje de relieve colinoso de afloramientos de formaciones terciarias y por paisajes de altiplanicies de deposiciones relacionadas con la formación mesa (Berroterán 1985; Schargel 2007).

En el subsuelo al norte de la antigua área de producción petrolera Machete, se encuentran las areniscas fluviales conglomeráticas poco consolidadas. La formación Hato Viejo se compone principalmente de areniscas, arcóscicas de grano grueso y la formación Carrizal, de arcilitas verdosas, duras, masivas, con articulaciones locales de arena limolíticas (González de Juana, 1980). Según Galavis y Velarde (1967), en su análisis estratigráfico y estructural de la antigua faja bituminosa del Orinoco con el fin de investigar sus posibilidades de explotación petrolífera comercial. En el sentido Norte-Sur, el Área Boyacá, anteriormente llamada Área Machete se puede dividir en tres zonas; una zona al norte de la línea de bisagra, con sedimentación terciaria normal de Oficina-Chaguaramas; una zona de plataforma con espesores de sedimentos acunados y una zona de remanentes erosionales del basamento ígneo metamórfico (Monadnocks), contra los cuales se acunán o truncan los sedimentos en el sur.

En el cuadro 2 se muestra una breve descripción de las formaciones presentes en el área así como las características más relevantes de cada una de ellas.

Edades		Formación	Características
Pleistoceno	Cuaternario	Mesa	La Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cemento ferruginoso cementado y muy duro; conglomerado rojo a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita.
Mio oligoceno	(Cenozoico, Terciario)	Chaguaramas	La formación es esencialmente una alternancia irregular de arenas, lutitas y lignitos, con arcillas y conglomerados de guijarros arcillosos. Los rasgos sedimentarios sugieren un ambiente marginal a no-marino.

Eoceno		Roblecito, La Pascua	Constituida por areniscas y lutitas oscuras y algunos lignitos, que gradan hacia el norte y oeste a lutitas de la facies Roblecito. La Pascua se correlaciona lateral y verticalmente con las lutitas de Roblecito.
Cretáceo	(Mesozoico)	Grupo Temblador (Canoa y Tigre)	La Formación Tigre es una secuencia variable, irregularmente estratificada, de areniscas y limolitas de grano fino, glauconíticas, gris a gris verdoso areniscas gruesas friables y espesas, limolitas gris a gris verdoso y lutitas carbonosas y fosfáticas. La Formación Canoa está constituida de conglomerados de grano fino y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y arcilitas generalmente moteadas con manchas grises, gris verdoso, amarillas, marrones, rojas, púrpura.
Pre cretáceo	(Paleozoico)	Hato Viejo y Carrizal	La unidad es esencialmente una arenisca de grano fino a grueso, colores gris-rosado, gris y gris oscuro, friable, dura, maciza y áspera, ligeramente calcárea y en partes muy micácea y pirítica; los granos son redondeados y muy bien cementados. La formación carrizal está constituida por una espesa secuencia de arcilitas verdosas a gris oscuro, duras, masivas y densas, ocasionalmente teñidas de rojo, duras y compacta

Cuadro 2. Formaciones Geológicas presentes en el área de estudio.

2.2.4 Relieve

El relieve es considerado como el principal componente discretizador del paisaje y por eso es útil como marco de segmentación de las unidades. Las geoformas incluyen principalmente tres modos de análisis relevantes para el OT: la morfoestructura, que se refiere a la expresión de las formas de las laderas o facetas (unidades base de segmentación del territorio), la morfodinámica, que se centra en describir los procesos funcionales a los que están sujetas las laderas (v. gr. erosión, remoción en masa, entre otros) y la morfogénesis, que se refiere al material parental y los procesos que dan origen a las formas del relieve actual. Estos tres niveles de

aproximación del relieve permiten, en conjunto con los otros atributos del medio físico, generar las unidades geomorfológicas o de relieve (UR) (Masiris 2002).

Dentro de los paisajes geomorfológicos existentes en el área de estudio están las Altiplanicies cuaternarias y paisajes colinosos de formaciones terciarias, con alturas cercanas a los 200 m.s.n.m (Berroterán, 1994). Las formaciones terciarias (Quebradón y Roblecito) se sedimentaron en ambiente marino epicontinental entre el Oligoceno y Mioceno Inferior, las planicies que son extensiones planas con desniveles inferiores a 10 m y pendientes generales inferiores a 1%. Están conformados por sedimentos aluviales, lacustrinos, marinos y/o transportados por el viento (eólicos). Hacia el sur, en los bajos Llanos Centrales, predominan planicies eólicas y planicies aluviales del Pleistoceno, poco afectadas por el uso agropecuario.

Las altiplanicies presentes, corresponden a la Formación Mesa. Estas se formaron durante el Plioceno tardío y el Pleistoceno temprano y fueron sometidas a una serie de procesos morfogenéticos, como desnivelación tectónica, erosión laminar y regresiva, deflación eólica, sufusión, encorazamiento ferruginoso e inversiones de relieve (Coplanarh, 1974). Es una extensión plana entallada por valles, está conformada por mesas bordeadas por barrancos. Son planicies antiguas que fueron levantadas por procesos tectónicos, por lo cual ocurre una marcada incisión de los cursos fluviales. El tipo de relieve característico de este paisaje es la mesa, un terreno elevado y relativamente plano, bordeado por taludes. Puede ser plana o ligeramente ondulada (Schargel 2011).

Las planicies aluviales se encuentran degradadas por procesos erosivos o por coberturas eólicas. Los suelos son principalmente Ultisoles distróficos, con drenaje imperfecto a pobre, plintita y con frecuentes afloramientos de corazas y de gravas ferruginosas y de cuarzo. Predominan sabanas gramíneas (Trachypogon, Axonopus) frecuentemente arboladas, y en los sitios bajos "Saladillales" y los "Congriales" (sabana arbolada por *Caraipa llanorum* y *Acosmiun nitens*).

El Lomerío o colinar es un paisaje de disección, constituido por colinas y/o lomas, con desniveles entre las cimas y los valles adyacentes desde 10 hasta 300 m. Las colinas tienen una circunferencia basal aproximadamente circular y las lomas son alargadas.

Mientras que el Valle es un terreno alargado, recorrido por un curso de agua y situado entre paisajes más altos. Incluye las unidades geomorfológicas depositadas por el río, tales como la llanura de desborde expuesta a inundaciones ocasionales, generalmente entallada por una vega con inundación frecuente y las terrazas que ocupan niveles altos no expuestos a inundaciones por desborde del río. Existen valles constituidos solamente por llanuras de desborde y vegas, mientras que otros tienen varios niveles de terrazas (Schargel 2011).

La superficie que ocupa el valle del río Manapire en el área de estudio es de 3.414 hectáreas aproximadamente, lo que representa el 27,56% de la superficie total analizada. Esta geoforma se caracteriza por ser un medio de sedimentación coluvio aluvial, que en sección transversal, puede ser disimétrico, delimitados por los dos bordes de mesa que suelen ser abruptos bajo la forma de farallones o más bien suaves bajo la forma de planos inclinados. En este caso, y con la intención de generalizar las áreas con severas limitaciones para los propósitos del estudio, se han agrupado los bordes de mesa bajo la forma de glacis de denudación. El valle del río Manapire se presenta como un valle principal bien encajonado en ambos márgenes. En sentido longitudinal, se observa poco desnivel y el curso de agua forma meandros hacia el sur de la región por el decrecimiento topográfico progresivo que existe de norte a sur.

2.2.5 Suelos

Los suelos son principalmente arenosos y profundos, con poca fertilidad natural debido a la poca retención de agua, dentro de las características más resaltante tenemos que son suelos de textura franco-arcillosa-arcillosa, de media a alta plasticidad; en el relieve tabular, las arcilitas arenosas que afloran en las colinas meteorizan y después de lavadas por las lluvias, que dejan un suelo predominantemente arenoso, de grano fino;

permeabilidad general de baja a media y drenaje deficiente. También encontramos Suelos de textura franco arcillosa a arcillo limosa, de origen aluvial hacia la planicie, atendiendo a la forma fisiográfica (INE 2011).

2.2.6 Vegetación

En el paisaje de mesas conservadas y mesas disectadas y altiplanicie de denudación se tiene una formación de bosque deciduo de bajo porte con una fisonomía de matorral, constituido por especies cuya altura oscila entre 4 a 5 metros adaptados a condiciones de prolongada sequía con tendencia al xeromorfismo. La cobertura que esta formación vegetal le proporciona al suelo es relativamente baja, lo que determina que esta área sea de una alta susceptibilidad a la erosión. En posiciones bajas depresionales con suelos arcillosos predominan palmares alternando con el cuizal. Mientras que en los paisaje de mesas inundables y llanos bajos predomina el Morichal, vegetación de sabana en variadas proporciones de componente arbóreos, las gramíneas dominantes son especie del genero *Trachypogon* (*Trachypogon montufari*, *Trachypogon plumosus*, *Trachypogon vestitus*), conocidas comúnmente como saetas en asociación con otras gramíneas (INE, 2011).

Por otro lado en el área también se encuentran matorrales tropófilos caducifolios y semi-caducifolios; comunidades leñosas densas entre 5- 8 metros de alto representadas por la *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia* y *Bowdichia virgilioides* especies representativas de sabanas secas.

2.3. Características Socioeconómicas

2.3.1 Población

El municipio Las Mercedes está a una altitud de 162 m.s.n.m. Limita por el Norte, con el municipio Chaguaramas; por el Este, con el municipio Leonardo Infante; por el Sur, con el Río Orinoco; y por el Oeste con la Parroquia El Calvario del municipio Francisco de Miranda. Posee una población de 33.025 habitantes que representan un 4,42% de la población total del estado Guárico y de los cuales 17.096 son hombres (51,77%) y 15.929 mujeres.

Dado que el área del municipio es de 7.691 km² tiene una densidad de población de 4,29 hab/km², muy por debajo de la media nacional de 29,71 y muy inferior a la del estado Guárico que es de 11,51. La tasa de alfabetización de la población es de un 87,7%. En torno a la vivienda se tiene que existen unas 9.392 unidades, de las cuales 7.939 están ocupadas, 726 son habitadas ocasionalmente y las restantes están desocupadas o en proceso de construcción.

Mientras que el municipio Leonardo Infante posee una población de 120.889 habitantes que representan un 16,17% de la población total del estado Guárico y de los cuales 59.943 son hombres (49,59%) y 60.946 mujeres, este municipio con un área de 10.613 km² tiene una densidad de población de 11,39 hab/km², muy por debajo de la media nacional de 29,71 e inferior a la del estado Guárico que es de 11,51. La tasa de alfabetización de la población es de un 94,6%.

2.3.2 Infraestructura: Vivienda y educación

Los municipios Las Mercedes y Leonardo Infante, en conjunto cuenta con 36 establecimientos de salud, distribuidos en 1 hospital 12 ambulatorios rurales y 9 por la Misión Barrio, dentro los cuales se dividen en 4 Centros de Diagnostico Integral y 2 Centros de Rehabilitación Integral.

En torno a la vivienda, el municipio las mercedes cuenta con unas 37.280 unidades, de las cuales 30.419 están ocupadas, 2.632 son habitadas ocasionalmente y las restantes están desocupadas o en proceso de construcción.

Para el período escolar 2009-2010, el municipio contó con una matrícula inicial total de 9.051 estudiantes, discriminados por nivel educativo en las siguientes proporciones: el 13,93% (1.261 estudiantes) se encuentran en el nivel de educación inicial, el 29,37% (2.658 estudiantes) cursan en la educación secundaria, mientras que el mayor porcentaje lo tiene la educación primaria con 56,70% (5.132 estudiantes). Durante el año 2011 aproximadamente el 60%, de la población había culminado la primaria y un 6% poseen estudios universitarios, las mercedes del llano cuenta con 27

planteles entre los niveles de educación inicial y bachillerato, de más de mil con los que cuenta el estado. Por otra parte, en el municipio existen 16 planteles educativos lo que equivale al 1,8% del total estatal que son 894 planteles; de los cuales 8 son nacionales, 6 estatales, 1 autónomo y 1 es privada.

El municipio Leonardo Infante para el período escolar 2009-2010, contó con una matrícula inicial total de 31.893 estudiantes, discriminados por nivel educativo en las siguientes proporciones: el 19,06% (6.079 estudiantes) se encuentran en el nivel de educación inicial, el 33,79% (10.778 estudiantes) cursan en la educación secundaria, mientras que el mayor porcentaje lo tiene la educación primaria con 47,15% (15.036 estudiantes). Por otra parte, en el municipio existen 94 planteles educativos lo que equivale al 10,5% del total estatal que son 894 planteles; de los cuales 84 poseen una dependencia pública y 10 son privados.

2.3.3 Vialidad

En lo que a vialidad se refiere, en el área de estudio actualmente se encuentra en construcción la línea férrea las Mercedes – Cabruta, así como el tercer puente sobre el Orinoco Cabruta-Caicara, ambas obras constituirían un corredor vial de relevancia, Las troncales 12, 13 y 15, constituyen los principales ejes viales.

La troncal 12 conecta Chaguaramas- Las Mercedes- Sta. Rita- Cabruta, se encuentra bien conservado solamente el tramo Chaguaramas- Las Mercedes, la troncal 13, el eje Valle de La Pascua- Dos Caminos (Oeste), Valle de La Pascua- Zaraza (Este); la troncal 15, abarca el eje Valle de La Pascua- Santa María de Ipire- Pariaguán; mientras que la local 09: conecta el eje Valle de La Pascua- Espino, la cual forma parte de la red de vialidad secundaria (INE 2011).

2.3.4 Actividades económicas:

En ambos municipios existen una vocación predominantemente pecuaria, aunque con restricciones que van de moderadas a fuertes en el municipio Leonardo Infante. La ganadería bovina es la de mayor desarrollo, dado la tradición de su explotación en la zona. Existen también áreas con predominio de la actividad agrícola pero con un rango restringido de cultivos, y siembra comercialmente de maíz, tabaco, granos y plátanos. Actualmente hay también cría de aves de corral por lo tanto economía se fundamenta en la ganadería, la agricultura, el petróleo y la pesca cerca de Cabruta, en las orillas del Orinoco.

Por otro lado el desarrollo del sector agrotextil de la cadena completa del algodón (cultivo y cosecha-industria textil-confección-comercio) se prevé la creación de una escuela-planta textil, una gran planta desmotadora con capacidad de procesamiento de 13.000 TMA de algodón en fibra y cinco plantas textiles en distintos lugares (Soledad, Cabruta, Mapire, Santa Rita, Barrancas), cada una con altos grados de especialización, para un total de 21.800 TMA en productos confeccionados.

En el sector turismo existe un corredor representado por el Parque Nacional Aguaro-Guariquito, y además existe la propuesta de creación de seis grandes corredores turísticos a todo lo largo de la Faja (INE 2011).

3. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

3.1. Aspectos Conceptuales

3.1.1. El enfoque sistémico en la ecología

El concepto de sistema arranca del problema de las partes y el todo, ya discutido en la antigüedad por Hesíodo (siglo VIII a.C.), Platón (siglo IV a.C.) y George Hegel (1770-1831), quienes sostenían que los seres son un "momento del proceso que está viviendo la totalidad" y que cada "ser" está comprometido dentro del devenir del todo.

Relativiza el conocimiento al pensar a la "realidad como el conjunto de relaciones", ellas son las únicas que presentan el carácter de lo absoluto. Este pensamiento tiene la fuerza de lo sistémico. Decía Hegel que solo podemos entender las particularidades en el todo, y solo se es, en relación con los demás. Su modelo de ser, es el "ser en relación" (Mareco 2001).

Para Hegel, la forma de evidenciar el comportamiento propio de la razón es cuando la misma se hace dialéctica, se parte del todo comenzando a estructurar la realidad con una afirmación (la tesis), que debe ser contradicha (antítesis), para posteriormente realizar la conciliación entre los opuestos a lo cual denomina síntesis (sin- del griego-composición). Estos serían los tres momentos fundamentales, enlazados entre sí con tal grado de compromiso, que la síntesis de un proceso será la tesis del siguiente, lo cual impide la dispersión al infinito para alcanzar la síntesis superadora. Define la tesis como una "afirmación cualquiera" y sostiene que todos los conceptos llevan dentro de sí un conflicto, es éste el que le dará "movimiento" al cual denomina antítesis. Como negación de la afirmación, será la encargada de dinamizar la realidad (Mareco 2001).

Por fin y principio aparece la síntesis, a la que considera como un movimiento de conciliación cuya función será la superación del conflicto que se puede ver como la negación de una negación anterior, pero de la cual conservará lo positivo de los

dos momentos anteriores. Es en ese punto donde radica el germen de la perpetua creación.

Sin embargo, el estudio de los sistemas como tales no preocupa hasta la segunda guerra mundial, cuando se pone de relieve el interés del trabajo interdisciplinar y la existencia de analogías (isomorfismos) en el funcionamiento de sistemas biológicos y automáticos. Este estudio tomaría auge cuando, en el año 1950, L. Von Bertalanffy propone su Teoría General de Sistemas (TGS). La TGS no buscaba solucionar problemas o intentar soluciones prácticas, pero sí producir teorías y formulaciones conceptuales que pueden crear condiciones de aplicación en la realidad empírica (Von Bertalanffy 1976).

Uno de los objetivos del enfoque de sistemas, y la TGS de la cual se deriva, es el desarrollo de una nueva clase de método científico abarcado en el paradigma de sistemas, que pueda enfrentarse con procesos como la vida, muerte, nacimiento, evolución, adaptación, aprendizaje, motivación, interacción. El enfoque de sistemas busca abarcar este nuevo método de pensamiento, aplicable a los dominios de lo biológico y conductual.

La TGS busca similitudes de estructura y de propiedades, así como fenómenos comunes que ocurren en sistemas de diferentes disciplinas. Al hacerlo así, se busca "aumentar el nivel de generalidad de las leyes" que se aplican a campos estrechos de experimentación. El mundo está hecho de entidades físicas y de sistemas vivos (Chiavenato 1992).

Los supuestos básicos de la TGS son:

1. Existe una nítida tendencia hacia la integración de diversas ciencias naturales y sociales.
2. Esa integración parece orientarse rumbo a una teoría de sistemas.
3. Dicha teoría de sistemas puede ser una manera más amplia de estudiar los campos no-físicos del conocimiento científico, especialmente en ciencias sociales.

4. Con esa teoría de los sistemas, al desarrollar principios unificadores que atraviesan verticalmente los universos particulares de las diversas ciencias involucradas, nos aproximamos al objetivo de la unidad de la ciencia.
5. Esto puede generar una integración muy necesaria en la educación científica. (Von Bertalanffy 1976).

Según Capra, 1996 la percepción desde la ecología profunda reconoce la interdependencia fundamental entre todos los fenómenos y el hecho de que, como individuos y como sociedades, estamos todos inmersos en (y finalmente dependientes de) los procesos cíclicos de la naturaleza. Las principales características del pensamiento sistémico emergieron simultáneamente en diversas disciplinas durante la primera mitad del siglo XX, especialmente en los años veinte. El pensamiento sistémico fue encabezado por biólogos, quienes pusieron de relieve la visión de los organismos vivos como totalidades integradas.

El gran “shock” para la ciencia del siglo XX fue la constatación de que los sistemas no pueden ser comprendidos por medio del análisis. Las propiedades de las partes no son propiedades intrínsecas, sino que sólo pueden ser comprendidas en el contexto de un conjunto mayor. En consecuencia, la relación entre las partes y el todo ha quedado invertida. En el planteamiento sistémico las propiedades de las partes sólo se pueden comprender desde la organización del conjunto, por lo tanto, el pensamiento sistémico no se concentra en los componentes básicos, sino en los principios esenciales de organización.

Desde los principios de la ecología, las comunidades ecológicas han sido concebidas como entidades constituidas por organismos vinculados por redes a través de relaciones nutricionales. A medida que el concepto de red fue adquiriendo mayor relevancia en la ecología, los pensadores sistémicos empezaron a aplicar los modelos de redes a todos los niveles sistémicos, contemplando a los organismos como redes de células, órganos y sistemas de órganos, al igual que los ecosistemas son entendidos como redes de organismos individuales. Consecuentemente, los flujos de materia y energía a través de los ecosistemas se perciben como la continuación de las vías metabólicas a través de los organismos (Capra 1996).

La incorporación del enfoque sistémico en la ecología, ha dado herramientas conceptuales y metodológicas al problema de entender, estudiar, conservar, utilizar y restaurar a la naturaleza. Un ejemplo claro es el concepto de ecosistemas, que fue tomando forma en el transcurso de la última mitad del siglo XX, hasta convertirse, hoy en día, en un concepto clave en la teoría ecológica.

La mejor manera de definir un ecosistema es describiendo sus características y propiedades. En primer lugar, hay que pensar en los ecosistemas como sistemas, esto es, en un conjunto de elementos, componentes o unidades relacionadas entre sí. Cada uno de sus componentes pueden estar en diferentes estados o situaciones; el estado seleccionado del sistema, en un momento dado, es producto de las interacciones que se dan entre los componentes (INE 2007).

El enfoque ecosistémico reconoce que los ecosistemas naturales y transformados son sistemas complejos, cuyo funcionamiento y capacidad de respuesta ante perturbaciones dependen de las relaciones dinámicas entre especies y entre estas y el ambiente, la sociedad y su cultura.

Además integra las diferentes ciencias del medio biofísico y socioeconómico y el conocimiento tradicional con sus respectivas disciplinas, prácticas, metodologías y sistemas de innovación. Igualmente se parte del reconocimiento que el ser humano y su cultura son parte integral de los ecosistemas y, por tanto, los objetivos de la gestión ambiental son de naturaleza eminentemente social (INE 2007).

Cuando se estudia un ecosistema no se analiza cada uno de sus componentes por separado, sino se analiza el sistema en su conjunto, considerando las interacciones que se dan entre componentes, e identificando aquellos mecanismos o procesos que controlan al sistema. Los dispositivos de control incluyen mecanismos de retroalimentación positivos y negativos.

Existen mecanismos de retroalimentación positiva que sacan al ecosistema del estado particular en el que se encuentra, por ejemplo una lluvia, la caída de un árbol o la ocurrencia de una sequía. Mientras que mecanismos de

retroalimentación negativa tienden a regresar al ecosistema al estado previo a la perturbación, por ejemplo, los mecanismos de restauración que se disparan después de un incendio, la evaporación del agua del suelo después de una lluvia o la formación de suelo nuevo que compensa aquél que se pierde por erosión (INE 2007).

Por lo tanto es necesario contar con una estructura teórica y sistemática que permita examinar las relaciones generales del mundo empírico dentro del cual se ubican los recursos naturales. Este es el objetivo de la teoría general de sistemas donde está contenido el sistema ecológico o ecosistema.

El ecosistema se caracteriza por su estructura y funcionamiento, y la interdependencia existente entre ellos, expresada en su cambio de estado, y es factible actuar sobre uno y modificar el otro. La estructura de un sistema está conformada por el conjunto de características más invariantes en el tiempo, las cuales aseguran la existencia del sistema. El funcionamiento se refiere a la transformación efectuada por cada subsistema y los flujos entre subsistemas y el entorno. La evolución es la modificación de las leyes de transformación de los subsistemas, de la frontera del sistema, del modo de organización de los subsistemas y de los canales de comunicación entre el subsistema y el entorno (Berroterán 2001).

En este sentido el enfoque ecosistémico representa una estrategia para la gestión integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos y para mantener o restaurar los sistemas naturales, sus funciones y valores de tal manera que se promueva la conservación y el uso sostenible de los ecosistemas de una forma justa y equitativa, participativa y descentralizada, a través de la integración de los factores ecológicos, económicos, culturales y sociales dentro de un marco geográfico definido principalmente por límites ecológicos (Andrade 2004).

Los ecosistemas engloban los sistemas económico-sociales y las reglas ecológicas determinan las reglas económicas y sociales. El ser humano prácticamente no puede trascender sus limitaciones físicas, biológicas y

ecológicas, y las leyes de la termodinámica y el aspecto de la coevaluación con la naturaleza son las limitaciones inherentes. Solamente por un tiempo corto unas pocas generaciones podrían, tal vez, burlarlas, pero a la larga la entropía las alcanzaría.

Por lo tanto, no podemos seguir tratando de estudiar los ecosistemas sin considerar los principios generales de la termodinámica y los flujos de materia, energía e información. El supuesto es que la complejidad ambiental no permite entender el funcionamiento de los sistemas en su totalidad.

Si bien es cierto que no existen suficientes conocimientos científicos sobre estos sistemas abiertos, cuyos procesos de evolución, por ser inciertos, dinámicos y en parte irreversibles están fuera del alcance del razonamiento humano, debemos realizar mediciones analíticas exactas en busca de identificar principios generales, pero de carácter fundamental, sobre los sistemas y los respectivos impactos humanos.

3.1.1.1 Resiliencia, Resistencia, Estabilidad e irreversibilidad.

En la actualidad es muy común referirse a la estabilidad de los sistemas ecológicos. Aunque existen definiciones que enfatizan distintos aspectos, en general la estabilidad está compuesta por: a) la resiliencia o capacidad con la que el sistema regresa a sus condiciones originales y b) la resistencia, que es la capacidad del sistema para soportar disturbios. Estas propiedades son parte de un concepto muy amplio, el del equilibrio, que ha servido como un marco de referencia obligado al estudiar ecosistemas (INE 2007).

Los disturbios de origen humano normalmente no liberan recursos; de hecho, modifican tan profundamente algunas propiedades del sistema que las especies no tienen la capacidad de aprovechar estos tipos de disturbio. La pérdida de la capacidad de regeneración tiene como principal consecuencia la degradación del ecosistema (DeLeo & Levin 1997).

La visión de la estabilidad como propiedad de los ecosistemas, u homeostasis, representa la habilidad de un sistema para retornar al estado de equilibrio después de los cambios o perturbaciones temporarias; mientras más rápido retorne a la situación de equilibrio, más estable es el sistema. Ese estado de equilibrio, sin embargo, variará según factores externos e internos impredecibles. Las poblaciones, comunidades y ecosistemas tienen más de un estado de equilibrio, y las transiciones pueden variar en la escala del tiempo. Entonces, la dificultad reside en definir cuál es el estado de equilibrio y qué parámetros nos indican qué es equilibrio y qué no lo es.

El equilibrio de los sistemas es un equilibrio dinámico de flujo y una función del contexto. Los analistas ambientales y al final los diseñadores de políticas deben, más que todo, estar conscientes de controlar los procesos de los sistemas ambientales en su respectivo contexto, el rango histórico de las perturbaciones del sistema, los límites evolutivos y fisiológicos de los componentes del sistema, y la caracterización e impactos por la intervención humana de corto y largo plazo (Pickett y *col.* 1992, citado por Janssen 2001).

Cuando se habla de ecosistemas es también válido tener en cuenta que el todo es mayor a la suma de las partes, y si se considera al ecosistema como un “superorganismo” o una “macroespecie” la variabilidad de la que se habló en los puntos anteriores podría extrapolarse a la diversidad biológica, y por ello es que DeLeo & Levin (1997) plantean que un ecosistema diverso es más estable.

Los ecosistemas son el producto de cientos o miles de años de evolución conjunta y adaptación, por medio de procesos de sucesión ecológica. Al perderse una o más especies, se interrumpen parcial o totalmente uno o más de los procesos naturales que mantienen el flujo de materia y energía del cual depende el funcionamiento del ecosistema (DeLeo & Levin 1997).

Esto ocasiona perturbación en las redes tróficas y en los mecanismos de control de la diversidad de las comunidades, cuando se desestabiliza el funcionamiento de un ecosistema se afectan negativamente las especies y

procesos más sensibles y por ende todas las especies y mecanismos relacionadas con este, ocasionado una reacción en cadena que lleva a la reducción de la biodiversidad, que a largo plazo puede cambiar totalmente la estructura y funcionamiento del ecosistema por medio de procesos de sucesión ecológica.

Si los recursos hídricos se sobre utilizan o se dejan degradar, sacando mucha agua o vertiendo muchos desechos, el ecosistema puede perder fácilmente su capacidad de resiliencia y comienza a perderse su integridad ecológica, lo cual hace a su vez difícil que se puedan suministrar los servicios ambientales que la población demanda (Kammerbauer 2001). Los procesos se vuelven irreversibles y el sistema ya no es capaz de reponer la estructura y/o funciones alteradas después de los ciclos de perturbaciones que han afectado y afectan la estructura y la función de un ecosistema las cuales imponen en los ecosistemas una manera de contribuir en la estructura y la función del mismo (UICN 2000).

Los límites de funcionamiento de un ecosistema están dados en gran parte por su resiliencia, es decir, por la capacidad de responder a las perturbaciones naturales o antrópicas, sin afectar sus características estructurales y funcionales de manera irreversible. Este concepto es fundamental, ya que en muchos casos ha existido la tendencia a separar los componentes físicos y bióticos del ecosistema, de los antrópicos, como si éstos fuesen independientes.

En consecuencia, no sólo desde una perspectiva ecológica ambiental, sino también socioeconómica, el concepto de resiliencia, como capacidad de recuperación y auto-organización de los sistemas cuando han sido sometidos a esfuerzos, se presenta como un elemento clave de la sostenibilidad y conservación de los ecosistemas. Estas propiedades de resistir fluctuaciones externas y de auto organizarse dependen, también, de la estructura y disposición funcional de los sistemas, así como de un gran número de variables.

Una variable esencial, tanto en los sistemas naturales como en los sociales, es la diversidad de especies que canalizan los flujos de materia y de energía, así como de la forma en que esta diversidad está organizada y mantiene las

interacciones entre las partes componentes, lo cual define, finalmente, la salud total del sistema en su conjunto.

Cuando la biodiversidad disminuye, se pierden las habilidades de resistir cambios y se pierde información para que el ecosistema pueda crear nuevas condiciones de equilibrio. De la misma forma, la actividad económica puede perder también resiliencia cuando se encuentra sometida a determinadas presiones ambientales.

Por ello, los sistemas económicos y de producción, en general, pueden dejar de ser sostenibles a largo plazo si se debilita su capacidad de superar las tensiones y presiones externas por haberse sobrepasado los límites ambientales y quedar sujetos a saltos bruscos e irreversibilidades (DeLeo & Lavín 1997).

Con esta óptica, la sostenibilidad es un concepto relacionado con la capacidad de un sistema para seguir funcionando de forma permanente en todas sus dimensiones. El aspecto biofísico se puede considerar primario para absorber los impactos humanos y sostener permanentemente todas las formas y procesos de vida.

Pero, además, una comunidad no será sostenible sin tener garantizada una economía productiva no decreciente, y sin mantener la suficiente cohesión de su tejido social.

Una cuestión significativa es la consideración de que determinados desequilibrios naturales deben formar parte de la dinámica interna del sistema. Es más, parece ser que algunas perturbaciones naturales pueden ser cruciales para fomentar la resiliencia auto organizativo y la integridad del propio ecosistema.

Si alguna de estas perturbaciones naturales (tales como algunas alteraciones por fuego, herbívoros, viento, entre otras) no pudiera entrar en la dinámica del ecosistema, probablemente éste se volvería más frágil e, incluso, se podrían presentar, previsiblemente, mayores perturbaciones con el consiguiente riesgo de destrucción masiva (Jiménez 2002).

Si bien es cierto que las perturbaciones pueden ser cruciales para fomentar la resiliencia en los ecosistemas, en los últimos años las perturbaciones de origen antrópico han superado la resistencia de los ecosistemas notablemente, sacándolos del equilibrio y aumentado su tiempo de resiliencia, ya que dichas perturbaciones no solo disminuyen la diversidad de especie presentes dentro del ecosistema sino desaparecen procesos claves dentro del mismo.

Es por ello que hoy más que nunca en nuestro país es necesario que todas las actividades susceptibles a degradar el ambiente, como lo son las actividades explotación petrolera, deben estar acompañadas con un estudio de impacto ambiental y socio cultural a fin de prevenir desequilibrios ecológicos los cuales se convierten en desastres ambientales.

3.1.1.2. El territorio visto como un sistema abierto y complejo.

Como es de suponer existen muchas definiciones de sistemas, provisoriamente vamos a aceptar una de las más sencillas que nos servirá de iniciación la cual lo considera como; un conjunto complejo de elementos o de componentes que están directa o indirectamente relacionados en una red causal, de tal modo que cada componente se relacione por lo menos con algunos otros en forma más o menos estable dentro de un cierto periodo de tiempo (Marecos 2009).

Los sistemas intercambian con su entorno, energía, información y, en la mayor parte de los casos, también materia. Una célula, un ser vivo, la biosfera o la tierra entera son ejemplos de sistemas naturales.

El concepto se aplica también a sistemas humanos o sociales, como una sociedad entera, la administración de un estado, un ejército o una empresa. Encontrar lo común a entidades muy diferentes, encontrar leyes generales del comportamiento de los sistemas es lo que funda la teoría de sistemas y, más en general, aquella tendencia de la investigación a la que se alude como pensamiento sistémico, en cuyo marco se encuentran disciplinas y teorías como la Cibernética, la Teoría de la información, la Teoría de juegos, la Teoría del caos entre otras (Von Bertalanffy 1976).

Vivimos en un planeta, con una gran diversidad de sistemas biológicos que se sostienen y conservan en un gran macrosistema llamado biosfera. En esta, el hombre, hoy juega un lugar preponderante en la conservación de sus cualidades sistémicas, ya que sus acciones, tanto en forma y extensión territorial, como por la acumulación de sus efectos, sobrepasan la capacidad de resistencia y resiliencia de los ecosistemas naturales locales, regionales, y finalmente del sistema global de equilibrios energéticos.

En efecto, un principio básico de la teoría de sistemas complejos afirma que toda alteración en un sector se propaga de diversas maneras a través del conjunto de relaciones que definen la estructura del sistema y, en situaciones críticas (baja resiliencia), genera una reorganización total. Las nuevas relaciones y la nueva estructura que de allí emergen implican tanto modificaciones de los elementos, como del funcionamiento del sistema total.

El juego dialéctico involucrado en la doble direccionalidad de los procesos, va de la modificación de los elementos a los cambios del funcionamiento de la totalidad, y de los cambios de funcionamiento a la reorganización de los elementos, lo que constituye uno de los problemas que ofrece mayor dificultad en el estudio de la dinámica de los sistemas complejos.

Estas interacciones entre la totalidad y las partes no pueden ser analizadas fraccionando el sistema en un conjunto de áreas parciales que correspondan al dominio disciplinario de cada uno de los elementos.

El territorio es el espacio geográfico adscrito a un ser, a una comunidad, a un ente de cualquier naturaleza, física o inmaterial: el espacio de vida de un animal, el área de aparición de una especie vegetal, el ámbito de difusión de una lengua o de cualquier otra práctica social, entre otros (Naranjo 1998).

En este mismo orden de ideas tenemos que el territorio es un recurso con historia, producido, manejado y valorado en forma colectiva. Situación que nos remite a una gestión y administración colectiva del espacio geográfico. El territorio

por lo tanto se convierte en un transitar constante entre lo público y lo privado, la propiedad colectiva y la propiedad individual, lo local y lo regional (Delgado 2007).

Así la TGS, considera al territorio como un sistema abierto, que permite identificar las características básicas de sus elementos, que se caracteriza por ser una construcción social, un espacio apropiado por la gente que lo habita, donde se dan relaciones de diferente índole y magnitud como son las relaciones económicas, de poder, de vinculación con la naturaleza, de saberes, cosmovisión, sociales, de construcción y reconstrucción de identidades culturales.

Los sistemas abiertos, por el hecho de recibir energía, pueden realizar el trabajo de mantener sus propias estructuras e incluso incrementar su contenido de información y mejorar su organización interna (Marecos 2009).

Cada uno de los conjuntos se considera como un subsistema, ya que representan funciones específicas, el sistemas de relaciones naturales permiten la conservación de la vida, en todas sus formas, incluyendo las sociedades humanas en cualquiera de sus expresiones culturales y sociales mientras que la organización estructural o de acciones operacionales, está formado por los elementos que componen la estructura e infraestructura imprescindibles para que se de la ordenación jurídico-administrativa (Cervantes y Gómez 2007).

Es importante entonces, que la planificación y ordenación territorial considere el enfoque sistémico, y sobre todo reconozca al territorio como un sistema, complejo y abierto, que intercambia energía, materia e información, donde su estructura, dinámica y evolución depende del funcionamiento del paisaje ecológico y los ecosistemas incluidos en el, en los cuales se dan las interacción entre los componentes naturales (abióticos y bióticos), técnico-económicos y socio-culturales, en este sentido, la Ordenación Territorial busca organizar el territorio de forma racional, tanto para la conservación de la naturaleza como para la realización de las actividades del hombre.

3.1.1.3. El enfoque sistémico y la ordenación del territorio

La humanidad ha mostrado a lo largo de su evolución la tendencia a modificar los ecosistemas terrestres. Conforme las poblaciones han crecido, se ha expandido el potencial de la tecnología, lo que ha producido que los alcances y naturaleza de estas modificaciones hayan cambiado drásticamente.

Los seres humanos han formado paisajes a sus necesidades socioeconómicas, siendo los ecosistemas y paisajes rurales algunos de los resultados del uso y aprovechamiento de los recursos naturales.

El desarrollo acelerado de los pueblos, el incremento de la población humana con su consecuente demanda de recursos naturales, y la búsqueda de mejores condiciones de vida para la población en general, entre otros factores, han provocado que las actividades económicas se desarrollen muchas veces en sitios susceptibles a ser degradados, como áreas erosionadas, forestadas, inundadas o inundables, etc., lo que causa una ruptura en el equilibrio ecológico con serias consecuencias naturales y económicas.

El constante desarrollo que ha tenido lugar el mundo en las últimas décadas ha provocado un desastre ecológico, debido a la carencia de proyectos adecuados de planeación ambiental, que se manifiestan en avance de las áreas erosionadas, disminución de hábitats, pérdida de especies animales y vegetales, empobrecimiento o salinización de tierras agrícolas, entre otros.

La intervención sobre los ecosistemas naturales ha dado como resultado una reducción de la complejidad de éstos, debido a la implantación de procesos dirigidos a la obtención de pocos productos, es decir, hacia la “monofunción” en contra posición a los servicios múltiples que puede ofrecer los ecosistemas. (Recalde y Zapata 2007).

Desde esta perspectiva, se han desarrollado principios básicos de trabajo donde el ordenamiento territorial surge como una estrategia básica para lograr el desarrollo sustentable, entendiendo el ordenamiento en términos de planeación físico-espacial, el cual tiene como fin atender el uso adecuado de los recursos naturales.

El ordenamiento territorial busca, a través de la planificación, la localización apropiada de las actividades productivas, la infraestructura, el equipamiento urbano y los servicios, con el propósito de alcanzar la equidad en el desarrollo regional, lo cual permite combatir las causas estructurales de la pobreza y marginación, así como maximizar la eficiencia económica, optimizando el aprovechamiento de cada territorio (Massiris 2002).

En uno de sus enfoques, el ordenamiento territorial reconoce al territorio como un sistema complejo, abierto a perturbaciones naturales, económicas, sociales y políticas, el cual tiene una determinada frontera histórica, que contempla distintos niveles de aproximación en el análisis de los subsistemas, y que reconoce los procesos primordiales que les dan explicación causal y que se expresan geográficamente (García, 1986 citado en Cervantes y Gómez 2007).

En todas las actividades actuamos de manera sistémica, la diferencia más importante es que, la mayoría de las veces no tenemos explícita esa manera cotidiana de ver y de actuar (Mareco 2009).

En este sentido la TGS, brinda un marco amplio en el cual insertar la investigación diferenciando claramente el enfoque elementalista del enfoque sistémico. "Bertalanffy propone el uso del enfoque sistémico para recomponer aquellas piezas de la realidad que la ciencia desmembró con un propósito analítico" (Von Bertalanffy 1976).

Como disciplina científica, la ordenación del territorio estudia la biosfera, concepto de índole abstracto que alude al conjunto superficial de la tierra y zona de la atmosfera donde es posible la vida. La totalidad del planeta es un sistema dinámico que evoluciona en el tiempo, y en el seno del cual se establecen una serie de ciclos en continua relación dialéctica (Ciclos Biológicos, Ciclos dinámicos inertes: Geomorfológicos, Hidrológico, Atmosférico).

Tanto en el sentido biológico como antrópico (puesto que el desarrollo tecnológico de la humanidad permite la supervivencia en las zonas inhóspitas, por ejemplo en la Antártida) se puede decir que la biosfera abarca la globalidad de la

geosfera y ambas podrían asimilarse y hablar entonces de una ecosfera o ecosistema mundial (Ferrol Vizcaíno, S/F).

La ordenación del territorio, coincide básicamente en su objeto y en sus métodos con la geografía, esta estudia el espacio terrestre con una finalidad descriptiva explicativa, mientras que la primera lo hace con finalidad normativa. Otras muchas disciplinas contemplan también el espacio. La diferencia está en que, para la ordenación del territorio y para la geografía, el espacio no es solamente una variable o referencia explicativa mas, sino es el objeto de análisis y la norma.

La similitud del objeto de estudio y diferentes obstáculos institucionales determinan que la planificación territorial integrada e interdisciplinar se constituya. Sin embargo, en la práctica lo tradicional ha sido la separación básica en dos modalidades básicas paralelas de la ordenación territorial, la de carácter socio económico (urbana y económica) y la planificación territorial del medio físico natural o planificación física (Santis- Arenas, 2002).

La industrialización contaminante, la depredación de la naturaleza y todo tipo de usos irracionales del suelo, ha originado un deterioro progresivo del ambiente natural, que parece difícil frenar, alterando su equilibrio ecológico y poniendo de relieve la limitación y escasez de recursos.

Es por ello que no se puede seguir considerando a la naturaleza como un “recurso económico” sino como un sistema natural cuyo valor depende de su funcionamiento integrado y regulado.

Han aparecido nuevos enfoque, debido a las insuficiencias de los estudios tradicionales, desde una óptica global y una filosofía conservacionista, encaminados a la resolución de los problemas complejos, también globales, que afectan al ambiente en su conjunto, su equilibrio ecológico.

Uno de ellos ha sido el propuesto por Schwartz y colaboradores (2000), que viene a constituirse en un nuevo paradigma para la ecología de la conservación, que es la conservación de ecosistemas.

Por lo tanto, la metodología para los diferentes planes de ordenación territorial deben reconocer los flujos de energías, redes, nudos, jerarquías, superficies y procesos ecológicos. Una manera de hacerlo es considerar al territorio como un sistema, donde se consideren los asentamientos humanos, las áreas rurales y agrícolas, las áreas naturales y el marco jurídico-político.

Los planes de ordenación territorial, a diferentes escalas se han convertido en un instrumento clave para la planificación de políticas del territorio. En este sentido, la planificación territorial, se convierte, en una herramienta eficaz para la prevención del desarrollo susceptible a degradar áreas naturales.

Por lo tanto, es necesario que la ordenación del territorio quede subordinada, a las consideraciones ecológicas a través del enfoque sistémico, no sólo de manera teórica o metodológica, sino que este sea aplicado por lo equipos multidisciplinares de entes gubernamentales o no, que realizan la planificación ambiental. Ya que se trata de que las actividades de desarrollo del territorio encajen dentro de las medidas que eviten o corrijan el posible deterioro ambiental.

El enfoque sistémico dentro del ordenamiento territorial, debería tener como objetivo principal superar la planificación sectorial y lograr una planificación integrada que tenga en cuenta la capacidad del territorio y los impactos de los diferentes usos o actividades, tratando de maximizar la capacidad o aptitud y de minimizar los impactos ambientales.

3.1.2. Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) como un instrumento de la Gestión Ambiental.

3.1.2.1. Planificación como sustento de la Ordenación Territorial

En los diferentes enfoques analíticos sobre el desarrollo se resalta la necesidad de abordar la cuestión de la planificación a partir de una visión de

conjunto, de totalidad, como otra dimensión clave para la viabilidad de cualquier proyecto nacional, regional o local de desarrollo, donde lo territorial debe incorporarse adecuadamente.

La ordenación del territorio se materializa a través de la planificación territorial; en el caso de Venezuela la planificación territorial tiene base constitucional y es desarrollada por diferentes leyes en la actualidad.

En el marco constitucional, surge de manera imperativa la necesidad de ordenar el territorio a los fines de su dominio, integral y racional, por el hombre, y de su explotación económica mediante actividades de desarrollo, teniendo en cuenta las políticas de conservación, un instrumento indispensable para la ordenación del territorio (López y Col., 1995).

La política territorial y la planificación territorial en Venezuela, parte de su consagración con base jurídica institucional y el carácter federal del estado venezolana, mientras que la planificación se plasma en las diferentes políticas de ordenamiento territorial.

La Ordenación Territorial (OT) es el conjunto de políticas públicas y planificaciones con repercusiones territoriales, encaminada a la coordinación y compatibilización de los usos y funciones que coexisten en un determinado territorio, es decir el conjunto de disposiciones legales, planes, programas y actuaciones que de manera integrada, desarrolla un gobierno de modo que las actuaciones territoriales respondan a los deseos del bienestar y en general, a mejorar y elevar la calidad de vida de las personas (Anzola,2003).

En Venezuela, la OT desde su origen en 1980, se ha visto asociada a la planificación en sus más amplias manifestaciones: urbana, económica-social, física y regional en el proceso de descentralización.

Antes del surgimiento de la política de OT, Venezuela había experimentado, al igual que el resto de los países latinoamericanos, diversos enfoques de planificación tanto sectorial como plurisectorial, que han y siguen incidiendo sobre el territorio.

En tal sentido, se destacan la planificación regional, la urbana, la económica, la ambiental y la urbanística, que evolucionaron progresivamente hasta llegar a la OT o política territorial (ver Cuadro 3) (Massiris 2002).

1940	1950	1960	1970	1980
Planificación regional	Planificación Urbana	Planificación Económica	Planificación Ambiental	Ordenación Del Territorio

Cuadro 3. Evolución progresiva de la planificación

En cuanto al sistema nacional de planificación (Cuadro 4), con base a lo pautado en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela en sus artículos 128 , 156, 178, 304 (CRBV 1999), se establece un marco normativo que ha comenzado a desarrollarse en las leyes que instauran la organización y el funcionamiento de órganos como los Consejos de Planificación y Coordinación de Políticas Públicas, los Consejos Locales de Planificación Pública y el Consejo Federal de Gobierno, lo cual permitirá que a través de los mecanismos institucionales del estado se logre que los recursos y acciones públicas asociados con el progreso del país, se asignen y realicen de manera planificada.

Sistema Nacional de Planificación	
Instancia	Competencia
Presidencia de la República	Formular el Plan Nacional de Desarrollo y dirigir su ejecución, previa aprobación de la Asamblea Nacional.
Gobernador de cada Estado	Elaborar el Plan Estatal de Desarrollo, en coordinación con el Consejo de Planificación y Coordinación de Políticas Públicas, los organismos regionales y los Consejos Locales de Planificación Pública.
Alcalde de cada municipio	Elaborar el Plan Municipal de Desarrollo en concordancia con los planes nacionales, municipales y estatales, y en coordinación con el Consejo Local de Planificación Pública.

Cuadro 4. Sistema nacional de planificación venezolana

El Consejo Federal de Gobierno, asume prácticamente muchas de las actividades propias de los entes territoriales (estados y municipios).

En relación con las políticas territoriales, han existido varios instrumentos donde éstas están plasmadas. En 1998 se propuso el Plan Nacional de Ordenación del Territorio (Pnot), el cual fue aprobado formalmente con base en la vigente Ley Orgánica de Ordenación del Territorio (Anzola 2003).

El Plan Económico y Social de la Nación fijó los lineamientos generales en materia de ordenación territorial; presentado por el Ministerio de Planificación y Desarrollo (MPPD), consideró la articulación de un modelo sostenible de desarrollo desde lo regional, de manera que se logren los niveles de calidad de vida que "la población venezolana se merece", en el plano económico, social, político-institucional, territorial e internacional, con actuaciones a corto, mediano y largo plazo, a través de lo que denominan: una descentralización desconcentrada, esto en concordancia con lo que establece el Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2007-2013, respecto al equilibrio territorial, específicamente, donde se plantea como objetivo la ocupación y consolidación del territorio para disminuir los desequilibrios territoriales (PNDR 2001).

En este mismo orden de ideas, tenemos las Líneas Generales del Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2007-2013, en las que también se consideró la estructura socio-territorial. Bajo la luz de este plan la modificación de la estructura territorial, se inscribe en un horizonte temporal de mediano y largo plazo, requiriéndose esfuerzos sostenidos y coherentes de gestión pública, planificación estratégica y movilización de actores políticos y fuerzas sociales con una visión geoestratégica compartida en función de lograr un nuevo sistema económico-productivo, diversificado e integrado, tanto funcionalmente como territorialmente. Así como la inclusión social a través de la incorporación de espacios y actividades productivas bajo regímenes de producción social, cooperativos, asociativos y solidarios, donde la participación protagónica y corresponsable signe las nuevas relaciones de producción, cuyos resultados sean acumulables y favorezcan la modificación de los patrones de asentamiento (PDESN 2007).

En este sentido, el OT es un proceso planificado y como tal se expresa mediante planes, los cuales constituyen su principal instrumento. El carácter

planificado hace del OT un proceso sujeto a los procedimientos de la planeación que involucran a muchas instituciones y actores sociales. Esto, más el carácter integral antes expuesto, hace necesario contar con una organización institucional que haga viable su ejecución y garantice la fluidez interinstitucional de información, la complementación de acciones y la coordinación estrecha en la elaboración de estudios diagnósticos y prospectivos y en la formulación y ejecución de planes y proyectos (Anzola 2003).

Dicha organización incluye distintas acciones de organismos públicos del territorio a ordenar y de organismos de jerarquía superior e inferior, lo cual plantea una necesaria coordinación vertical y horizontal, y el reconocimiento de la diversidad del territorio en la formulación del plan.

En las políticas y planes del ordenamiento territorial, a diferencia de lo que ha ocurrido con las políticas sectoriales, no se pueden ignorar esta diversidad actores. En esto radica una de las diferencias esenciales entre la visión sectorial y la territorial del desarrollo. El OT al dar un marco territorial a los planes sectoriales indicará a éstos las estrategias y proyectos más apropiados para cada unidad territorial particular.

En Venezuela en algunos casos, la praxis se ha alejado de lo establecido. En materia de ordenación del territorio existen situaciones en las que lo que establece el marco jurídico y los planes de ordenación del territorio, es diferente de lo que ocurre en la realidad. Ello se aprecia con mayor claridad en el manejo de las denominadas Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (Abrae), de los estados y de las ciudades.

Con la planificación se pretende regular o controlar las actividades de los individuos y grupos, de modo que los efectos negativos que puedan surgir se reduzcan al mínimo, introduciendo un acercamiento entre planteamientos económicos y ecológicos, de manera que se incorporen los costos ecológicos a los procesos económicos, se adecúen los sistemas de producción y consumo al marco del desarrollo sostenible.

Ello plantea la necesidad de que se realice o adopte una zonificación del territorio que permita a las políticas de vivienda, de servicios públicos domiciliarios, de servicios sociales, de infraestructura de transporte, así como las políticas de manejo ambiental, saber que usos dar al territorio, donde localizar los equipamientos, cuáles son los problemas más críticos y prioritarios, así como la naturaleza y dimensiones de la infraestructura.

No podrá, en este sentido, plantearse una política de vivienda popular o de interés social, por ejemplo, con viviendas de iguales características físicas, ignorando si se trata de un espacio urbano o rural, indígenas o de colonos, minero o de campesinos minifundistas, cada uno con una historia, una experiencia, unas expectativas y un concepto de bienestar generalmente distintos a los que los planificadores de las ciudades piensan.

El carácter prospectivo-estratégico de los procesos de OT, es otro punto interesante a tratar ya que en este se deben utilizar cortes conceptuales y metodológicos de la perspectiva territorial estratégica. Principalmente las visiones alternativas de un futuro deseado, escenarios alternativos de futuros posibles y métodos que permitan convertir las expectativas en imágenes objetivo que servirán de guía para las actuaciones.

Los procesos de OT deben estar soportados en propuestas concertadas de futuro, una imagen objetivo de largo plazo y un proyecto político de nación que indique el rumbo. Una reflexión prospectiva también implica ubicar al territorio en estudio dentro de los procesos globales que lo afecta (aprovechando fortalezas y oportunidades o superando las debilidades y desventajas y formular objetivos y proyectos estratégicos mediante los cuales se dirijan hacia la situación deseada).

En lo que respecta al carácter democrático y participativo del proceso de planificación y OT, se puede decir que en la mayoría de los países latinoamericanos la participación social es de carácter consultivo, por lo que no incide de manera significativa en las decisiones finales; por lo que es necesario que en la política de OT se convierta a la participación social en la formulación de

los planes en un proceso de negociación democrática del poder sobre el espacio (Sanabria 2010).

De esta forma, al regular el uso y ocupación del espacio de manera concertada implica el conjunto de intereses económicos, políticos, sociales y ambientales defendidos por distintas fuerzas sociales. La legitimidad social de un plan de ordenamiento territorial va a depender del logro de un plan socialmente concertado.

Por lo tanto el OT como se ha señalado, es un proceso de planificación que conduce a prever cómo se dispondrán, sobre el territorio, los asentamientos humanos, las actividades del hombre y la infraestructura; y cómo, en esa disposición o arreglo, deberán manejarse los espacios naturales y sus bienes ambientales.

3.1.2.2. Ecología del Paisaje y el Ordenamiento Territorial

Cuando en el enfoque ecosistémico, se aplican las escalas espaciales y temporales apropiadas, se facilita la evaluación geográfica e histórica de los procesos ecológicos, sociales y culturales que se dan en un territorio. Ya que este se fundamenta en los criterios de representación cartográfica de los ecosistemas, incluyendo aspectos sociales y económicos, así como de los procesos que allí se desarrollan, en una perspectiva diacrónica o histórica.

La dimensión geográfica aplicada al estudio y análisis de los ecosistemas fue desarrollada en gran parte por Alexander von Humboldt, al introducir el concepto de Paisaje, como una “porción integra de la superficie de la Tierra”. Mientras que el concepto de Ecología del Paisaje, fue introducido por el geógrafo y ecólogo alemán, Carl Troll a finales de 1930, quién combinó el concepto ecosistémico definido por Tansley y por la visión holística que le permitía el análisis geográfico del paisaje a través de las fotografías aéreas (Andrade 1994).

La escala geográfica de un proyecto o el alcance espacial de una política, está determinada en gran parte por los objetivos. Este aspecto es de alta relevancia ya que permite determinar el tipo de información requerido y el nivel de detalle con la cual se deba obtener. La adecuada implementación de este principio

permite el uso eficiente de los datos y suministra criterios para establecer la línea base de un proyecto o una política. Igualmente, aporta elementos para establecer la pertinencia del uso de imágenes de sensores remotos (fotografías aéreas, imágenes de satélite, radar, entre otros), la evaluación de la cartografía disponible y el diseño de métodos de verificación y caracterización.

La dimensión territorial de los análisis ecológicos, promoviendo la permanente georeferenciación y el análisis espacial de los mismos, así como la información espacial y su adecuado análisis, constituyen la base para el desarrollo de modelos y simulaciones sobre el futuro de un ecosistema y la forma como se pueden afectar o controlar diferentes procesos en el tiempo (Andrade 2004).

Esta integración de la ecología con el estudio y análisis del paisaje ha dado origen a la Ecología del Paisaje (Landscape Ecology), como una ciencia de síntesis cuyo principal interés es el estudio de las características estructurales y funcionales de los ecosistemas y contribuye a presentar la dinámica de los procesos ecológicos. Reconoce el conjunto de actividades desarrolladas por el hombre, como uno de los factores relevantes en la formación de los paisajes culturales, la síntesis material de los procesos y estructuras el nivel ecosistémico, la conforma el paisaje.

La unidad de paisaje se constituye como la unidad fundamental de análisis y se define como un complejo de sistemas relacionados, que conjuntamente forman una porción reconocible de la superficie de la tierra y está formada y mantenida por la acción mutua de fuerzas bióticas y abióticas, así como por la acción del hombre (Andrade 1994).

El objeto central de análisis de la ecología del paisaje, es la estructura, función y cambio del paisaje, sea en ambientes terrestres o acuáticos. Ha sido la base conceptual de la planificación ecológica, debido a su estrecha relación entre el estudio de la ecología de los paisajes naturales y transformados, sus patrones y procesos, la definición de hipótesis y predicciones sobre el funcionamiento del paisaje y su respuesta a la influencia natural o inducida por el hombre.

El principal aporte de estos conceptos a la aplicación del enfoque ecosistémico, es el reconocimiento de una dimensión espacial en el análisis, la dimensión temporal, los límites de funcionamiento normal, entre otros. La incorporación de la especie humana y su cultura como un componente más de los ecosistemas y paisajes terrestres y acuáticos, cuyas acciones interactúan con los demás procesos físicos y bióticos, todos en su conjunto determinan un patrón específico, el cual puede ser visto desde el enfoque sistémico como el moldeado de la trama ecológica, en función de las realidades de cada región (Andrade 1994).

3.1.2.3. Ordenamiento Ecológico Territorial (OET)

Santana (2004), plantea que el Ordenamiento Territorial es un proceso mediante el cual se orienta la ocupación y utilización del territorio, dispone como mejorar la ubicación en el espacio geográfico de los asentamientos (Población y Vivienda), la infraestructura física (vías, servicios públicos, construcciones) y las actividades socioeconómicas todo en la búsqueda de una clara armonía con el entorno. El Ordenamiento Territorial permite orientar la planeación del territorio desde una perspectiva holística, sistémica, prospectiva, democrática y participativa.

El ordenamiento territorial presenta varios enfoques que se originan a partir de intereses, visiones o expectativas de quienes participan en los procesos del ordenamiento territorial o en la elaboración de los planes tales como:

- **Enfoque económico**
- **Enfoque ecológico**
- **Enfoque social**
- **Enfoque integral**

Por otro lado el ordenamiento territorial de acuerdo a estrategias utilizadas, puede ser activo, pasivo e integral.

El desafío a plantearse es como sistematizar los conocimientos actualmente existentes en la ordenación, utilizando las diferentes metodologías, cuencas

hidrográficas, la economía y la ecología, para elaborar una metodología que permita formular y realizar la evaluación económica ambiental de planes de acción en las cuencas hidrográficas tendiente a su rehabilitación productiva y ambiental, tanto como en áreas sujetas a desarrollos industriales y a la actividad petrolera.

Esta planificación se facilita con un enfoque sistémico, incluyendo objetivos de calidad ambiental considerando la dinámica y las interacciones que afectan al sistema. Según Costanza (1992) citado por (Kammerbauer 2001) la sostenibilidad ecológica implica la habilidad del sistema de mantener la estructura y función del ecosistema en el tiempo en respuesta al estrés externo.

La planificación y posterior ordenación territorial representa una perturbación que reestructura físicamente al ambiente, por tanto debe considerar el enfoque sistémico con base en los principios de la ecología del paisaje dentro de la metodología así como los siguientes aspectos: modelos de regulación de flujos de energía y materia, innovación tecnológica, nuevos sistemas de manejo y gerencia, y el cambio en la estructura del pensamiento y la valorización lo cual implica un cambio profundo y radical.

Un OTE, parece ser el camino hacia la conservación de los ecosistemas, ya que el hombre vive del ambiente directamente, (actividades agrícolas, pesqueras ganaderas y mineras) o indirectamente a través de su calidad ambiental) y paisajística (Turismo) por lo tanto no podemos optar por condiciones de explotación degradantes e irracionales.

La política de ordenamiento territorial en Venezuela y el mundo exige un nuevo camino, que incluya, un uso sustentable de los recursos naturales con un menor insumo de energía y el beneficio de los servicios ecológicos, lo cual se debe combinar con un nuevo patrón de consumo en dirección a una desmaterialización de la economía donde las comunidades y las organizaciones de base jueguen un papel determinante.

Esta alternativa la brinda el OTE el cual tiene como objetivo buscar la compatibilidad entre el manejo de los bienes ambientales, las actividades

productivas, las características socioculturales, las recomendaciones técnicas y las necesidades del pueblo. Lo que lo convierte en un modelo de desarrollo territorial que parte de los fundamentos del desarrollo sustentable, la evaluación y la planificación territorial ambiental.

3.1.2.4. Ordenamiento Ecológico Territorial como herramienta de gestión ambiental

El Ordenamiento Territorial como un instrumento para la gestión ambiental, tiene como objetivo la búsqueda del desarrollo sustentable del país, ya que con él se pretende alcanzar la máxima armonía posible en las interrelaciones de la sociedad con su ambiente. Este deberá orientar las intervenciones en el territorio y el aprovechamiento sustentable de los recursos a través de normas de uso que definan espacios con diferentes funciones de preservación, restauración y aprovechamiento, manteniendo de esta manera funciones productivas y reguladoras de los ecosistemas (Alcaldía Municipal Comalapa 2009).

Por otro lado el ordenamiento territorial está llamado a contribuir en la reducción de la vulnerabilidad y a la sostenibilidad de las actividades económicas disminuyendo los riesgos a los sistemas productivos y los asentamientos humanos derivados de fenómenos naturales y amenazas antrópicas, así como al fomento y promoción de alianzas intermunicipales que permitan la preservación, protección, restauración y aprovechamiento de recursos, territorios, potenciales y limitantes que trasciende los límites municipales.

Los planes de ordenamiento territorial se han utilizado en forma recurrente en Latinoamérica desde hace varias décadas, han sido adelantados a partir de diversos enfoques y metodologías. Las visiones que han predominado en los últimos treinta años conciben el ordenamiento territorial como la optimización de los procesos de ocupación y distribución del territorio del Estado.

A partir del siglo XXI el ordenamiento territorial a nivel mundial ha estado utilizando criterios ecológicos que han ocupado un lugar central, puesto que persigue establecer relaciones sinérgicas entre los ecosistemas naturales e intervenidos por la acción humana existentes en cada unidad territorial, sistemas y escalas de poblamiento, asentamiento y producción. Con ello se busca superar los

conflictos que surgen entre dichos sistemas, satisfacer las necesidades de la sociedad, y simultáneamente, asegurar la protección y uso sustentable de los recursos naturales.

El ordenamiento territorial ha sido planteado entonces desde su definición, como una de las vías fundamentales para proteger el ambiente, después de la Conferencia de Río como una de las estrategias fundamentales para alcanzar el desarrollo sostenible (ONU 1992).

Existen muchas dudas sobre el impacto que ha tenido el ordenamiento territorial, y una gran controversia sobre las concepciones y metodologías predominantes de factura racionalista que se han utilizado en su instrumentación.

En el territorio preexiste un orden natural que en todo caso la humanidad modifica, readecua, para un determinado tipo de aprovechamiento. Este orden es relevante en la construcción de concepciones más armónicas de relación de la sociedad con el ambiente, donde la humanidad asuma, que los ecosistemas representan procesos ordenados relativamente equilibrados de circulación e intercambio de materia y energía que tienen en el paisaje en sentido amplio y en la distribución de las especies vivas y una representación física. De esta manera, podemos asumir que ordenar un territorio es la intervención en un orden preexistente con una finalidad concreta por parte de un determinado grupo social (Alvino y Sessano 2008).

No se puede pensar en el ordenamiento territorial al margen de cuáles son los procesos que se están dando en los territorios, porque eso nos ayuda a comprender cuáles son las fuerzas que moldean el territorio (Cuellar 2008). Lo más inmediato que se nos viene en mente, cuando nos preguntamos acerca de las fuerzas que moldean el territorio, es el patrón de asentamiento de la población, tal como ocurre con los acelerados procesos de urbanización y sus consiguientes implicaciones de uso del territorio, y esta es ciertamente una dinámica fuertemente presente en todos los países de Centroamérica (Cuellar 2008).

En el caso de la mayoría de los países de América Latina, y particularmente en Venezuela, el acelerado proceso de urbanización que se ha venido

produciendo desde la década de los cincuenta, ha propiciado el incremento de los problemas ambientales, como son la contaminación del aire y del agua, la vulnerabilidad de las viviendas, el déficit en el suministro de agua potable, el inadecuado tratamiento de aguas servidas y el ineficiente servicio de recolección y disposición final de los desechos sólidos. Lo cual ha incidido en la producción y reproducción de elementos que afectan la calidad de vida de los habitantes de nuestras principales ciudades. Ante esta realidad, la consideración del ambiente en la planificación territorial urbana es un aspecto de vital importancia. (Semeco 2002). En este sentido la gestión ambiental busca la adecuación en las relaciones entre la sociedad y su entorno natural, con independencia de que los programas concretos que se utilice para ello y por lo tanto, con independencia de que los instrumentos gestores pertenezcan a la economía, a la política, a la ciencia, al derecho o a la administración ambiental (Rodríguez-Becerra y Espinoza 2002).

La gestión ambiental es una respuesta a la creciente gravedad del impacto humano sobre los recursos naturales y los ecosistemas. Con una población global de la base más pequeña y un uso menos generalizado de la tecnología, el ambiente debe ser capaz de recuperarse por sí mismo por el mal uso humano, pero ahora es ampliamente reconocido que en muchos de los casos la intervención positiva es necesaria si la idea es recuperar los ecosistemas.

Es muy clara entonces, la importancia que reviste el ordenamiento territorial como instrumento para la gestión ambiental, al igual que en el diseño de un plan de desarrollo territorial, enfocado hacia el desarrollo sustentable. El enfoque ecosistémico (por ecosistemas) en el ordenamiento territorial es una estrategia ya utilizada en Venezuela para la gestión integrada de tierras, extensiones de agua y recursos vivos, mediante la que se promueve la conservación y utilización sostenible de modo equitativo.

Siendo el ecosistema un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente, que interactúan como una unidad funcional, este puede ser referido a cualquier unidad en funcionamiento a cualquier escala; el análisis y las acciones a tomar se deben determinar en función del problema de que se trate y de la escala de trabajo.

El enfoque ecosistémico constituye un marco para el análisis amplio. Bajo estas consideraciones concurren las dimensiones social, económica y ambiental que facilitan una mayor aproximación a lo real concreto contemporáneo que está ocurriendo en el ecosistema, así como también la proyección de acciones futuras, necesarias, a fin de encauzar su sostenibilidad. Este enfoque tiene como parte esencial al hombre en su interacción con la naturaleza y al hombre en su propio desarrollo; de ahí su valor, a los efectos de la concurrencia de las dimensiones social, económica y ambiental (Arellano 2002).

El OET, el cual se basa en el enfoque ecosistémico, va más allá de la sumatoria de los componentes que brinda el ordenamiento territorial.

Desde su visión multidisciplinaria, demuestra que como base de análisis y propuestas para el OET, es requisito tener en cuenta y conocer elementos tanto físico-geográficos como socioeconómicos, enmarcados dentro de los primeros algunos como son; la estructura y funcionamiento entre los diferentes componentes naturales (características del substrato geológico; rasgos morfológicos, morfométricos, genéticos, morfoestructurales y dinámicos del relieve emergido y submarino ; régimen climático anual y estacional, y susceptibilidad a procesos y fenómenos hidrometeorológicos peligrosos, su vulnerabilidad y riesgos; regularidades del escurrimiento superficial y subterráneo; relaciones entre los tipos de suelos y la vegetación, la flora, fauna, y sus hábitats; las interrelaciones funcionales entre los distintos geosistemas, el paisaje, entre otros aspectos del entorno), todos ellos en su dinámica, interrelación y resultados, que dan la posibilidad de determinar el tipo de unidades ecológicas territoriales, su evolución, usos compatibles y propuestas para su sustentabilidad y desarrollo, así como los elementos socioeconómicos entre los que están; población, asentamiento (Infraestructura), salud, turismo, agricultura (pecuaria, agrícola, forestal), transporte, comercio, educación, consejos populares, industria, manejo del agua y educación ambiental. (Quintana y col, 2006).

El desarrollo del enfoque metodológico propuesto permitirá el adelanto de estudios integrales que contribuya a la formulación de alternativas de acuerdo al conocimiento de características socio ambiental económico y cultural imperante

con fines de planificación territorial.

Por lo tanto, el OETse convierte en el instrumento de planificación de la gestión ambiental a nivel nacional, buscando dar cumplimiento a su función de orientar el desarrollo sustentable en el país, cuyo fin es dar claros lineamientos para la preservación y mejoramiento del ambiente mediante la incorporación de los procesos naturales existente dentro de los ecosistemas y su función a las prácticas de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

La políticas de ordenamiento territorial deben ser concebida y puestas en vigencia con un sentido integrador de los espacios urbanos y rurales, y con una visión que comprenda además a la conservación de los espacios naturales, en forma armónica y articulada con el sistema de ordenamiento del territorio en su conjunto. A los fines de alcanzar esta meta, tal como lo exige la norma actual.

En ambos casos, el objeto es el desarrollo total, pleno y armónico del ser humano. El proceso de ordenamiento del territorio, a su vez, tiene por objeto el manejo de conflictos por el uso del territorio y su elementos constituyentes, para poder así asignar usos del mismo, de una manera adecuada, basada en el conocimiento de sus potencialidades y de sus limitaciones, y por sobre todo teniendo en cuenta el factor social y aquellos otros que, necesariamente, son imprescindibles de proteger como determinados ecosistemas, especies o paisajes.

La planificación en el ordenamiento territorial es fundamental para cualquier estrategia de conservación ambiental. El mantenimiento de fracciones representativas, viables y sustentables de los distintos ecosistemas y hábitats es el objetivo primario de las políticas públicas de conservación. El proceso de ordenamiento territorial por definición y tal como se lo implementa actualmente en nuestro país contempla y “obliga” al trabajo conjunto y complementario de los tres ámbitos (Científico-Técnico, Social-Participativo y el Político) (Failde 2010).

La planificación, gestión e incluso el mejoramiento del ambiente se refieren a la búsqueda de la armonía de las relaciones entre la especie humana y su entorno físico y social para el desarrollo, cuyo objetivo sea la satisfacción de las necesidades humanas básicas, a través del manejo racional de todos los recursos

disponibles, con criterios de equidad y máxima participación de la población (Bennett y col. 2006).

La importancia del ordenamiento del territorial como instrumentos de gestión ambiental en todos sus ámbitos de acción parece incuestionable. Ya que se requiere de un ordenamiento territorial para hacer una gestión ambiental eficiente y de esta para la conservación de los ecosistemas estratégicos.

Lo anterior, sumado al hecho que en ciertos niveles territoriales, especialmente en el ámbito regional, los problemas ambientales, así como sus posibilidades de manejo adquieren máxima concreción, refuerza la relación entre mejor ordenamiento del territorio y gestión ambiental eficiente.

3.1.3. Aspectos Metodológicos del Ordenamiento Territorial

No hay dudas sobre el hecho de que ciencia y la técnica son actividades racionales y sistemáticas, cuyos problemas se resuelven aplicando métodos, esto es, realizando conjuntos ordenados y bien determinados de actividades intelectuales o físicas.

La metodología es la ciencia de los métodos, es decir, es el estudio crítico del conjunto de operaciones y procedimientos racionales y sistemáticos que utiliza el ser humano para encontrar soluciones óptimas a problemas complejos, teóricos o prácticos. En este sentido, y según los objetos de estudio, existen numerosas metodologías: de investigación, de enseñanza, de planeamiento, de producción industrial o tecnológica, entre otros (Morles 2002).

Está estrechamente vinculada a una ciencia muy particular, la epistemología, teoría del conocimiento o filosofía de la ciencia. Si la primera estudia, entre otras cosas, los métodos para lograr o aplicar el conocimiento bajo la hipótesis de que ello es posible, la segunda indaga principalmente sobre la posibilidad de conocer, de llegar a esa utopía de la ciencia que es la verdad.

Esta reflexiona acerca del papel de los valores, la idea de causalidad, el papel de la teoría y su vinculación con la evidencia empírica, el recorte de la realidad, los factores relacionados con la validez del estudio, el uso y el papel de

la deducción y la inducción, cuestiones referidas a la verificación y falsificación, y los contenidos y alcances de la explicación e interpretación.

Con los métodos o procedimientos se logran los objetivos de la investigación y la construcción de una evidencia empírica, estos tratan la lógica interna de la investigación y constituyen “una serie de pasos que el investigador sigue en el proceso de producir una contribución al conocimiento” tienen como meta la creación o el desarrollo de conocimiento y no solamente su verificación (Morles 2002).

3.1.3.1. Metodologías para ordenamiento territorial

El ordenamiento territorial, es en sí, una planificación del uso de la tierra y los recursos, una herramienta de la administración para guiar a un país hacia determinados objetivos y formas de desarrollo económico y social. De las características de la planificación normativa aplicada al territorio, dos aspectos marcan los esquemas metodológicos de forma más clara.

El primero es la preocupación por la construcción de diagnósticos exhaustivos, para lo que se utilizan herramientas técnicas y estadísticas que pueden tomar en cuenta aspectos económicos, sociales e institucionales; el otro elemento es la destacada preocupación por la definición de objetivos (Glico 1982).

En las primeras aproximaciones metodológicas, el factor físico y geográfico desempeñó un papel protagónico en tanto expresión material de la planificación regional, en un símil de la relación entre la planificación urbana y el desarrollo local, relacionada a la necesidad de minimizar los efectos de la intervención humana en el territorio.

La planificación territorial ha estado asociada a materias tales como: la relación urbano–rural; la planificación de cuencas hidrográficas; la planificación de la gestión de riesgos, y aspectos físicos de la planificación, como la infraestructura y localización de las actividades, zonificaciones, entre otros.

Algunos enfoques metodológicos del OT, según Rodríguez (2010), o formas para abordar el Ordenamiento Territorial son:

Desde la política: el OT culmina siempre en una decisión política.

Desde lo técnico: el ordenamiento del suelo exige un importante componente técnico y profesional para establecer las distintas alternativas posibles. Desde los agentes económicos: como destinatarios de las decisiones de ordenamiento y como influencia indirecta en la decisión final.

Desde los ciudadanos: como usuarios del suelo, partícipes del proceso de formación de políticas y de selección final de alternativas.

Desde la metodología tradicional: el plan de ordenación como estrategia rectora de la acción local en su estructuración a grosso modo toma en cuenta aspectos fundamentales para su desarrollo como:

-El diagnóstico de la unidad territorial a ordenar: en esta primera etapa, en sentido general, se realiza un análisis de los distintos aspectos que conforman la dinámica territorial y que se encuentran englobados en los elementos físico-naturales, socioeconómicos-culturales y político-institucionales. De acuerdo a lo anterior, este análisis permite estudiar, por ejemplo, la estructura y dinámica de poblamiento, los usos de la tierra, la localización de las actividades económicas, la cobertura de equipamiento de infraestructura de servicios entre otros factores, que se ven determinados por las potencialidades y amenazas ambientales. Asimismo, se debe realizar una caracterización de actores que les permita, de acuerdo a sus competencias, asumir responsabilidades específicas del plan de ordenamiento territorial con la finalidad de operativizarlo.

-La elaboración de las matrices síntesis: Estas matrices (físico-naturales, socioeconómico-culturales y político- institucionales) sintetizan los resultados obtenidos en el diagnóstico y nos permiten tener una precisión clara sobre las potencialidades y amenazas territoriales. Posterior a estas matrices síntesis, es posible formular los proyectos y programas necesarios para mejorar la calidad de vida de la población, lo cual debería ser validado por la comunidad a ordenar.

-La visión a futuro: en el plan debe estar desarrollado una visión a futuro de la unidad territorial que permita realizar una proyección de cómo será en un futuro esta comunidad, partiendo de lo que sus habitantes hayan propuesto.

-El ejercicio del plan de ordenamiento territorial: el plan debe tener definido con claridad cuáles son las instituciones que van a desarrollar cada uno de los

proyectos y programas estructurados, lo cual indicaría el éxito que el plan pueda tener. Una vez aprobado y publicado en gaceta oficial, las instituciones competentes y el organismo responsable (por ejemplo, a escala municipal, la alcaldía), deben llevar adelante las propuestas desarrolladas para dicha unidad territorial (Bustillos 2011).

Dado que en Venezuela la OT es una política de Estado y un mandato constitucional que busca promover un orden social, económico y político - institucional en espacios geográficos concretos. Esta política puede realizarse en distintos niveles ya sea nacional, regional o local.

El proceso de OT está regulado por un conjunto de leyes de carácter orgánico que, incluso, representan una limitación legal a las actuaciones sobre la propiedad privada, al libre juego de las fuerzas del mercado y a la afectación de recursos naturales, aspectos que no entran en consideración en la planificación regional del desarrollo.

En nuestro país la ordenación del territorio se hace a través de la metodología tradicional, la cual contempla la elaboración de un plan que es un instrumento de planificación a largo plazo, que se expresa por medio de una ordenanza, y sirve de marco a los planes de desarrollo económico y social, en donde se deben tomar en consideración las potencialidades del territorio, y se realiza mediante un proceso de coordinación en donde deben cumplirse los siguientes pasos:

- Diagnostico: permite el conocimiento de la situación, tomando en consideración la configuración territorial, la situación social y ambiental.
- Formulación del Plan: Se determinan las diversas actividades que se deben cumplir para alcanzar los objetivos fijados, dentro de una estrategia de desarrollo sostenible.
- Definición de los programas, proyectos tomando en consideración los recursos institucionales y los de financiamiento.
- Gestión del Plan: actividad que le corresponde al Alcalde conjuntamente con las organizaciones y las Instituciones encargadas para tal fin.

En este sentido, aunque en nuestro país existe la inquietud por la conservación del ambiente, el mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo sustentable, que son los principios que demandan la ordenación del territorio en los ecosistemas de mayor fragilidad, el proceso de ordenación del territorio ha estado articulado a una serie de instrumentos y mecanismos para controlar la ocupación y uso del territorio, no ha sido eficiente en la evaluación de los impactos que causan las actividades económicas sobre el ambiente, ni en la eliminación de problemas sustantivos que afectan a la sociedad, a la configuración territorial y al ambiente en general (Rivas 2008).

Existen muchos esquemas metodológicos, con objetivos y ámbitos temáticos que varían, lo cuales van encaminados en lo fundamental a determinar uno de los aspectos siguientes, mayor o menor capacidad o aptitud de las distintas unidades o partes del territorio para acoger diferentes actividades y mayor o menor impacto de estas actividades sobre el ambiente, o más comúnmente ambos a la vez.

En última instancia todos los métodos pretenden delimitar porciones del territorio con características físico naturales particulares, con un potencial o capacidad para un determinado uso o actividad. Es decir, tratan de delimitar áreas potenciales y posibles respuestas homogéneas para distintas actividades humanas, en el caso de esta investigación nos referimos a la Actividad Petrolera.

Dentro de los esquemas metodológicos y modelos de organización de ecosistemas propuestos en América, se puede mencionar el modelo jerárquico de delineación de ecorregiones de Bailey (1983), quien propuso para los Estados Unidos de América un modelo a cuatro niveles categóricos de percepción (dominio, división, provincia y sección) dentro de un esquema geográfico de regionalización, con base en criterios de clima y vegetación. Mientras que el SEDUE (López-Blanco y Villers-Ruiz 1995) en México utiliza un sistema multicategórico con el uso de la geomorfología como criterio de delimitación de paisajes a varios niveles categóricos (Provincia ecológica, sistemas ecogeográficos, paisaje y unidad natural). El uso de regiones, subregiones ecológicas y unidades menores es considerado por Clarke y otros (1991) y Bryce y

Clarke (1996) como un proceso para clasificar ecosistemas y organizar el espacio, para ello usan sistemas multicategoricos de clasificación de paisajes. Ponce-Hernández (1994), Botero (1977), Villota (1992), y Etter (1994) han propuesto métodos y modelos jerárquicos de ordenación de paisajes para la Amazonía colombiana, utilizando el clima y geoformas en los niveles categoricos superiores y la vegetación en los inferiores, Zonificación Agroecológica (FAO, 1976-1985, en Couto, 1994) Citado por Botero (1996) entre otras. En cualquiera de estas metodologías, el concepto de ecosistema es el punto de partida y la caracterización se realiza por medio de sus componentes y procesos (Botero 1996).

El ordenamiento ecológico, planteado en México se realiza a través de un estudio multidisciplinario que involucra conceptos y metodología de diversas disciplinas, tales como ecología, agronomía, geografía, sociología, economía, entre otros; y reconoce al territorio analizado como un gran sistema, abierto a perturbaciones naturales, económicas y políticas y con una frontera determinada históricamente (Semarnat 2002).

Por otro lado tenemos la metodología de la Zonificación Ecológica Económica que consiste en una serie amplia de procedimientos de recopilación, organización y sistematización, como de procesamiento, análisis y síntesis de datos e información de naturaleza multivariada y multitemática como de su presentación y comunicación (TCA 1998).

A pesar de las diferencias de uno a otro país, los métodos y técnicas de delimitación y evaluación de paisajes con fines de ordenamiento, deben cumplir una serie de requisitos básicos que son: La información debe ser presentada de forma clara y precisa, organizándose de lo general a lo particular; los principios de representación y métodos de evaluación deben ser fácilmente comprensibles y los métodos no deben basarse solo en la experiencia analítica. Atendiendo a diversos factores los métodos de evaluación de los paisajes pueden ser clasificados en tres grupos:

Lógico-cualitativos: Tienen un carácter físico-geográfico; representan un primer estadio en la evaluación de los paisajes para determinado tipo de uso; su objetivo básico es la determinación de los potenciales y condiciones naturales en el proceso de planificación regional; incluyen los métodos directos de campo, cuestionarios, matrices y superposición, entre otros (Dankekar 1986; Mc Harg 1969; Ortolano 1984; Ruzicka y Miklos 1982 y Steinitz 1976) citado por (Salinas 1991).

Cuantitativos: Tratan de precisar los resultados obtenidos en el grupo anterior con la utilización de indicadores numéricos y valores cuantitativos, sobre la base de criterios físico-geográficos. Representan un segundo estadio en la evaluación de los paisajes, que en general va siempre precedido por la utilización de los lógico-cualitativos. Incluyen las matrices complejas, diagramas de flujo, análisis de escenarios, clusters, modelos matemáticos o físicos, simulación, sistemas de expertos y análisis multivariado, entre otros. (Sancho Royo, 1981; Nijkamp y Rietveld; 1984; Simpson, B.J., 1985, Westman, 1985 y Godet 1991) citado por (Salinas 1991).

Económicos: El papel fundamental en este caso lo tiene la fundamentación técnico-económica; parten de la base establecida por el empleo de los métodos cuantitativos. En general esta clase de métodos se integra a los ya conocidos estudios físico-geográficos y requieren de la participación de otros especialistas como son: economistas, ingenieros, arquitectos, etc. En los últimos años se han impuesto por su importancia los métodos que abordan la evaluación del “costo beneficio” de determinado tipo de uso para un territorio dado, y los análisis de eficiencia económica y valoración contingente entre otros. (Lichfield y otros, 1975; Ortolano 1984, Wolki, 1985 citado por (Salinas 1991).

Estos tres grupos de métodos en dependencia de los objetivos de la evaluación, del carácter de la información existente, de la escala de trabajo y del tiempo disponible, pueden ser aplicados en la evaluación de los diversos componentes del paisaje, para al final obtener una visión general del potencial del paisaje o mediante la utilización de indicadores globales que reflejan la estructura,

funcionamiento, dinámica y evolución de los paisajes, (como unidad holística y sistémica) entre otros.

El enfoque ecosistémico constituye un marco para el análisis amplio. Bajo estas consideraciones concurren las dimensiones social, económica y ambiental que facilitan una mayor aproximación a lo real concreto contemporáneo que está ocurriendo en el ecosistema, así como también la proyección de acciones futuras, necesarias, a fin de encauzar su sostenibilidad. Este enfoque tiene como parte esencial al hombre en su interacción con la naturaleza y al hombre en su propio desarrollo; de ahí su valor, a los efectos de la concurrencia de las dimensiones social, económica y ambiental (Arellano 2002).

En el caso de Venezuela los planes de ordenamiento territorial, no cuentan con un enfoque ecológico, pero como se menciono anteriormente este se ha utilizado, pero solo en pocos ensayos en parques nacionales, proyectos de investigación adelantados por las universidades e institutos de investigación, y a proyectos financiados por el sector petrolero, a pesar que ha sido considerado en la Constitución de República Bolivariana de Venezuela la cual plantea que el estado desarrollara una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas y en la Ley Orgánica de Ordenación Territorial de 1983.

Por lo tanto es necesario que el proceso de ordenación del territorio sea dirigido mediante instrumentos de planificación con un enfoque ecológico, que definan y concreten la utilización de los recursos naturales y de los espacios, en concordancia con la política de desarrollo económico de país.

3.2. Antecedentes

En el año (1968) se inicio el "Programa Inventario Nacional de Tierras", como una actividad a largo plazo dentro del programa de trabajo de la Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH). El objetivo principal fue el levantamiento de 52.000.000 hectáreas, ubicadas al norte del río Orinoco con la finalidad de conocer las disponibilidades de tierras, su ubicación y principales limitaciones para su uso agropecuario y forestal, como información de apoyo al Plan de Aprovechamiento

de los Recursos Hidráulicos en lo referente a las demandas de agua por estos usos. Este programa a partir de 1977 pasó a depender del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, bajo la Dirección de la Zona 2 (Aragua y Carabobo). Dentro de los logros del programa se tiene el inventario de tierras de aproximadamente unas 34.200.000 hectáreas, situadas al norte del río Orinoco.

Por otro lado a finales de la década de los 70, el Ministerio del Ambiente, realizó un estudio de inventario de recursos naturales Ven/79/01 conocido como Sistemas Ambientales Venezolanos, los cuales han servido de base para algunas propuestas de ordenamiento territorial, como lo fue la Propuesta de Ordenamiento de la Faja Petrolífera del Orinoco realizada en 1982 (Marnr 1982).

Esta propuesta tenía como objetivos organizar el espacio de manera tal que se pudiese orientar la localización de las actividades en el territorio, así como, disminuir las migraciones hacia la región central del país, garantizando un desarrollo agrícola en la zona, aprovechando las tierras de manera que se lograra un buen abastecimiento con productos agrícolas.

El inventario contribuyó a definir y a evaluar la capacidad productiva de los suelos y el posible incremento de esta capacidad bajo diferentes sistemas de manejo, también aportó información acerca de las áreas de agricultura de regadío, conocimiento de los problemas de erosión, conservación de suelos y en general sirvió de apoyo a los programas de protección y planificación de uso de los recursos de agua y tierra a escala regional, mediante la ubicación de áreas prioritarias para la investigación agrícola.

Sarmiento y Monasterio (1969), realizaron un corte ecológico del estado Guárico, para ello eligieron una sección longitudinal del estado Guárico entre los meridianos 67° y 68° oeste, en esta transecta analizaron las relaciones globales entre la vegetación y los factores del hábitat dentro de la totalidad de la región llanera, el objetivo del trabajo fue bosquejar una primera delimitación de unidades ecológicas regionales, el estudio se realizó a escala 1:250000, para ello se utilizaron fotos aéreas y numerosos viajes de campo en todas las estaciones

climáticas, se delimitaron macroecosistemas o regiones ecológicas a partir de formas de relieve y tipos de vegetación y suelo, con el fin de establecer unidades ecológicas coherentes, aplicaron un criterio integral tomando en cuenta simultáneamente los rasgos ambientales significativos en la diferenciación de la vegetación natural, y por ende en su productividad y en el uso potencial de la tierra, las regiones ecológicas encontradas fueron: La región serranía, La región colineana o de piedemonte, La región de mesa y sus derivaciones, la región de llanuras aluviales cuaternarias y la región de llanuras de inundación y médanos.

Monasterio y Sarmiento (1971), Sarmiento y col. (1971) Silva y col. (1971), realizaron un reconocimiento ecológico de los llanos occidentales, en los estados Apure y Barinas, donde se delimitaron unidades ecológicas regionales, para ello usaron las características más relevantes de medio físico relieve, geológicos, geomorfológicos, climáticos, suelo, y realizaron una síntesis de las principales comunidades vegetales que se encontraban en el área utilizando fotos aéreas y luego realizando el control en campo, en este trabajo se identificaron 30 sistemas de relieves a escala 1: 500.000, y dentro de los paisajes reconocidos en el área de estudio se encontraron paisajes con predominancia como las selvas altas, las sabanas húmedas, las llanuras eólicas, sabanas secas y las colinas de piedemonte.

Berroterán (1988) identificó y caracterizó los elementos clima, relieve, material parental, vegetación y suelo, Este estudio se realizó entre los ríos San Carlos y Manapire abarcando el área de dos estados, Cojedes y Guárico, para ellos se utilizaron imágenes de satélites LandSat del año 1975 y de radar (SLAR) del año 1977. El planteamiento metodológico conllevó a un sistema clasificación de paisajes multicategóricos y subdivisivos, de lo general a lo particular, que permite analizar los paisajes y mostrar su patrón de distribución desde niveles megaecológicos hasta microecológicos, lo que permitió identificar 13 paisajes y subpaisajes 27 ecológicos en el área de estudio.

Otra contribución importante lo constituye el proyecto de inventario de recursos naturales de la región Guayana a escala 1:250.000, realizado en 1989

por CVG-TECMIN, que al igual que Sistemas Ambientales ha servido como información referencial para la elaboración de propuestas de zonificación y ordenación de varias áreas en la región de Guayana (Rivera y col, 2006).

Otro antecedente es El Plan de Ordenamiento del Territorio del estado Guárico, vigente desde mayo del año 1992, donde se establecen los lineamientos a seguir respecto a la conservación de los ecosistemas y hábitats del estado; dentro de las líneas de este plan se tienen: Propiciar el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales para el desarrollo estatal y nacional, especialmente de las tierras agrícolas y de los recursos hidráulicos. Garantizarle a las generaciones futuras del estado Guárico, la disponibilidad de recursos naturales y ambientales. Mejorar la estructura urbana, propiciando un patrón de ocupación espacial ajustado a las necesidades del estado, en el cual, las relaciones funcionales ejercidas entre los centros principales, intermedios y de apoyo, interactúen sistemáticamente en la consecución del bienestar de la población y del manejo de los recursos naturales. Ampliar las áreas a proteger hasta incluir los espacios que presenten características físico-naturales similares a otras que actualmente se encuentran Bajo Régimen de Administración Especial, y Controlar los efectos ambientales indeseables de toda nueva actividad, e ir ajustando progresivamente a las normas vigentes, los efectos de las actividades ya localizadas en el estado.

Esto nos conduce a considerar que las opciones mencionadas, hacen parte de un todo necesario e inseparable, ya que debe insistirse en la inconveniencia de seguir viendo al proceso de ordenación del territorio como separado del proceso de desarrollo regional.

Para establecer los lineamientos en materia de ordenación del territorio, vinculado a los hábitats y ecosistemas encontrados en las áreas seleccionadas para el emplazamiento de la refinería de Cabruta, es necesario identificar algunas características ecosistémicas locales y regionales, que sirvan para orientar a los planificadores al momento de realizar y ejecutar los planes de ordenamiento y manejo de los sectores inicialmente señalados.

En el año 2002, por Decreto Presidencial N° 1.771, se dictó el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Zona de Seguridad del Complejo Industrial, Petroquímico y Petrolero de José, «General José Antonio Anzoátegui» el cual tenía como objetivo establecer los lineamientos, directrices y políticas para la administración del área, la asignación de uso a los espacios y la definición de las actividades, de acuerdo a los requerimientos funcionales, así como la localización de productos y servicios en esa área, la valoración del ambiente y del régimen de seguridad que regiría en la zona.

Todo ello con el fin de ordenar la ocupación de los espacios, promover la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y proveer una adecuada seguridad y protección a las instalaciones y actividades del complejo industrial, así como de la población y sus actividades, ubicadas dentro y en el entorno de la zona de seguridad, no solo bajo condiciones de operación normal sino durante la ocurrencia de eventos excepcionales.

Este estudio representó un precedente en materia de ordenamiento territorial en una zona de seguridad de un complejo industrial, petroquímico y petrolero como lo es el de José, el cual divide el área en tres unidades de ordenación, las cuales a su vez se subdividen en subunidades y sectores delimitados de acuerdo a los requerimientos funcionales y operacionales del complejo industrial y a las consideraciones ambientales y de seguridad a escala 1:50.000. Vale la pena destacar que, el decreto publicado en gaceta oficial no especifica la metodología utilizada para la definición de las áreas.

Aunque son pocos los esquemas metodológicos y modelos de organización de ecosistemas propuestos en América bajo una perspectiva ambiental, Ataroff y Sarmiento (2003), realizaron el mapa de Unidades Ecológicas del estado Mérida, para ello se basaron en datos de precipitación, temperatura y el sustrato, las cuales a su vez son condicionadas, por combinaciones particulares de nubosidad, viento, humedad relativa, relieve, geología entre otros, lo que permitió definir las áreas potenciales de los ecosistemas naturales, visto a través de la definición de unidades ecológicas las cuales tienen asociado un particular tipo de vegetación, la

cual le da nombre, para lo cual emplearon una aproximación a los sistemas ecológicos basándose fundamentalmente en el funcionamiento de las unidades asociado a las principales variables climáticas de Los Andes Venezolanos.

Así mismo, dentro de los esquemas de ordenación utilizando enfoque ecológico realizado en nuestro país, se encuentra el realizado por Berroterán en el año 2004 basado los trabajos realizados por Alfred Zinc en los años 80, en el cual se propone un sistema de organización de los sistemas ecológicos jerárquico, multicategorico y subdivisivo con seis niveles de abstracción en la organización de los mismos donde la ordenación de los ecosistemas de una región o localidad está basada en las características, distribución espacial, procesos y potencialidades de los diferentes ecosistemas que la componen. Esta metodología también ha servido de base técnica para proponer el ordenamiento territorial de áreas de importancia como lo son la reserva forestal de Imataca la cual se ubica a sureste de nuestro país; el modelo de organización de los ecosistemas de esta área constituyó una propuesta de escenarios de ordenamiento utilizando bases sociales y ecológicas; fue realizado por la UCV y el Ministerio de Ambiente (Berroterán 2004a).

Los (6) niveles categóricos propuestos, se muestran en la Figura 5.



Figura 5. Estructura jerárquica del sistema de clasificación de ecosistemas (Berroterán 2004b)

Se realizó un proceso de análisis y organización de los ecosistemas en categorías y clases, basadas en sus características, potencialidades y estado de

conservación, todo ello con referencia a un marco espacial y evolutivo que permitió la representación cartográfica de estas unidades, así como el establecimiento de modelos armónicos de uso y de acciones tendientes a satisfacer las necesidades humanas, con una visión sustentable y conservacionista de los ecosistemas, para prever los conflictos de uso y degradación ambiental por efecto de las actividades socioeconómicas. El estudio aplicó un modelo de organización jerárquica de unidades ecológicas, en el cual se determinaron las subregiones ecológicas de la Reserva Forestal Imataca, para luego identificar los sistemas a nivel de megaecosistemas (escala 1:1.000.000). Finalmente se establecieron sus interrelaciones a nivel de macroecosistemas (escala 1:250.000), considerándose este nivel de abstracción el más idóneo para un estudio de gran visión con el objetivo establecer las bases para el ordenamiento territorial de la Reserva Forestal Imataca (Berroterán, 2004a).

Un enfoque similar y con metodologías análogas se aplicó en el Proyecto Biodiversidad de los Sistemas Nativos y Agroecosistemas de los Llanos Centrales Venezolanos, en el año 2003, enmarcado dentro de la Agenda Biodiversidad (UCV-FONACIT), en un esfuerzo de actualización y síntesis de información que además de aumentar el conocimiento existente, representó un aporte al desarrollo de nuevos enfoques de estudio sobre la biodiversidad y el desarrollo de estas regiones, fundamentando las bases para políticas y estrategias en el marco del desarrollo sostenible e integración ecológica-económico-social. El proyecto Biodiversidad de los Sistemas Nativos y Agroecosistemas de los Llanos Centrales Venezolanos en una primera etapa identificó en el área de estudio los siguientes sistemas ecológicos, ver cuadro 5.

Región	Los Llanos Centrales		
Sub Región	Llanos Altos	Llanos Intermedios	Llanos Bajos
Megaecosistemas	5	8	6
Macroecosistemas	35	22	23

Cuadro 5. Sistemas Ecológicos de los Llanos Centrales.

Ello permitió mejorar cualitativa y cuantitativamente el conocimiento integral de la región, su distribución geográfica actual, las tendencias en la pérdida de hábitats, identificación de las líneas de expansión de la frontera agrícola y los tipos remanentes de sistemas ecológicos próximos a intervenir.

Para el año (2007), se realizó una evaluación de los sistemas ecológicos de la faja petrolífera del Orinoco, como base para la ordenación territorial, este proyecto se realizó a escala 1:250000, como parte integral del Plan de Siembra Petrolera 2006-2012, y soporte de la planificación territorial que se llevaría a cabo en el 2008. La metodología se fundamenta en el enfoque sistémico y su operacionalización a través de la generación de práctica de los modelos de organización espacial de los sistemas ecológicos (PDVSA, 2007a).

Elizalde (1983, 2012), propuso una primera aproximación de clasificación de paisajes en 8 categorías, acompañado por varios ejemplos en diversos sectores de Venezuela. En 2012, propone una segunda aproximación, donde reúne la experiencia derivada de la aplicación de la clasificación en diversas regiones del país durante casi treinta años. La propuesta divide el universo de paisajes en 8 categorías, cada una de las cuales corresponde a ciertos rangos de complejidad y de escala de representación cartográfica. Esta clasificación considera al paisaje como la parte del ecosistema denominada sistema pedogeomorfológico, compuesta por los sólidos más estables (suelos, sedimentos, regolitos y rocas) y por los componentes de la hidrósfera que interactúan con ellos. Establece así un marco para delimitar ecosistemas basados en la distribución espacial de sus componentes temporalmente más estables. Este marco delimita espacialmente entornos geográficos que conservan su identidad, más allá de los puntos de vista y usos que se desee dar a la clasificación. La jerarquización de las categorías considera en forma secuencial variables de menor a mayor variabilidad espacio-temporal. En ese sentido, se privilegia la información geológica para la caracterización de las categorías más generales, debido a la mayor estabilidad espacio-temporal del entorno geológico, respecto a los otros componentes de los paisajes. Se proponen los rangos de escalas apropiadas para la representación

cartográfica de cada categoría. La primera categoría, Megarregiones Fisiográficas, corresponde a paisajes de gran extensión (superior a 90 000 km²) y estabilidad temporal por decenas o centenas de millones de años, que se pueden mapear a escalas del orden 1: 30.000.000, mientras que la categoría más detallada, Forma de Terreno, corresponde a paisajes muy poco extensos (entre 625 m² y 10000 m²), que pueden ser mapeados a escalas superiores a 1: 10 000.

Valera y Vilorio, (2011) utilizando procedimientos geomorfométricos, a partir de un análisis de atributos topográficos de la cuenca del río Caramacate, realizaron una clasificación no supervisada basada en una red de agrupamiento borroso de Kohonen (FKCN). La cual permitió la extracción y la clasificación de propiedades geomorfométricas de un Modelo Digital de Elevación (MDE) y de imágenes de satélite. Realizaron evaluaciones de un MDE a diferentes resoluciones espaciales (10, 15, 20 y 30 m) mediante un sistema clasificador del terreno propuesto por Fuzzy Kohonen, donde se obtuvo un promedio de 10 clases geomorfométricas con la utilización de 10 atributos topográficos y el NDVI.

La Logica Borrosa y los mapas auto organizados de Kohonen combinados en el FKCN, permitieron generar inicialmente clases geomorfométricas y posteriormente unidades geomorfológicas en forma rápida, precisa y objetiva, constituyendo una importante alternativa de apoyo al experto para la definición de unidades geomorfológicas, planificación del muestreo de suelos, predicción de propiedades edáficas y estudio de las relaciones suelo-paisaje.

Chacón (2013), presentó una propuesta metodológica de clasificación de la cobertura de la tierra bajo un enfoque ecológico con base en la teledetección y los reconocimientos ecológicos, esta se estructura en tres niveles o escalas espaciales: Las ecorregiones, los paisajes ecológicos y los ecosistemas. El principal aporte de este trabajo es la definición de un enfoque metodológico que permite tener una visión integral ecológica del territorio, homologable a otros sistemas de clasificación y constituye una base para el monitoreo de los cambios y transformaciones de los ecosistemas.

Valera (2014), encontró que las investigaciones consultadas relacionadas con inteligencia artificial demuestran la alta capacidad de las Redes Neuronales Artificiales y de los conjuntos borrosos para la predicción de resultados geomorfométricos y geomorfológicos, y para la predicción de propiedades de los suelos en áreas de interés. Ello ha sido clave en la planificación y en los aspectos metodológicos empleados en la cuenca del río Güey, donde se aplicaron las tecnologías computacionales mencionadas

A partir de todos estos antecedentes conviene destacar que la presente investigación representa un aporte con respecto a estos trabajos previos, en importantes aspectos metodológicos y del área de estudio, por estar ubicado dentro de la Fpohch. Esta investigación propone una metodología, apoyada en primer lugar en el estudio y análisis de los aspectos teóricos del enfoque sistémico seguido del análisis espacial, consistente y útil para la delimitación de unidades ecológicas territoriales, usando criterios cuantitativos derivados del uso de herramientas, como los Sistemas de información Geográfica (SIG), La inteligencia Artificial (Redes Neuronales y La Lógica Borrosasa) a través de la aplicación de agrupamiento neuro-borroso, con la finalidad de dar lineamientos de ordenamientos y agilizar el proceso de conformación de usos. Siendo una de sus características la flexibilidad, de manera que no solo permite la integración de herramientas y métodos sino que guarda coherencia con la política de ordenamiento del área en particular y con los lineamientos ambientales y de desarrollo sustentable.

Además, comprende la recopilación de la información existente, cartografía básica y temática así como bibliográfica, como una alternativa no solo para reducir los tiempos de levantamiento y análisis de la data, sino los costos de trabajos exhaustivos de campo, que hacen la toma de decisiones se postergue en el tiempo.

Para luego pasar a una fase de síntesis y evaluación sistémica de la información recopilada y la generada en el proceso utilizando la geomática, redes neuronales e Inteligencia artificial, los cuales se desarrollan sobre una plataforma SIG libre, específicamente, utilizando QGIS y SAGA GIS, entre otros.

Y por ultimo realizar la definición de las unidades de paisaje ecológico y su caracterización utilizando el análisis multivariado, la diagnosis de sus potencialidades lo que permitirá generar una propuesta de ordenamiento basada en la unidades ecológicas de paisaje para establecer las prioridades, amenazas, modelos de intervención, vulnerabilidad y planes de conservación.

Hasta al momento en los procesos de planificación y gestión territorial no existe ninguna receta que pueda ser válida para cualquier situación. Por el contrario, se trata de un campo fértil en el que se debe profundizar en los fundamentos teórico metodológicos y, fundamentalmente, en los mecanismos y enfoques de gestión, coherentes con una concepción de desarrollo que responda a los requerimientos esenciales de nuestras sociedades en armonía con su base de sustentación ecológica, que es donde se encuentra el corazón programático del desarrollo responsable como proyecto de país (Méndez 2000).

Por lo tanto la creación de nuevos instrumentos metodológicos, para delimitación de unidades ecológicas con fines de ordenamiento territorial ecológico, podría ser una alternativa aplicable a cualquier escala y ámbito territorial, constituyendo un instrumento idóneo para la planificación del uso de la tierra y los recursos naturales, fundamentados en el control ambiental de las actividades susceptibles a degradar el ambiente, lo que implica una mejor localización de las misma y la generación de medidas mitigantes, orientadas a la regulación del funcionamiento del sistema ambiental.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción de la metodología cuantitativa para la delimitación de unidades ecológicas.

En la presente metodología se integra un enfoque sistémico, con un modelo de representación de unidades ecologicas basado en criterios cuantitativos, a partir de información de campo existente y levantada en campo de un conjunto de factores abióticos y bióticos con que caracterizan la composición y estructura de los ecosistemas a la escala de trabajo propuesta.

Las etapas, pasos y métodos descritos incluyen una combinación entre procedimientos manuales y automatizados, que intentan directamente o indirectamente, imitar los procesos de la lógica y la toma de decisiones aplicada por expertos. La metodología en primer lugar consiste en tres etapas como se muestra en la figura 6.

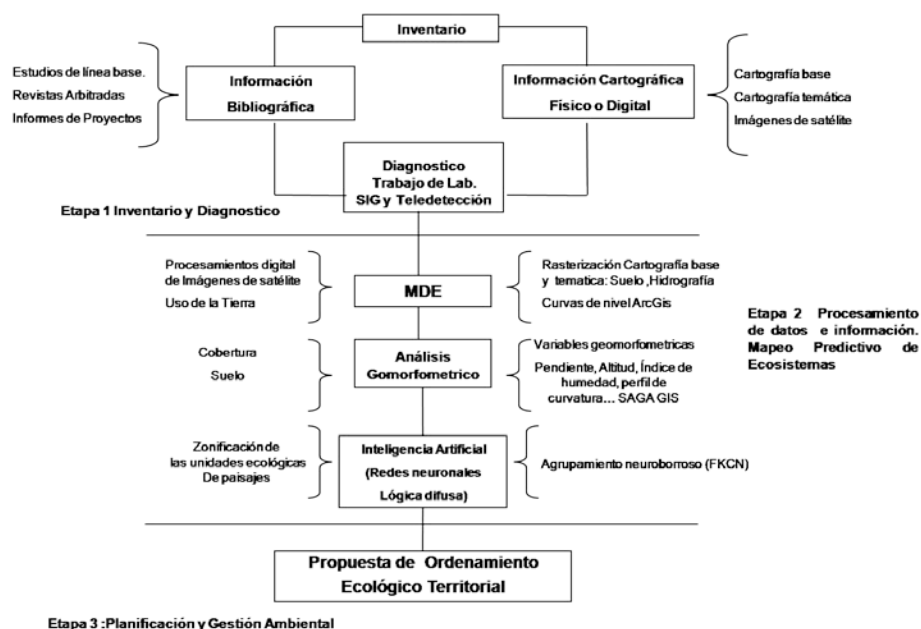


Figura 6. Esquema metodológico propuesto

Etapla 1: Inventario y diagnóstico:

En esta fase se recopila la información cartográfica base de (centros poblados, vialidad, hidrografía y curvas de nivel) temática (Clima, Geología, Geomorfología, Hidrología, Suelo, Vegetación y Fauna) y base de datos bibliográfica y documental suficiente para la verificación o caracterización.

Se homogeniza la información cartográfica base y temática (Datum, Proyección y Sistema de coordenadas) para la delimitación y cartografía de los componentes físico naturales, también se realiza un recorrido de campo preliminar y se define la escala de trabajo. Todo esto con la finalidad de un posible ordenamiento del territorio de acuerdo con sus capacidades y limitaciones (necesidades y carencias) ecológicas, económicas, socioculturales y políticas (Bennett y col, 2006).

Con las actividades de inventario y diagnóstico de los bienes ambientales y del estudio básico de los sistemas naturales y sociales de un área determinada, se sientan las bases, para una correcta evaluación, planificación y ordenación de ecosistemas, basada en una metodología fundamentada en las relaciones biológicas que se producen en el espacio, lo que da mayor peso al componente ecológico.

Etapas 2: Análisis y Procesamiento de datos e información y Mapeo Predictivo de Ecosistemas.

La información base y temática recopilada, en la etapa de inventario y diagnóstico, se procesa y se presenta de manera que permita realizar análisis, usando los sistemas de información geográfica, estadística multivariada e inteligencia artificial en un algoritmo que combina la técnica de agrupamiento de medias difuso con los mapas auto-organizativos de Kohonen para conseguir un método de agrupamiento con propiedades heredadas de ambos métodos.

En muchos países y regiones, los altos costos, el bajo índice de progreso, y los niveles inciertos de exactitud predictiva utilizando métodos convencionales de clasificación y cartografía en la generación de mapas ecológicos, han dado lugar al desarrollo de métodos alternativos cuantitativos y automatizados de Mapeo Predictivo de Ecosistemas (MPE).

El MPE es una variante de una tendencia mundial más grande hacia la utilización de modelos de predicción, se aplica a los conjuntos de datos digitales disponibles, para predecir, la distribución espacial más probable de las condiciones de un lugar, las clases ecológicas o suelos, en forma rápida y de manera rentable.

Esta etapa se caracteriza por la importancia que tienen, las variables productos de la geomorfometría como lo son la forma del relieve, la topografía, la inclinación de la pendiente, aspecto, posición, (porcentaje y forma de la pendiente) y orientación, como criterios clave para diferenciar las unidades de nivel inferior en

el sistema, que pueden ser extraída mediante el análisis de un modelo de elevación digital y la posición de pendiente.

Cada unidad ecológica se define como el promedio lineal ponderado de una serie de atributos, donde los valores de atributos se calculan en términos de funciones de pertenencia difusa que relacionan el valor de un parámetro (por ejemplo, grado de pendiente) a la probabilidad de que el valor que coincide con el concepto de la clase utilizada para definir el atributo (por ejemplo pendientes pronunciadas).

El MPE se basa en el entendimiento general de las diferencias ecológicas, que son controladas por los gradientes ambientales de condiciones climáticas, de energía y suelo a través del paisaje, muchas de las cuales operan bajo la influencia de la topografía (Mac Millan y col. 2009).

Esta etapa de análisis y procesamiento de la información concluye con la elaboración del mapa de unidades delimitadas en función de atributos claves obtenidos del análisis geomorfométrico y de percepción remota.

Etapas 3: Planificación y Gestión Ambiental: Propuesta de Ordenamiento Ecológico Territorial (OET).

Las aplicaciones de los SIG son muy diversas, pudiéndose aplicar para fines militares, comerciales, de entretenimiento, catastro, turismo, ciencias de la salud, predicción de fenómenos ambientales entre otros, sin embargo en el área ambiental son de gran importancia para la realización de inventarios, evaluaciones de impacto, localización de áreas con características ambientales particulares, pero específicamente son una herramienta de gran utilidad para el ordenamiento ecológico territorial (Ruiz y Trelles 2003). Para la definición de usos, se emplean los SIG, los cuales constituyen una herramienta eficaz en el análisis de las diferentes variables, las cuales, son representadas en distintos mapas temáticos y su combinación permite la identificación y especialización de las áreas aptas o de conflicto a partir de la aplicación de distintas operaciones lógicas y condicionales.

En esta etapa los mapas de unidades ecológicas preliminares, producto del mapeo predictivo ecológico, son revisados con el fin de verificar la extensión espacial y el patrón de clases ecológicas predichos, para evaluar el grado en que la unidad ecológica delimitada de manera predictiva corresponde con las esperadas. Las evaluaciones se hacen en la medida en que las entidades previstas siguen una secuencia lógica y esperada con base a la posición de relieve, la exposición, las condiciones de humedad y el gradiente de pendiente.

Esta evaluación requiere de alguien con amplia experiencia para determinar si cada clase interpretada, aparece aproximadamente en las ubicaciones geográficas correctas, con esto se busca evaluar que porcentaje de clases de unidades delimitadas coincide, con porcentaje de clases de unidades reales observadas en el campo, a lo largo de transectas lineales al azar.

Según Méndez (1990), una vez obtenidas las unidades ecológicas y definidas, la planificación y ordenación del territorio estará fundamentada en una metodología donde la base de sustentación ecológica influye; en la localización de las actividades económicas que se sugieren; el desarrollo municipal y regional que se desea y la integración funcional del territorio a que se aspira.

A partir de la base teórica que sustenta esta metodología con visión sistémica y con base en la teoría ecológica, se evalúa y evidencia el potencial y compatibilidad de las unidades de paisaje ecológico delimitadas, lo cual permite proponer los diferentes usos, con base en criterios ecológicos con expresión espacial.

Los atributos sistémicos del paisaje, sintetizan los mecanismos y vías mediante las cuales, surge y se sustenta la eficiencia ecológica del sistema. Los paisajes son la base geoecológica espacio - temporal de los sistemas políticos, económicos y sociales, en los que se pretende incorporar la sustentabilidad ambiental (Mateo 2000).

Forman y Godron (1986), agregan que para alcanzar la sustentabilidad, debemos lograr una estabilidad en lo que llama “variables básicas que caracterizan la integridad ecológica” (como suelo y biodiversidad) y de esa manera, los paisajes serán sostenibles a largo plazo.

En este sentido, es preciso considerar a la sustentabilidad ecológica inherente a los paisajes, como concepto clave en la construcción teórica del proceso de desarrollo sostenible, para así articular la explotación de los recursos de los territorios, con las potencialidades y propiedades de los sistemas ambientales, lo que hace necesario incorporar la planificación ambiental al proceso de toma de decisiones.

Cuando no existe una adecuada relación entre las potencialidades naturales del territorio y la actividad económica, la sociedad debe invertir gran cantidad de recursos para lograr el aumento de la producción y mantener el funcionamiento del paisaje, sin provocar su degradación. Una alta producción, no es siempre sinónimo de un potencial natural adecuado para dicha actividad; sin embargo, una alta relación entre potencial y uso significa relaciones sociales óptimas de producción, ahorro de recursos y funcionamiento idóneo y sustentable del paisaje.

La propuesta de ordenamiento ecológico territorial debe interpretarse más bien como una guía que orienta los compromisos y las inversiones públicas y privadas, en el sentido que más conviene a todos, ya que representa los intereses sectoriales de la manera más justa y su acatamiento promete evitar o resolver conflictos ambientales. Es por ello, se recomienda utilizar los Sistemas de información Geográfica (SIG), como herramientas que facilitan el análisis conjunto de las variables territoriales que el usuario considera necesarias para la obtención de criterios espaciales de zonificación.

Normalmente cuando se trata de la inclusión de un set de factores que condicionan directamente la aptitud de un territorio, se utiliza la Evaluación Multicriterio (EMC) para ayudar en procesos de análisis espacial y obtención de resultados acordes al cumplimiento de cada uno de los criterios aplicados (Barredo 1996), y en la validación de los mismos basada en la revisión permanente de las variables consideradas y métodos aplicados para la construcción de áreas potenciales. Con el fin describir de manera más detallada la metodología propuesta, se han planteado 12 pasos, que como se menciono incluyen un híbrido entre procedimientos manuales, y automatizados, que se

desarrollan y aplican ampliamente, basado en modelos conceptuales y relaciones entre los componente bióticos y abaticos de los ecosistemas ver cuadro 6.

Etapas. 1 Inventario y Diagnostico del área de estudio.

Paso 1: Este consiste en la recopilación y revisión de la **información bibliográfica** existente del área de estudio. El área está localizada en la región de los llanos de Venezuela, en el estado Guárico, y abarca parte del municipio Las Mercedes y del municipio Leonardo Infante. Se ubica en la Provincia Fisiográfica de Los Llanos, en la región natural de Los Llanos disectados centrales y geológicamente en la Formación Mesa. De esta área se tiene la información de los estudios de Coplanarh, (1974), Sistemas Ambientales Venezolanos de MARNR (1983), Inventario Nacional de Tierras: Guárico Central y Sur de Aragua.

Etapas	Pasos		Descripción
Inventario y Diagnostico (1)	Paso1	Recopilación de información bibliográfica	Recopilación de información de estudios de línea base, informes de proyectos, artículos arbitrados.
	Paso2	Recopilación de información cartográfica	Recopilación de mapas bases en formato físico y digital, mapas temáticos en formato digital, bases de datos existentes, información base y temática en formato shape, imágenes de satélite entre otros.
	Paso 3	Generación de cartografía base	Se realiza la digitalización, la georeferenciación de las cartas y la vectorización de la información base, y temática bajo un mismo datum, proyección, y sistema de coordenadas.
Análisis y procesamiento de los datos. Mapeo predictivo de ecosistemas (2)	Paso 4	Interpretación de imágenes de satélite	Se utilizan imágenes Satélite, usando las combinaciones de bandas que permitan inferir el tipo y la densidad de la cubierta vegetal, esto ha sido una consideración necesaria para la clasificación de las unidades ecológicas. A partir de su procesamiento se obtiene el mapa de vegetación y el índice de vegetación utilizando los SIG y la teledetección. (Erdas IMAGINE, SAGA GIS).
	Paso 5	Rasterización de la cartografía base y temática a la escala mayor o igual a la escala de trabajo	Una vez digitalizada, georeferenciada y vectorizadas la información base de (centros poblados, vialidad, hidrografía y curvas de nivel) y temática (suelo, uso, y cobertura) esta es rasterizada utilizando los SIG (ARCGIS).
	Paso 6	Generación de el Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	A partir de las curvas de nivel y la hidrografía se genera el MDE utilizando los SIG. (ARCGIS)
	Paso 7	Análisis Geomorfométrico (SAGA GIS)	El MDE es la pieza clave del análisis geomorfométrico. Las capas derivados del MDE resultante, permite generar información auxiliar necesaria para la delimitación de unidades geomorfométricas, estas capas son preparadas para ser utilizadas en el proceso de mapeo ecológico predictivo.
	Paso 8	Aplicación de técnica de	Análisis de los atributos geomorfométricos a través

		inteligencia artificial, lógica borrosa	del agrupamiento neuroborroso (FKCN). Se evalúa el agrupamiento de píxeles (centroides de cada grupo) según el número de clases y el exponente de borrosidad, con esto se obtiene el mapa de unidades ecológicas.
	Paso 9	Zonificación de la unidades ecológicas	Se define cada una de las unidades con el promedio lineal ponderado de una serie de atributos, donde los valores de atributos se calculan en términos de funciones de pertenencia difusa que relacionan el valor de un parámetro.
Planificación , ordenamiento territorial y gestión ambiental (3)	Paso 10	Validación de las unidades	Las cuadrículas iniciales que representan la extensión espacial y el patrón de predicho de las clases ecológicas son revisados visualmente para evaluar el grado de concordancia entre los patrones predichos y los existentes. La predicción debe ser igual o mayor al 65 % de precisión según Mac Millan, R.A, et al, (2009).
	Paso11	Descripción de las unidades ecológicas de ordenamiento	Se describe la unidad ecológica, según sistema de clasificación jerárquica de ecosistemas propuesto por Berroterán (2004).
	Paso12	Propuesta de Ordenamiento Ecológico Territorial	Una vez que se validan y definen los mapas de las unidades ecológicas generados por métodos predictivos, se realiza la propuesta de unidades de ordenamiento ecológico territorial en función a las características ecológicas de cada unidad.

Cuadro 6. Metodología de delimitación de unidades ecológicas usando criterios cuantitativos

Tomo I y II. Marnr. (1990), Estudio Socio Ambiental para la Ubicación de la Refinería de Cabruta y la Generación de un Polo de Desarrollo Regional Sustentable. Pdvsa, (2007). Evaluación de los sistemas ecológicos de la Faja Petrolífera del Orinoco como base para la ordenación territorial, Pdvsa (2008).

Paso 2: Se caracteriza por la recopilación y revisión de la **información cartográfica** existente del área, utilizando para ello la información relativa a la división político-territorial. La necesidad de sistematizar y homogenizar la información, en función de la naturaleza de las fuentes, obliga a desarrollar diferentes táreas (digitalización, georeferenciación, reproyección, entre otras) para poder conseguir que las capas de información disponible sean comparables en cuanto a formato y escala. Dentro la información base utilizada para esta investigación se utilizó:

Base cartográfica.

- 16 Cartas 6940 XY n a escala 1:25000 Dirección de Cartografía Nacional 1963 (Ver Figura 7).

- 2 Cartas 6940 y 6941 escala 1:100000 Dirección de Cartografía Nacional 1969 (Ver Figura 8).

Base satelital.

- Imagen LANDSAT 5 TM 1985 (354)
- Imagen LANDSAT 7 ETM 2003 (354)
- Imagen LANDSAT 7 ETM 2016 (354)
- Imagen Spot 5 (5 661-333 del 14/09/2009)
- Imagen Spot 5 y la (5 661-334 03/07/2009)
corregidas y georeferenciadas

Paso 3: La generación de cartografía base y temática, se realizó a través de la digitalización de la información en formato “Papel” como es el caso de las cartas 6940 y 6941 a escala 1:25000 y las 6940 y 6941 a escala 1:100000.

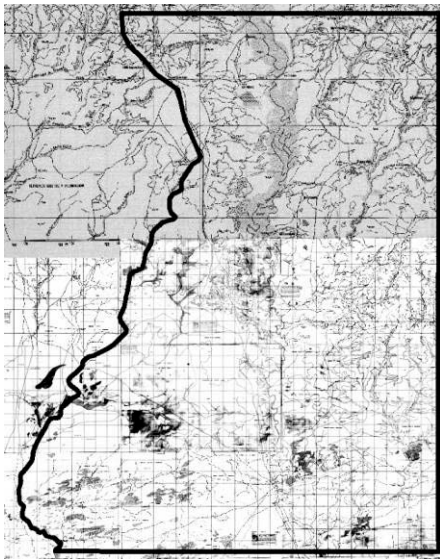


Figura 7 Mosaico cartas escala 1:25000

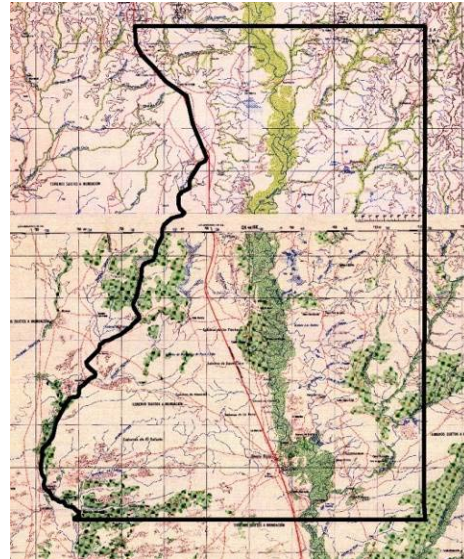


Figura 8 Mosaico cartas escala 1:100000

Se trabajó con un total de 16 cartas topográficas a escala 1:25.000, y 2 cartas a escalas 1:100000 de las que se vectorizaron los (centros poblados, vialidad, hidrografía y curvas de nivel), se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con el fin de conformar la base de datos territorial del área de estudio. Las cartas se georeferenciaron y vectorizaron, lo que permitió obtener la información base de curvas de nivel, vialidad e hidrografía y a su vez un mapa

topográfico del área de estudio ver (Figuras 7 y 8), utilizando como fuente la cartografía oficial del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB).

Una vez realizado todo este proceso de búsqueda, recopilación, digitalización y transcripción de información, tuvo lugar un proceso de análisis mediante operaciones de superposición de información en el SIG, lo cual permitió fijar de manera definitiva la escala de trabajo. La escala de trabajo aproximada para el conjunto de datos fue de 1:60.000. A través de la cartografía digital, se obtuvieron los archivos cartográficos con homogeneidad de criterios en sistema de proyección, datum, escala, leyenda y formato, tanto en formato digital (raster y vector).

En la etapa se culminó con la generación de un mapa base (ver figura 9) con los atributos básicos necesarios para vaciar en ellos la información analógica o digital existente en informes técnicos, mapas temáticos, entre otros, así como, la generación de nuevos productos cartográficos producto de la superposición y análisis de los ya existentes usando los SIG.

Etapas 2: Análisis y procesamiento de los datos. Mapeo predictivo de ecosistemas.

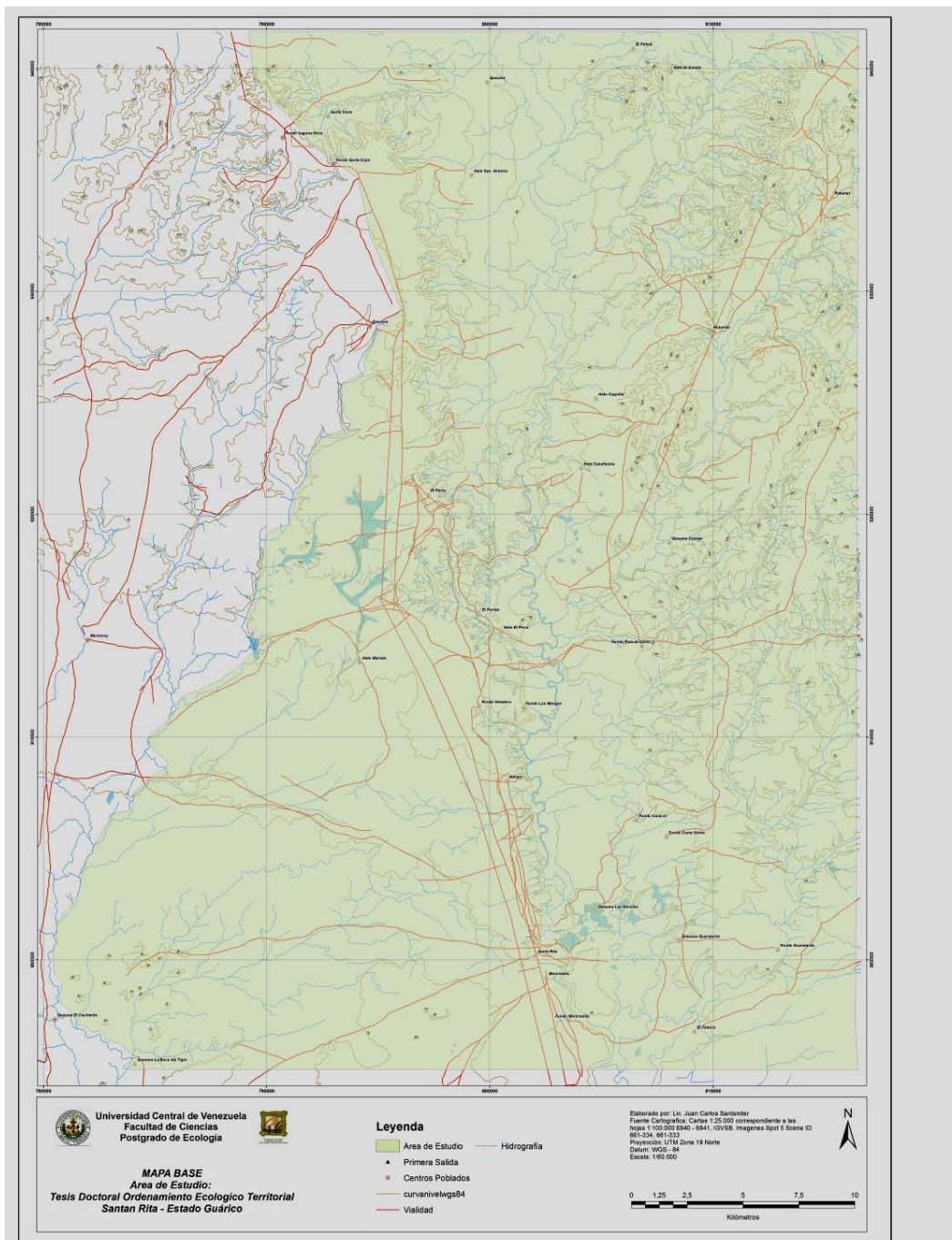


Figura 9 Mapa topográfico del área de estudio

Paso 4: El procesamiento digital imágenes de satélite es el conjunto de métodos y técnicas orientado a manipulación y análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes digitales, su corrección, mejoramiento, transformación y/o clasificación temática con el fin de generar información útil sobre objetos, áreas y fenómenos,

sin estar en contacto con ellos, y con el fin de mejorar conocimiento sobre los recursos naturales de la tierra y medio ambiente (Posada 2008).

Utilizando la teledetección, la cual permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales, se logro la adquisición, procesamiento e interpretación de las imágenes de satélite descritas en la etapa anterior, estas fueron introducidas al sistema para su interpretación, dando esto como resultado el Mapa de Vegetación.

Normalmente toda interpretación y análisis de imágenes de satélite involucra algún proceso digital, incluyendo la importación, exportación y corrección de datos, mejoras y realces para facilitar una mejor interpretación visual, o algún tipo de clasificación automática de algunas clases de interés complemente desde un computador (Posada, y col. 2011).

Para la clasificación de los tipos de vegetación presentes en el área de estudio se realizó una actividad de campo donde se obtuvo una visión general de la cobertura vegetal. La interpretación de imágenes se realizó usando el programa Erdas Imagine 8.5. Para ello se utilizaron 2 imágenes SPOT 5 del año 2009, las cuales primero fueron fusionadas, cada una por separado utilizando la banda pancromática de 2.5 metros de resolución espacial, con la finalidad de mejorar sus resolución espacial, y mediante el uso de una combinación de bandas multiespectrales 4-3-2 de 15 metros de resolución espacial.

Con estas bandas, se realizó una clasificación no supervisada con el módulo ISODATA, que permitió generar un mapa de vegetación del área preliminar. La segunda parte corresponde al proceso de evaluación de la clasificación, durante el cual se identifican y se asignan los nombres de clases y los colores. Se compara la imagen original con la imagen clasificada. Luego de realizar el chequeo en campo se realiza clasificación supervisada, se requiere de cierto conocimiento previo del terreno y de los tipos de coberturas, a través de una combinación de trabajo de campo, análisis de fotografías aéreas, mapas e informes técnicos y referencias profesionales y locales. Con base de este conocimiento se definen y

se delimitan sobre la imagen las áreas de entrenamiento o pilotos. El proceso de clasificación supervisada, se puede resumir en las siguientes etapas: análisis visual y estadístico de la imagen y de sus bandas, elaboración de la leyenda del mapa, selección y delimitación de áreas pilotos, generación y evaluación de sus estadísticas y reajustes, elección y aplicación del algoritmo de clasificación, reajustes y clasificación de nuevo, y finalmente, la evaluación de los resultados y su presentación (Posada y col. 2011).

Paso 5. La rasterización de la cartografía base y temática a escala mayor o igual a la escala de trabajo, se realizó una vez que toda la información base y temática recopilada en físico (centros poblados, vialidad, hidrografía y curvas de nivel) y la generada de (suelo, uso, y cobertura) fue digitalizada, georeferenciada y vectorizada. Para ello se realizaron las transformaciones correspondientes usando para ello ARCGIS 9.0.

Paso 6. A partir de las curvas de nivel y la hidrografía se generó el Modelo Digital de Elevación (MDE) utilizando el SIG. El MDE es la pieza clave del análisis geomorfológico. Es el equivalente informatizado de la cartografía clásica de elevaciones tradicionalmente representada mediante curvas de nivel. El MDE supone un enorme salto cualitativo frente a sus predecesores, ya que la utilización de un modelo numérico, en lugar de uno gráfico, permite una diferencia conceptual de análisis superior en este caso a la que tiene lugar con otras capas de información (Olaya, 2014). También se contó con los datos de la Misión Topográfica Shuttle Radar Datos de Imagen: SRTM Modelo de Elevación Fecha de Febrero, 2000 con una Resolución: 1 Arcosegundo (30 metros por 98 pies).

Paso 7. Análisis geomorfológico: La morfometría o geomorfometría, es la representación cuantitativa del relieve y es una combinación de matemáticas, ingeniería y más recientemente la ciencia de la computación (Dikau y col. 1995). De acuerdo con Rasemann y col. (2004), esta ciencia se encarga de la descripción y el análisis cuantitativo de las características topológicas y geométricas del paisaje.

En otras palabras, la geomorfometría es la ciencia del análisis y descripción cuantitativa de la superficie del terreno a diversas escalas. Utiliza matemáticas,

estadística y técnicas de procesamiento de imágenes y se relaciona con varias disciplinas entre las que destacan la hidrología, la geología, la geometría computacional, la geomorfología, los sensores remotos, la ciencia de la información geográfica y la geografía (Pike y col. 2008) (Citado por Valera 2014).

El MDE se convierte así en una fuente de información de primer orden para el estudio del ambiente, ya que a partir de este y por medio de diversos algoritmos de geoprocésamiento (SAGA GIS) se obtienen las variables geomorfométricas que son claves para fases siguientes planteadas en esta metodología.

En este orden de ideas tenemos que la descripción y caracterización del paisaje implica un gran número y variedad de factores que supone una dificultad metodológica considerable a la hora de buscar un procedimiento a seguir para la realización de la delimitación de unidades ecológicas de manera cartográfica.

Paso 8. Aplicación de la técnica de inteligencia artificial, redes de agrupamiento difuso de Kohonen. En los últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) se ha convertido en una técnica que permite tanto la gestión de grandes bases de datos como la utilización de algoritmos, que aunque complejos en su estructura, arrojan resultados fácilmente interpretables. La IA nos proporciona una serie de técnicas capaces de hallar relaciones predictivas cuando no se conoce ninguna fórmula matemática que relacione variables dependientes e independientes.

Entre esas técnicas las redes neuronales han sido utilizadas con más o menos fortuna en el modelado de sistemas ecológicos, ya que estos son complejos y no todas las variables independientes pueden ser medidas. En ocasiones la interacción entre variables o entre sistemas es tal que el modelado completo y preciso no es posible, por lo que se da un margen de error que consideramos aceptable en cada caso particular (Bravo-Oviedo y Kindermann 2004).

Existen muchas definiciones de redes neuronales, casi tantas como trabajos en la materia. Algunas de ellas son:

- Redes interconectadas en paralelo y con organización jerárquica (Kohonen 1988).
- Un modelo matemático compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles (Hilera y Martínez 1995).
- Ordenación secuencial de tres tipos de nodos o capas: nodos de entrada, nodos intermedios y nodos de salida que utilizan el cerebro humano y su estructura para desarrollar una estrategia de procedimiento (Hair y col. 1999).
- Intento de implementar en un ordenador estructuras y funciones similares a las capacidades de procesamiento de datos del cerebro humano (Recknagel 2001).
- Algoritmos generales de análisis de datos basados en un uso intensivo del ordenador (Peña 2002).

Las redes neuronales (RN) constan de unidades que se agrupan en tres tipos de capas; la capa de entrada, asimilable a las variables independientes; la capa de salida que corresponde a la variable dependiente y una serie de capas intermedias denominadas capas ocultas, ver (Figura, 10). Cada unidad de una capa está unida a otra unidad de la siguiente capa mediante conexiones, que pueden ser hacia adelante, hacia atrás o mixtas. El número de capas y el de unidades constituye la arquitectura o topología de la red. El concepto de red hace referencia a las conexiones que existen entre diferentes unidades o nodos.

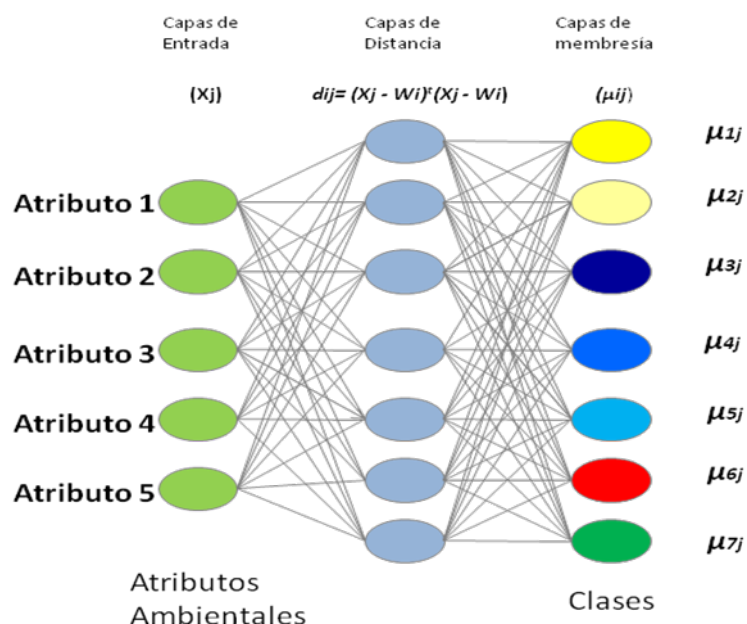


Figura 10. Algoritmo neuro-borroso para la obtención de clases morfométricas

El término neuronal hace referencia a la estrategia de procedimiento de la red. El cerebro humano está formado por aproximadamente 10^{11} neuronas (100.000 millones) que se unen fisiológicamente con otras neuronas mediante pulsos electroquímicos, estas uniones o sinapsis son continuas las 24 horas del día, cuando descansamos, cuando hacemos deporte o cuando leemos un artículo miles de sinapsis se producen en nuestro cerebro.

Hebb (1949), señala que el aprendizaje consiste en fortalecer la unión entre neuronas, para lograrlo nos entrenamos, por ejemplo cuando estudiamos repetidamente un tema de una exposición. Pues bien, las redes neuronales siguen este proceso. Cuanto más fuerte es la conexión entre unidades mejor es el resultado, la red durante el “entrenamiento” al que la sometemos, se fortalece generando un menor error en los resultados. La conexión entre unidades en una red neuronal se cuantifica mediante pesos, cuyo valor es asimilable al de los coeficientes de las variables independientes Hangos y Cameron, 2001; citado en (Bravo-Oviedo y Kindermann 2004).

Durante muchos años no se obtuvo ningún tipo de éxito en el diseño de algoritmos de entrenamiento de redes multicapa. A partir de la comprobación de la

severa limitación de los sistemas de una capa, el mundo de la computación neuronal entró en un obscurecimiento y abandono casi general durante dos décadas. La invención del algoritmo Backpropagation ha desempeñado un papel vital en el resurgimiento del interés de las redes neuronales artificiales. Backpropagation es un método de entrenamiento de redes multicapa. Su potencia reside en su capacidad de entrenar capas ocultas y de este modo supera las posibilidades restringidas de las redes de una única capa. El concepto básico de Backpropagation fue presentado en 1974 por Paul Werbos e independientemente reinventado por David Parker en 1982, y también presentado en 1986 por Rumelhart, Hinton y Williams. La duplicidad de esfuerzos y trabajos es frecuente en cualquier disciplina, y más en el mundo de las Redes Neuronales Artificiales, RNA ANN (Artificial Neuronal Networks) debido a su naturaleza interdisciplinaria (Basogain 2006).

Uno de los tipos de redes neuronales más utilizados son los mapas auto-organizativos (SOM), cuyo propulsor fundamental ha sido Kohonen 1988. SOM realiza una proyección de un conjunto de datos de entrada sobre un conjunto de vectores de salida, usualmente distribuidos en una red regular de baja dimensionalidad (generalmente una malla bidimensional), pero esta proyección tiene la peculiaridad de ser ordenada de acuerdo a las características de los datos de entrada, es decir, la vecindad relativa de los datos de entrada se intenta preservar en el espacio de salida.

Esta nueva red muestra de forma efectiva la idea básica de tener una red neuronal artificial que organice un mapa topológico, constituyendo como tal una primera aproximación a los mapas topológicos de los fenómenos motores y sensoriales existentes en la superficie del cerebro humano. La red de Kohonen presenta ventajas sobre las técnicas clásicas de reconocimiento de patrones porque además de utilizar la arquitectura paralela de las redes neuronales provee una representación gráfica de las relaciones entre los patrones.

Un aspecto diferenciador de la red SOM de otras muchas redes es que aprende sin supervisión, de aquí su nombre en inglés. No obstante, cuando la red

SOM está en combinación con otras capas neuronales para aplicaciones de categorización y/o predicción la red aprende primeramente en modo no supervisado y después cambia a modo supervisado.

Los SOM, son una técnica de clasificación no supervisada apropiada para la identificación de unidades de paisaje cuando se utilizan los MDE, ya que son capaces de reducir la dimensionalidad de datos complejos e identificar patrones, permitiendo una fácil visualización, el análisis y la comprensión de clases o unidades geomorfológicas conformadas por grandes agrupaciones de píxeles.

La lógica borrosa, difusa o fuzzy (términos usados indistintamente a lo largo del proyecto), se basa en lo relativo de lo observado. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí, la lógica difusa se adapta mejor al mundo real, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo "hace mucho calor", "no es muy alto", "el ritmo del corazón está un poco acelerado". La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de nuestro lenguaje (como por ejemplo, "mucho", "muy", "un poco") (Carranza 2008).

De forma resumida se puede decir que la lógica difusa conviene utilizarla cuando se produce alguna de las siguientes condiciones: las variables de control son continuas, no existe un modelo matemático del proceso o es difícil de codificarlo, o bien el modelo es complejo y difícil de evaluarlo en tiempo real. También es recomendable cuando la aplicación requiere utilizar sensores y microprocesadores simples o cuando se dispone de una persona experta que puede especificar en reglas el comportamiento del sistema.

Desde este punto de vista, la aplicación de este método alternativo usando lógica difusa, requiere un cambio de mentalidad y saber que la precisión no siempre es imprescindible. Basta para ello pensar en la mayoría de las acciones cotidianas que realizamos a lo largo del día, como conducir el coche, realizar cualquier tipo de deporte, cocinar, etc; donde no es necesario conocer con precisión la velocidad del coche, el impulso del balón, o el tiempo de cocción para poder llevar a cabo con éxito las diferentes acciones (Basogain 2006).

Un subconjunto difuso, es un conjunto que puede contener elementos de forma parcial. Es decir que la propiedad $x \in A$ puede ser cierta con un grado de verdad. Se mide esta posibilidad de pertenencia con un número $\mu_A(x)$ entre 0 y 1, llamado grado de pertenencia de x a A . Si es 0.0, x no pertenece a A , si es 1.0, entonces $x \in A$, totalmente, y si $0.0 < \mu_A(x) < 1$, x pertenece a A de una manera parcial.

Un subconjunto A de B se caracteriza, por tanto, por esta función de pertenencia μ_A , de B en un rango $[0,1]$. Es preciso fijar el conjunto B para definir la función μ_A que a su vez define A . Por eso se habla de subconjunto difuso y no de conjunto difuso. μ_A es una proposición en el contexto de la lógica difusa, y no de la lógica usual binaria, que sólo admite dos valores: cierto o falso.

La aplicación de la lógica difusa a los recursos naturales y la gestión de la ciencia son todavía relativamente nuevas. Otros campos de aplicación incluyen la clasificación de teleobservación (Blonda 1996), la evaluación del riesgo ambiental (Holanda 1994), la fitosociología (Moraczewski 1993a, 1993b), la geografía (Openshaw 1996), la investigación de ecosistemas (Salski y Sperlbaum 1991), y la evaluación ambiental (Smith 1995, 1997). Más aplicaciones específicas incluyen la captación de modelado (Anónimo 1994), Nube de clasificación (Baum et al. 1997), la evaluación de los nutrientes de las plantas de suministro (Hahn et al. 1995), La interpretación del suelo (Mays y col. 1997, y McBratney Odeh 1997), y Adecuación de tierras para la producción de cultivos (Ranst et al. 1996), Citado por (Carranza 2008).

Por otro lado tenemos que la clasificación ecológica de tierras se define como "una delimitación cartográfica de distinta áreas ecológicas, identificadas por su geología, la topografía, los suelos, la vegetación, las condiciones climáticas, la fauna, recursos hídricos, así como los factores antrópicos". Los ecólogos han estudiado tradicionalmente las relaciones lineales y las no lineales, en algunas ocasiones las relaciones no lineales no son obvias y presentan una gran dificultad a la hora de la modelar, dando lugar a modelos complejos cuya precisión no es siempre la deseada.

En muchos países y regiones, los altos costos, y los inciertos niveles de exactitud predictiva en la generación de mapas ecológicos utilizando métodos manuales de clasificación, han dado lugar a un deseo de desarrollar métodos alternativos automatizados de cartografía ecológica. La aplicación de la teoría de las redes neuronales a los modelos ecológicos se conoce hoy en día como Mapeo Predictivo Ecológico (MPE).

MPE se basa en el entendimiento general de las diferencias ecológicas clave, que son controladas en gran medida por los gradientes ambientales, la humedad, la energía y los nutrientes a través del paisaje, muchas de las cuales operan bajo la influencia de la topografía (véase, por ejemplo Aspinall y Veitch, 1993; Band et al , 1991, 1993; Coughlin y Running, 1989; Moore et al, 1993b; Skidmore, 1989b; Skidmore et al, 1991, 1996; Twery et al., 1991 more et al, 1991, 1996; Twery et al., 1991). (Citado por MacMillan y col. 2009).

Esto apoya la hipótesis de que la distribución espacial de diferentes tipos de clases ecológicas se puede predecir, mediante la formalización de conocimiento ecológico existente en normas básicas. Estas normas fundamentales se pueden aplicar a conjuntos de datos digitales para predecir la clasificación ecológica más probable en cualquier lugar determinado.

Las técnicas consideradas y aplicadas en este paso, se basan principalmente en la aplicación de dos enfoques de inteligencia artificial, los cuales son la teoría de conjuntos borrosos y las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Ambas constituyen dos de los avances científicos importantes del conocimiento, e intentan simular dos de las características más importantes con que cuenta el cerebro humano, como lo son la capacidad de aprendizaje y la capacidad de procesar información incompleta, ambigua, compleja, incierta, o que no es precisa, como la que presenta el complejo multivariada suelo-paisaje.

La combinación de la potencialidad de los conjuntos borrosos y las RNA ha permitido el desarrollo de una técnica integral de clasificación no supervisada denominada red de agrupamiento borroso de Kohonen o Fuzzy Kohonen

Clustering Network (FKCN) (Lin y Lee 1996), que conjuga un algoritmo de mapas autoorganizados o Self Organizing Map (SOM) (Kohonen 1982) y el algoritmo Fuzzy C-means basado en lógica borrosa (Bezdeck 1981). La clasificación digital del paisaje se basa en el análisis cuantitativo de atributos derivados de un MDE e imágenes satelitales, por medio de la aplicación de un algoritmo neuro-borroso, implementado en el programa denominado Sistema Clasificador del Terreno por Fuzzy Kohonen citado por (Viloria 2007).

Estas técnicas permiten dividir el territorio, en unidades que presentan un paisaje propio y diferenciado frente a las unidades adyacentes, con las variables provenientes del análisis morfométrico e interpretación de imágenes de satélite, se evidencia la diferenciación de unidades ante la modificación de una de ellas, ya que los límites de las variables o los elementos abióticos (fisiografía, clima suelo) bióticos (vegetación y fauna) y antrópicos (suelos urbanos y agrícolas) son difusos y son lo que sirven de apoyo para delimitar unidades ecológicas.

En la actualidad existen muchas opciones para generar unidades geomorfológicas en forma rápida, precisa y objetiva, a partir de la realización de clasificaciones continuas del paisaje tomando en cuenta los diversos parámetros derivados de un modelo digital de elevación (MDE) e imágenes de satélite. Este amplio abanico de opciones y técnicas producto del desarrollo de la geomática y del análisis geomorfométrico, complementadas con la geomorfología, contribuye a la creación de una imagen entendible de las unidades de paisaje.

Lo que apoya la toma de decisiones y la planificación del ordenamiento territorial aunado a estas opciones, también existen las técnicas de análisis espacial basadas en inteligencia artificial, tales como la lógica borrosa (LB) y las redes neuronales artificiales (RNA), las cuales son fundamentales para producir modelos digitales de clasificación del terreno (Valera 2014).

Los atributos topográficos y la variable NDVI, generados en los pasos anteriores fueron agrupados en una matriz de datos bajo formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange), Código Normalizado Americano para

el Intercambio de Información), para la aplicación del modelo de Red Neuronal de Agrupamiento Borroso de Kohonen (FKCN). El modelo FKCN agrega una capa de membrecías a las diferentes clases, basadas en fuzzy-c-means, a la capa de distancia de la red SOM, El algoritmo aplicado en este estudio fue programado en Java SE 6, Sun Microsystems, EE. UU. (Viloria, 2007), (Viloria y col. 2015).

Paso 9: Zonificación de las unidades ecológicas. Por lo general, las unidades ecológicas son divididas por su condición de cobertura y uso, para a partir del análisis de dos mapas temáticos (geomorfológico-edafológico y cobertura del terreno- uso de la tierra) todo esto bajo el juicio de los expertos, con bajo niveles de exactitud, altos costos y en periodos de tiempo largos. Esto ha dado lugar a desarrollar métodos alternativos automatizados de cartografía ecológica y al desarrollo de modelos basados en normas y modelos conceptuales con base en la teoría ecológica y usando las relaciones suelo-geomorfología. Clorpt o Corpt son las siglas aplicadas para recordar fácilmente la famosa ecuación de estado de los factores formadores de suelo de Hans Jenny

$$S = f(cl, o, r, p, t, \dots)$$

Jenny (1941) señaló que existen dos métodos principales para que la ecuación de estado pueda ser resuelta: la primera es una forma teórica o conceptual, por deducciones lógicas a partir de ciertas premisas; la segunda es una resolución empírica por experimentación u observación a campo de los suelos.

Otra de la herramienta que ha emergido es el modelo SCORPAN de Mc Bratney y col. (2003), que es muy parecido en su formulación al explicativo de Jenny, 1941, se diferencia por ser predictivo, sin embargo ambos descansan en el mismo fundamento.

De una manera similar a los enfoques Scorpan CLORPT, tal como se describe por Mc Bratney et al. (2003). Zhu et al. (2001) y Qi y Zhu (2003) Proponen el método SoLIM (Modelo de Inferencia Suelo-Paisaje por sus siglas en inglés) cuya técnica combina el conocimiento local de los investigadores en el área de

suelos con las herramientas de los sistemas de información geográfica, teoría de conjuntos difusos, redes neuronales artificiales y árboles de decisión. Esta técnica se fundamenta en la ecuación de formación del suelo y el modelo paisajista (Hudson 1992), la cual consiste en tres componentes principales: 1) Un modelo de similitud que representa a los suelos como un continuo; 2) Un grupo de técnicas automatizadas para la inferencia de suelos usando el modelo de similitud; 3) Un grupo de procedimientos para derivar los productos de la información de suelos del modelo de similitud.

El modelo requiere como datos de entrada atributos topográficos, información de geología y tipo de vegetación. Los autores mencionan que el SoLIM trabaja en forma adecuada en áreas donde hay diferencias significativas de pendiente. Entre los productos, hay mapas difusos de miembros, la trama mapas categóricos del suelo, mapas de la incertidumbre y el mapa convencional de polígonos de suelo. El enfoque SOLIM ha logrado más del 80 % de precisión en comparación con las observaciones de campo. Cuando la precisión del mapeo convencional es a menudo entre el 60 % y el 70 %.(Ver figura 11).

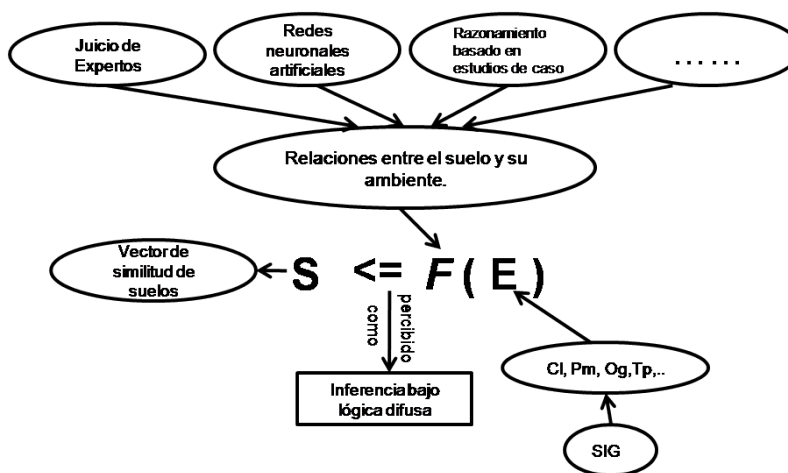


Figura 11 Bases teóricas de Solim: S, es una función de los factores ambientales, Cl es el clima, Pm es la materia parental, Og son los organismos y Tp la topografía.

Una variante del SoLIM es el Prototipo de la Teoría Categórica que se basa en que una categoría o clase de suelo puede ser representada por su prototipo (Qi y col. 2006). A partir de las propiedades del suelo se genera un grupo

compuesto de propiedades que ejemplifican la clase, las cuales después servirán como puntos de referencia para la identificación de diferentes clases de suelos. Las nuevas categorías o clases se identificarán y determinarán la membresía para establecer el grupo al que pertenecen. El modelo consiste de dos pasos; el primero involucra la adquisición del conocimiento sobre las categorías de suelos establecidas por los científicos en términos de prototipos y grados de membresía; y el segundo es el prototipo base que infiere sobre el suelo.

El Mapeo Predictivo Ecológico (MPE) debe considerarse como un modelo análogo muy cercano al de cartografía predictiva del suelo, que se basa en aplicar el modelo de suelo-paisaje. Aunque los tipos de unidades ecológicas a menudo tienen una definición más amplia, y se describen generalmente utilizando un vocabulario diferente, las entidades conceptuales y físicas de ambos, el mapeo de suelos predictivo y el mapeo ecológico predictivo tienden a ser muy similares (Mc Millán 2009).

Según Mac Millan y col. 2009, la clasificación de unidades ecológica se define como "una delimitación cartográfica de distintas áreas ecológicas, identificadas por su geología, la topografía, los suelos, la vegetación, las condiciones climáticas, la fauna, recursos hídricos, así como los factores antrópicos. En este sentido y basado en Mac Millan y col. 2009, se propone definir la unidad ecológica en función de una interpretación integral y sistémica de la información básica generada en el proyecto y la existente de suelo, clima, geología, geomorfología, vegetación, fauna, usos potenciales y actuales, así como lo referente a las amenazas naturales y el riesgo dado por el desarrollo de las actividades desarrolladas en el área, (Ver figura 12).

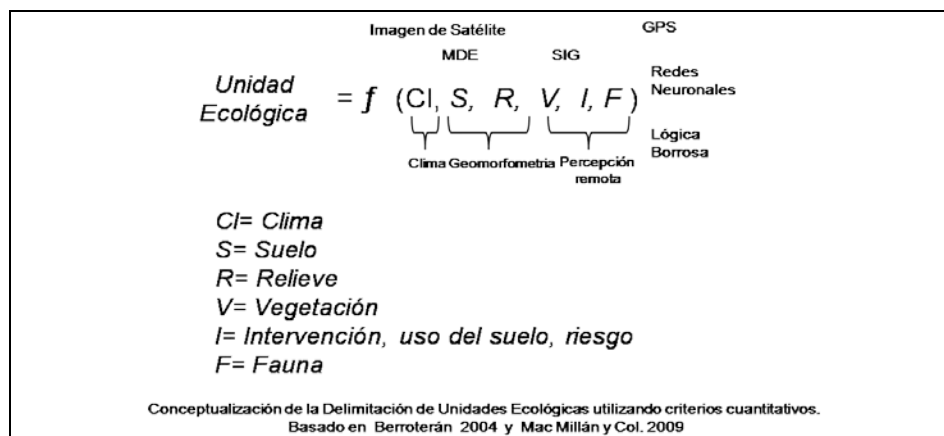


Figura 12. Conceptualización de la delimitación de unidades ecológicas con criterios cuantitativos.

La delimitación de unidades territoriales está precedida por un inventario de datos sectoriales, provenientes de sensores remotos y orientados hacia el estudio de las relaciones existente entre los elementos existentes dentro del área de estudio lo que permite diferenciar geográficamente un conjunto de unidades homogéneas con similares características. Esta metodología propone un modelo espacial para la definición de unidades de ordenamiento basado en características ecológicas, con lo cual se propone alcanzar una armonía entre las necesidades humanas y la conservación de los bienes ambientales.

La delimitación de unidades ecológicas con criterios cuantitativos se complementa con otros criterios como la distribución del uso de la tierra, potencialidades, conflictos, factibilidades socioeconómicas de las actividades en los diferentes ecosistemas presentes en el área, para facilitar el análisis integral del territorio y puede ayudar en el proceso de planificación del territorio y garantizar que se logre con éxito la asignación de recomendaciones de uso respectivas.

Paso 10 Validación de las unidades. En este paso se realiza la evaluación de la precisión y procedimientos, la intención es evaluar la capacidad del método para predecir correctamente las proporciones de clases ecológicas, la cuales serán determinantes en el escenarios que deban tomarse decisiones de gestión, basado en el método de validación escogido para verificar la precisión del mismo.

Una vez generado el mapa de unidades ecológicas preliminares y de sintetizar la información secundaria obtenida, se escogen las herramientas que se utilizaran (mapas, GPS, cámaras fotográficas), así como la duración y los lugares de mayor interés para visita y observación, se realizan los recorridos de campo.

En este paso no se busca que los mapas de las unidades ecológicas tengan definidas con exactitud cada clase, en la ubicación exacta del punto. Se trata de evaluar que porcentaje de las clases de unidades delimitadas, coincide, con las clases de unidades reales observadas en el campo, a lo largo de transectas lineales al azar.

Si los mapas de unidades contienen por lo menos 65 % de precisión predictiva determinado de acuerdo con el protocolo, entonces se validan las diferentes unidades ecológicas de lo contrario el método debe ser aplicado nuevamente.

Paso 11 Descripción de las unidades ecológicas. Por definición, la cartografía ecológica es jerárquica, con diferentes tipos de entidades identificadas a niveles sucesivamente más finos de la estratificación. Las Unidades ecológicas en cada escala espacial se jerarquizan dentro de las escalas más amplias. Según la clasificación ecológica de tierras cada una de las áreas definidas es relativamente estable y no están sujetas a grandes cambios repentinos.

En este sentido, en el marco de esta metodología se propone utilizar para la definición de las unidades ecológicas según el sistema de clasificación jerárquico, multicategórico y subdivisivo de sistemas ecológicos, propuesto por Berroterán (2004a). Los niveles categóricos son: provincia ecológica, subregión ecológica, megaecosistemas, macroecosistemas, mesoecosistemas y unidades ecológicas.

En el Cuadro 7. Se muestran las escalas de trabajo propuestas para los niveles categóricos del sistema de clasificación jerárquico de ecosistemas.

Nivel categórico	Escala de trabajo
Provincia ecológica	1:2.000.000 o más pequeña
Sub-región ecológica	1:2.000.000 a 1:1.000.000

Megaecosistema	1:1.000.000 a 1:500.000
Macroecosistema	1:500.000 a 1:250.000
Mesoecosistema	1:250.000 a 1:100.000
Unidades discretas de ecosistemas	mayores a 1:100.000

Cuadro 7. Escalas de trabajo propuestas para los niveles categóricos.

Vale la pena destacar que la cartografía de los recursos naturales ha estado estrechamente ligada al desarrollo de las tecnologías de prospección e inventario mediante percepción remota y con las tecnologías de posicionamiento global satelital. Esta etapa de análisis y procesamiento de la información implica la descripción de las unidades delimitadas y la elaboración de las leyendas correspondientes en función de cada uno de los componentes.

La definición de las Unidades Ecológicas (UE) es el aspecto crucial para la toma de decisiones. El conocimiento y valoración cualitativa y cuantitativa del territorio se debe orientar a resaltar las limitaciones, establecer la capacidad de uso, la localización y detección de los bienes y servicios de que dispone o proporciona el territorio. Igualmente se debe incidir en el medio socioeconómico pues se considera que éste influye de manera importante y a todas las escalas sobre la utilización del ambiente ecológico.

Las UE son la síntesis de la información primaria territorial (diversidad biológica, ocupación del suelo, edafología, entre otros), y secundaria o derivada (estructura del paisaje, capacidad de uso, calidad del paisaje, entre otros) contenida en el SIG que almacena la información levantada en la etapa anterior.

En esta etapa es fundamental el papel de las nuevas tecnologías (SIG, Sensores Remotos, Sistemas de Posicionamiento Global, entre otros) (Banko, 2001; Weiers y col., 2004) y técnicas (Data Mining, Evaluación multicriterio, modelos de distribución espacial, estadística espacial) para modelar la realidad, establecer unidades ecológicas territoriales homogéneas y facilitar la toma de decisiones (Barredo, 1996; Keisler and Sundell, 1997; Muller and Steinhardt, 2003; Noss y col.,

2002; Skidmore, 2002; van Lynden and Mantel, 2001) citado por Beneitez López (2006).

El modelo espacial en el entorno de los SIG facilita la consideración simultánea de múltiples variables (sociales, ambientales y económicas) y sus interacciones de cara a comprender el funcionamiento integral del territorio y, especialmente, a la evaluación y planificación del mismo (Espejel y col. 1999; Muller and Steinhardt 2003).

No todo el territorio tiene el mismo valor de cara a la planificación. Su clasificación permitirá identificar y describir diferentes áreas, en las cuales son homogéneas las respuestas y capacidades de suministrar de forma sostenible recursos a los sistemas humanos y soportar los impactos frente a las actividades humanas.

En la definición de las UE se evidencian los procesos existentes dentro de los ecosistemas que son los responsables del estado de conservación del mismo, lo que permite sentar las bases para su protección según su valor natural, social, económico y total; y adecuar los usos y actividades conforme a la capacidad de carga y de acogida para las distintas actividades.

Dentro de los aspectos a considerar para la asignación de uso a las unidades ecológicas tenemos la unidad de paisaje o ecológica que se considera aquella área o zonas homogéneas que resultan del análisis, la caracterización y la validación de información generada, cuya integración temática, permite definir unidades en función de la valoración de los recursos biofísicos.

Paso 12 Propuesta de Unidades Ecológicas de Ordenamiento Territorial.

El ordenamiento ecológico, ambiental o territorial (visto como el fundamento de la planificación) es un hecho cultural y político íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de cada sociedad y se señalan sus orígenes en Francia a fines de la Segunda Guerra Mundial.

Fue propuesto como una alternativa para solucionar los problemas relacionados con la distribución y utilización de la tierra, siendo en Europa y Norteamérica donde alcanza un importante desarrollo esta concepción, especialmente en los últimos años (Caballero, J. V., 1997 a y b, Hildenbrand, A, 1996), dentro de las características que presenta este enfoque se tiene que:

- Proporciona las oportunidades mínimas que garantizan una adecuada calidad de vida para toda la población.
- Conservan y desarrollan los fundamentos naturales de la vida (bio y geodiversidad, procesos ecológicos esenciales, etc.).
- Mantienen a largo plazo el potencial de utilización del suelo y los recursos que contiene (Citado por Salinas 2005).

A las unidades ecológicas se les puede proponer una asignación de un régimen jurídico específico y vinculante con un fin, todo esto con el objetivo no solo de evitar su alteración o destrucción o por lo menos mitigarla a valores aceptables, sino favorecer su mejora y por lo tanto, incremento mediante acciones de restauración y/o recuperación.

La asignación de uso a las unidades ecológicas incluye el análisis de alternativas en función de las propiedades y el estado de los paisajes desde un enfoque sistémico; el diseño de la organización tomando en consideración la estructura y la función óptima de los mismos, permite proponer las unidades de ordenamiento ecológico territorial (UOET), y elaboración de mapas temáticos con información sobre el uso actual y potencial.

4.2 Metodología para establecer las relaciones potenciales entre los componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial.

4.2.1 Análisis de correspondencia canónico

Los métodos de ordenamiento más ampliamente usados en Ecología son los de la familia del Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) ya que estos

maximizan la correspondencia entre los puntajes de sitios y especies. Si una combinación lineal de las variables ambientales se encuentra fuertemente relacionada a la composición de especies, el ACC creará con esas variables el eje de ordenamiento que más diferencie a las curvas de respuesta de las especies. El segundo eje y los siguientes también van a maximizar la dispersión de las especies sujetos a la restricción de ser combinaciones lineales de las variables ambientales y ortogonales a los ejes anteriores (Peña 2002).

Para analizar de forma integrada los patrones de cambio en la abundancia de los diferentes tipo de suelo y vegetación en función de las variables en función al paisaje se utilizó un análisis de gradiente directo (Análisis Canónico de Correspondencia, ACC). Para esto, se definió una matriz de los tipos de vegetación en cada uno de los paisajes en cada una de las unidades de muestreo. La matriz secundaria se construyó con los datos de suelos de cada unidad de paisaje.

El ACC se realiza usando Multivariate Statistical Package 3.1 (MVSP) es un programa de bajo costo y fácil de usar que realiza una serie de análisis numéricos multivariados útiles en muchos campos científicos.

4.2.2 Sistema socio ecológico

La intrincada relación entre ambiente y sociedad ha sido abordada desde múltiples perspectivas, sin embargo, las más importantes y productivas han sido aquellas provenientes de las tradiciones sistémicas. El enfoque de los sistemas socio-ecológicos entiende a éstos como un entramado de relaciones en torno a recursos que son necesarios para la vida humana, donde interactúan variables sociales y ambientales, por este motivo, no se trata solamente de un sistema que se estructura en torno a un problema ecológico, sino que considera también sistemas sociales humanos que interactúan en un espacio determinado. En los sistemas socio-ecológicos los aspectos físicos, ecológicos y sociológicos están intrínsecamente interrelacionados para la comprensión de su dinámica frente al cambio ante una actividad susceptible a degradar el ambiente (Ostrom, 2009).

Según Gallopin y col. (2001), la resolución de los problemas de la sostenibilidad del desarrollo requiere considerar el sistema total conformado por la naturaleza y la sociedad, incluyendo los subsistemas relevantes así como los vínculos entre los mismos. Tal “sistema socio-ecológico” puede considerarse la unidad básica de análisis para la problemática del desarrollo sostenible, sea a escala de país, de provincia, de localidad, o del mundo.

El concepto del sistema socio-ecológico, distingue cuatro subsistemas principales: el social, el económico, el institucional, y el ambiental, relacionados entre sí. Estos subsistemas se corresponden con las cuatro categorías básicas planteadas por la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (UNCSD 1995, UN 2001) como las dimensiones del desarrollo sostenible.

El primer subsistema es el social, definido en sentido, amplio incluyendo las variables de la calidad de la vida (satisfacción de las necesidades materiales y no materiales del ser humano), de la renta y de su distribución, y de los aspectos demográficos.

El subsistema económico incluye la producción y el consumo de bienes y servicios, el comercio, el estado general de la economía, la infraestructura y los asentamientos humanos (el ambiente construido) y los desechos generados por el consumo y la producción.

El subsistema institucional contiene las instituciones formales e informales de la sociedad, las leyes y las regulaciones, las políticas, y también incluye las estructuras y los procesos societales principales (agentes sociopolíticos, procesos políticos, estructuras de poder, etc.), el conocimiento y los valores de la sociedad.

El subsistema ambiental incluye el ambiente natural en sus aspectos de recursos naturales, procesos ecológicos, condiciones de soporte vital, y la biodiversidad.

En este sentido se planteó identificar estos subsistemas en el área de estudio, y se procedió a seleccionar las variables de interés en el marco de los ámbitos de análisis, sobre la base de la información generada y recopilada. Los flujos, relaciones e interrelaciones o acoplamientos funcionales principales entre

los subsistemas de un sistema socio-ecológico a la escala nacional se pueden representar como en la figura 13.

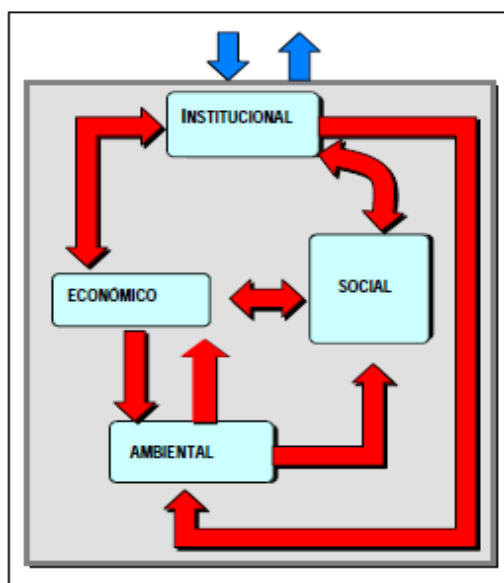


Figura 13. Los flujos, relaciones e interrelaciones o acoplamientos funcionales principales entre los subsistemas de un sistema socio ecológico, Gallopin 2006.

Las dos flechas cortas de y hacia la caja grande que representa el sistema total representan interacciones entre el sistema y su mundo externo. Los temas estratégicos que permitirían desarrollar una teoría general sobre su interrelación, están determinados por la interrelación dialéctica que se produce entre los componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y la producción industrial.

Las interrelaciones se plantean para ser tan neutras y tan universales como fuera posible a diferentes escalas. Ellas pertenecen a dos tipos básicos: por un lado, los flujos de materia y/o energía entre algunos de los subsistemas (por ejemplo los desechos que salen de la economía o los bienes naturales que entran a ella).

La información, las señales de control, y/o las acciones que generan cambios en las variables y la organización de los subsistemas receptores también fluyen entre los subsistemas (por ejemplo los flujos financieros, las regulaciones e impuestos, el establecimiento de áreas naturales protegidas).

Gudynas y Evia (1993), plantean que, el ser humano es parte integrada del ambiente, ni uno ni otro se pueden estudiar aisladamente, en tanto mutuamente se determinan aspectos de su estructura y su funcionamiento. Esto quiere decir que estudiando ambos, en interacción, se logra comprender la realidad socioambiental como una totalidad. De allí que debemos interpretar cómo funcionan el subsistema natural y cómo interactuamos con él, para lograr mejores beneficios y mantener un equilibrio ecológico.

La Ecología Social busca brindar las herramientas necesarias para que las personas traten de valorar y mantener una armonía de sus prácticas sociales, políticas, culturales y económicas con su ambiente natural.

En este sentido basado en la Ecología social según Gudynas y Evia (1993) y lo planteado por Gallopin (2001), se propone un esquema de sistema socio-ecológico a través del análisis filosófico y crítico de las relaciones entre los seres humanos y de éstos con el mundo natural al que pertenecen tal como lo plantea la ecología social, con el fin de explicar las relaciones existentes en los ámbitos antes mencionados de manera prospectiva ante el posible emplazamiento de una refinería de petróleo en la localidad de Santa Rita de Manapire.

4.3. Establecimiento de indicadores de conservación y sostenibilidad de los ecosistemas existentes en el área de estudio.

4.3.1 La metodología PER

El sistema de indicadores más ampliamente utilizados por lo inmediato de su comprensión es el de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1993. Se trata del sistema presión-estado-respuesta, el cual se basa en una cadena de causalidades donde se entiende que las actividades humanas originan presiones sobre el ambiente (indicadores de presión) que modifican la calidad y cantidad de los recursos naturales (indicadores de estado), en virtud de lo cual se produce una respuesta que tiende a modular la presión (indicadores de respuesta), (ver Figura 14).

Estructura presión-estado-respuesta

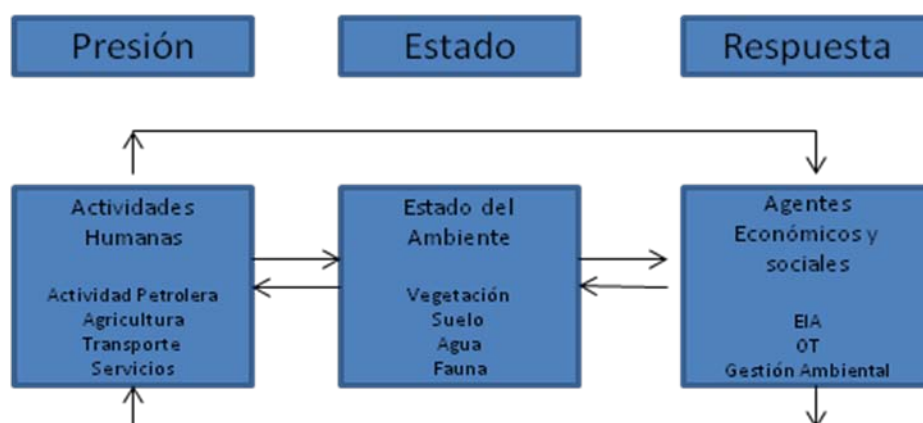


Figura 14. Estructura presión-estado-respuesta

Partiendo de una relación causa-efecto entre los factores de estrés de origen económico-humano y sus impactos ambientales en la biosfera. Se ha desarrollado el enfoque de Presión-Estado-Respuesta (PER) el cual se limita al segmento ambiental del Desarrollo Sostenible y tiene como objetivo principal identificar un conjunto de indicadores que permitan reducir, de manera correcta, la realidad compleja para identificar prioridades de problemas medulares y soluciones adecuadas en el ámbito del ambiente.

El enfoque Presión-Estado-Respuesta, está basado en la premisa de que las acciones humanas ejercen presión sobre el ambiente y cambian el estado de la calidad y cantidad de los recursos naturales. La sociedad responde a estos cambios a través de la respuesta ambiental, económica y política. Basado en una lógica de causalidad determinística, asume que las actividades humanas ejercen una presión sobre el ambiente y afectan la calidad de sus elementos y la cantidad de sus recursos (estado); ante lo cual la sociedad responde a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales, así como cambios en la percepción y comportamiento (respuesta social).

El modelo P-E-R es un marco simple de organización de la información, que a nivel macro es utilizado como formato para estructurar los indicadores. Implica elaborar de manera general una progresión causal de las acciones humanas que ocasionan una presión sobre los recursos naturales, y que a su vez conllevan a un

cambio en el estado del ambiente, al cual la sociedad responde con medidas o acciones, para reducir o prevenir impactos ambientales significativos.

La metodología PER (Presión – Estado – Respuesta) identifica tres tipos de indicadores ambientales:

- Indicadores de presiones ambientales causadas por el hombre.
- Indicadores de las condiciones o calidad del ambiente y los recursos naturales.
- Indicadores de las respuestas de la sociedad a las presiones sobre el ambiente (SINIA 2001).

Presión: Describen las fuerzas ejercidas sobre el ambiente por las actividades humanas, directa o indirectamente, este tipo de indicadores es un modelo de estimación de conductas y son particularmente usados en la formulación de políticas y en la evaluación del desempeño.

Están a menudo clasificadas como factores o fuerzas subyacentes tales como: crecimiento poblacional, consumo o pobreza. Las presiones sobre el ambiente son consideradas frecuentemente desde una perspectiva política como punto de partida para abordar los asuntos ambientales y desde el punto de vista de indicador están disponibles para realizar análisis, toda vez que son derivadas sobre la base de datos de seguimiento socio económicos, ambientales y otros. Refleja el objetivo último de las políticas ambientales e incluyen aspectos tales como:

- Las características físicas, químicas y biológicas del entorno.
- La condición del ecosistema y las funciones ecológicas del medio natural.
- La calidad de vida de la población.

Estado: se refiere a la condición del ambiente que resulta de las presiones arriba descritas, y el deterioro que en ellos generan las diferentes actividades humanas, los niveles de contaminación del aire, degradación de la tierra o deforestación. El estado del ambiente afectará, a su vez, la salud humana y el

bienestar así como el tejido socio-económico de la sociedad. Por ejemplo, un incremento en la degradación de la tierra conducirá a uno o varios de los siguientes factores: disminución en la producción de alimento, incremento de alimento importado, incremento en el uso de fertilizantes, malnutrición, etc.

Es importante entender tanto el estado del ambiente como los efectos indirectos. Los indicadores de estado deberían ser diseñados para responder a las presiones y al mismo tiempo facilitar acciones correctivas.

Respuesta: El componente de respuesta del marco de referencia PER está relacionado con las acciones tomadas por la sociedad, individual o colectivamente, que son diseñadas para facilitar o prevenir impactos ambientales negativos con el fin de corregir el daño existente o de conservar los recursos naturales. Esas respuestas pueden incluir acciones reguladoras, gastos ambientales o de investigación, opinión pública y preferencia del consumidor, cambios en las estrategias de manejo y suministro de información medioambiental.

Las respuestas deberían estar diseñadas para actuar sobre las presiones, pero pueden al mismo tiempo tener un impacto modificador en los indicadores de estado (Quevedo 2007). Desde el punto de vista metodológico, es necesario destacar que el marco de análisis elegido para la estructuración del sistema de indicadores es el denominado Presión-Estado-Respuesta (PER).

El primer objetivo, persigue la integración de los aspectos ambientales en las políticas sectoriales, es decir, que la aplicación de los indicadores ambientales, permita tener en consideración a los aspectos ambientales relevantes en los primeros momentos de la toma de decisiones, mientras que el segundo objetivo, consiste en transmitir información sintética sobre el estado del ambiente, a través de factores de presión y acciones establecidas para la atención de la problemática ambiental.

Grupo 1. Presión sobre el sistema ecológico

Los indicadores en este grupo incluyen aquellas actividades que se relacionan al grado de intensificación y diversificación de actividad petrolera, nuevos asentamientos urbanos, usos agrícolas de la tierra y que, como consecuencia, resultan en un aumento de la presión sobre el sistema ecológico como lo es el morichal.

Grupo 2. Estado del sistema ecológico

Los indicadores del estado responden sobre el estado del ambiente. Estos indicadores incluyen, la calidad de las aguas subterráneas, las concentraciones de sustancias tóxicas o el número de especies, en el caso del morichal y los bosques ribereños la extensión y los impactos de la degradación del mismo. Los cambios en el estado pueden ser positivos o negativos dependiendo del manejo.

Grupo 3. Respuesta(s) de la sociedad

Son los mecanismos de respuesta que normalmente, son puestos en funciones por medio de acciones directas de los entes gubernamentales en este caso con injerencia en la cuestión ambiental. En algunos casos pueden ser necesarias reglamentaciones o legislaciones ambientales a fin de poder controlar efectivamente la degradación del ecosistema. Los indicadores de las respuestas pueden incluir el número y el tipo de organizaciones de habitantes de la zona para la conservación del morichal, programas incentivados para la adopción de práctica de gestión ambiental preventiva, etc. Los indicadores de respuesta deben ser distinguidos en aquellas categorías promovidas por el gobierno y aquellos que son iniciativa de los habitantes.

4.3.2 Área de bosque siempre verde y de morichales como indicadores del estado de conservación de los ecosistemas.

Como un posible indicador del estado de conservación del área de estudio, nos planteamos cuantificar el área de morichales y bosques ribereños, a través de

un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales para verificar los cambios de la cobertura de estos sistemas ecológicos. Los sensores remotos como base en el análisis de imágenes de satélites son uno de los medios que se disponen hoy para optimizar los recursos de los mapas, de la detección de cambios geoambientales y agilizar la toma de decisiones de las autoridades competentes.

La detección de cambios en la cobertura del bosque siempre verde y de morichales en esta investigación se realizó, usando una misma escena en fechas diferentes. Las fuentes de datos utilizados fueron tres imágenes multiespectrales, una es un recorte generado a partir de la imagen del sensor *Thematic Mapper* del satélite Landsat 5, de enero de 1985, otra es un recorte generado a partir de la imagen del sensor Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) del satélite Landsat 7 de enero de 2003 y la última es un recorte generado a partir de una imagen del sensor Landsat 8 OLI and TIRS Spectral Bands también de enero de 2016. Estas imágenes se encuentran disponibles en el portal de la Universidad de Maryland. En el caso de los años 1985 y 2003, las combinaciones de las bandas fueron 3, 2, 1 mientras que para la imagen del año 2016, se utilizó la combinación 4, 3, 2 debido a cambios en las características en el sensor Land Sat 8. Una interpretación visual de las composiciones RGB y de información de campo, fue utilizada para definir las siguientes clases: área con ecosistemas de sabana, las áreas con suelo desnudo o dunas de arenas y las áreas bosque ribereño y morichales, las cuales una vez realizada la interpretación no supervisada, permitieron cuantificar los cambios en el área de cada una de estas categorías, usando como programa SAGA GIS que es un sistema automatizado para el análisis geocientífico.

4.4. Evaluación multicriterio. Reglas de decisión para obtener el patrón óptimo de ocupación del territorio.

El ordenamiento ecológico del territorio se ha convertido en una herramienta para ayudar en la toma de decisiones, con base no solo a la teoría

ecológica y enfoque sistémico, sino en función a la información existente, su procesamiento y análisis lo que permite estimar las mejores opciones de uso para la tierra.

En el análisis de aptitud del territorio, por lo general resulta que varias alternativas de decisión obtienen valores altos para dos o más sectores con actividades incompatibles. Así, el siguiente problema con el que se enfrenta la formulación del ordenamiento ecológico territorial es la determinación de un patrón óptimo de ocupación del territorio (Malczewski 1999).

Para evitar conflictos ambientales conviene segregar espacialmente estas actividades, pero distribuyendo el territorio de una manera equilibrada, de manera que se beneficie lo más posible a cada sector, con un detrimento mínimo de los demás grupos involucrados. Para lograrlo es necesario aplicar alguna regla de decisión multiobjetivo que combine los diferentes mapas de aptitud sectorial, para maximizar el valor total de aptitud del territorio, pero evitando la concurrencia espacial de actividades incompatibles.

Las nuevas tecnologías de aplicación geográfica como son la cartografía analítica, los sistemas de información geográfica y la teledetección han marcado un avance notorio en los métodos de gestión del territorio, así como de la producción cartográfica y en este caso en la delimitación de unidades de manera cuantitativa (Hernández y col 2006).

Las características ecológicas de un área pueden ser descritas mediante una amplia gama de parámetros físico-químicos, biológicos y de uso humano. La expresión espacial de las interacciones entre ellos permite reconocer patrones y evidenciar las dimensiones reales de las posibilidades de estas interacciones, así como las limitaciones y potencialidades del territorio (González-Bernáldez, 1981; Cabrera, 1984) (citado por Pineda y De Pablo 1985).

Normalmente cuando se trata de la inclusión de un set de factores que condicionan directamente la aptitud de un territorio, se utiliza la Evaluación Multicriterio (EMC) para ayudar en procesos de análisis espacial y obtener resultados acordes al cumplimiento de cada uno de los criterios aplicados Barredo,

(1996), y en la validación de los mismos basada en la revisión permanente de las variables consideradas y métodos aplicados para la construcción de áreas potenciales.

Un problema importante de la EMC es la generación de factores cuantitativos para poder emplear las reglas de decisión de este tipo. En muchos casos los factores que permiten valorar las alternativas no están medidos en términos cuantitativos y, sin embargo, nos vemos obligados a emplear reglas de decisión cuantitativas. Por lo tanto es necesario poder llegar a generar datos cuantitativos de hechos medidos en términos cualitativos. Un método usual para ello, y que funciona bastante bien, es el propuesto por Saaty, también denominado de la matriz de comparaciones binarias (Barredo 1996).

Para la definición de usos, la concepción de unidades ambientales con características homogéneas, una metodología útil es la utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) una importante herramienta para su ubicación espacial frente a la complejidad en la delimitación de las mismas (Chuvieco 1996).

Los SIG permiten manipular, procesar, analizar y relacionar grandes volúmenes de datos dentro de un componente espacial asociado, cuya finalidad última es generar información útil para apoyar el proceso de toma de decisiones. Además facilitan el análisis conjunto de las variables territoriales que el usuario considera necesarias para la obtención de criterios espaciales de zonificación.

En este estudio se escogieron 4 criterios espaciales de zonificación los cuales están representados por los indicadores ambientales: Fragilidad ante habitabilidad o uso urbano, Restricciones para el establecimiento de infraestructura para uso petrolero, Uso agrícola y conservacionista, todos ellos basados en características de las unidades ecológicas tales como drenaje, fertilidad, pendiente, erosión (hídrica y eólica), los cuales determinan la **Fragilidad**, que es la capacidad de respuesta de un paisaje frente a un uso de él o el grado de deterioro ante cambios en sus propiedades.

La fragilidad como indicador pondera tres variables como los riesgos de inundaciones y condiciones de drenaje interno, formas de relieve y riesgos de erosión y la accesibilidad. Los grados de fragilidad se describen a continuación:

- Zonas aptas: Áreas con baja fragilidad (1), sin restricciones por relieve, sin restricciones por mal drenaje y sin restricciones por erosión y buena accesibilidad.
- Zonas medianamente aptas: Áreas con mediana fragilidad (2), con restricciones por relieve, o por mal drenaje o por erosión y mediana accesibilidad.
- Zonas no aptas: Áreas con alta fragilidad (3), restricciones por relieve, mal drenaje y erosión, poca accesibilidad.

Restricciones por topografía para el soporte de infraestructura: Se refiere a las limitaciones geotécnicas que poseen las áreas naturales para la construcción o emplazamiento de grandes obras de infraestructura, como la vialidad, redes de transmisión, poliductos, incluyendo las refinerías (Marnr, 1982). Este indicador, considera aspectos relativos a las características de los materiales geológicos, el clima, la topografía (erosión), riesgo ante amenazas por inundaciones. Los grados de restricciones se describen a continuación:

- Áreas sin restricciones por topografía (1): Pendientes menores a 1%. Sin problemas de inundaciones, buen drenaje.
- Áreas con medianas restricciones por topografía (2): Pendientes en 1 y 8%, con erosión en cárcavas, inundaciones estacionales y mal drenaje.
- Áreas con alta restricciones por topografía (3): Pendientes mayores a 8% o exceso de agua por mal drenaje, fuerte erosión.

Potencial agrícola: Se refiere a la posibilidad de los paisajes que por sus características generales y elementos específicos (fertilidad, pendientes y drenaje) presentan valores destacados que permitan el uso agrícola con altos niveles de productividad y eficiencia, sin que ello conlleve a su degradación y la pérdida de otros valores de importancia como son: calidad del agua, suelos, etc.

- Con bajo potencial agrícola (1): Suelos con problemas de erosión o mal drenaje, baja fertilidad.
- Con mediano potencial agrícola (2): Suelos con problemas de erosión moderados, buen drenaje, y moderada fertilidad.
- Con alto potencial agrícola (3): Suelos sin problemas de erosión, buen drenaje y buena fertilidad.

Áreas con prioridad de conservación: Aquellos paisajes que por sus valores de biodiversidad, exclusividad, singularidad, naturalidad, rareza, entre otras, se consideren un patrimonio natural de elevado valor para las actuales y futuras generaciones. También aquellos paisajes relacionados con los anteriores y que constituyan zonas de transición, amortiguamiento necesarias para conservar y mantener el equilibrio ecológico de los paisajes anteriores. El manejo sería para aprovechamiento de fauna silvestre y agroturismo (Marnr 1982).

- Con baja prioridad de conservación (1): Áreas con pendientes menores a 1% topografía plana, Sin problemas de inundaciones, con afloramiento de coraza.
- Con medianas prioridad de conservación (2): Áreas con pendientes entre 4 y 8 %, con problemas de erosión en cárcavas.
- Con alta prioridad de conservación (3): Áreas con vegetación protegida y con pendientes mayores a 8 % (SAV 1982).

Para realizar EMC usando los SIG, se utilizó la técnica de álgebra de mapas que consiste en un conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato ráster, permite obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos (Olaya 2014).

Como tal, el álgebra de mapas lo forman un conjunto de variables (los mapas), expresiones y funciones, los cuales, a través de una sintaxis adecuada, permiten la obtención de nuevos resultados geográficos.

Las técnicas EMC que se basan en la ponderación y compensación de las variables que van a influir sobre la actividad objeto de decisión y que deben ser inventariados y clasificados previamente (Barredo 1996).

En las técnicas compensatorias de EMC los pesos de los criterios deben establecerse de manera numérica. Desde el punto de vista operativo y de tratamiento de los datos las técnicas compensatorias se basan en la suposición de que un valor alto de una alternativa en un criterio puede compensar un valor bajo de la misma alternativa en otro criterio.

La superposición entre capas ha sido definida por Burrough y McDonnell (1998) como “el proceso de superponer representaciones digitales de varios conjuntos de datos espaciales, unos sobre otros de manera que cada posición en el área cubierta puede ser analizada en términos de dichos datos.

En el modelo raster se realiza estableciendo alguna operación aritmética a través de funciones locales entre las celdas de las capas de entrada. Una vez obtenida la superposición podemos reagrupar, clasificar, promediar, etc. los distintos atributos de la capa resultante”.

En este estudio se aplicó la sumatoria lineal, que es un método de evaluación multicriterio (EMC) utilizado ampliamente en el mundo, que consiste en la suma lineal del producto de los pesos ponderados de cada criterio por el valor asignado a las clases que lo integran (peso de cada atributo de la clase).
$$R_i = \sum_{j=1}^n w_j P_{cij}$$
 Donde: R_i es el nivel de adecuación de la alternativa i (Barredo 1996).

5 RESULTADOS

5.1 Aplicación de la metodología propuesta:

5.1.1 Recorridos de campo

Se realizaron tres actividades de campo, la primera de ellas tenía como fin verificar los límites del área de estudio y actualizar algunas toponimias, la segunda actividad de campo el chequeo del mapa base y verificación de algunos perfiles de suelo, mientras que en la tercera se realizó el chequeo del mapa de vegetación preliminar y la validación de las unidades ecológicas delimitadas con base en metodologías tradicionales y la propuesta, en todas las actividades de campo se realizaron avistamiento de fauna, (Ver figura 15).

Actividad Académica de Campo 1: Durante agosto del año 2009, se realizó la verificación en campo de la poligonal del área de estudio con el fin de ajustar la misma, chequear las diferentes vías de acceso y actualizar los topónimos lo que permitió la generación del mapa base (Ver figura 16).

(a)



(b)



Figura 15.Chequeo de cartografía en campo.

Actividad Académica de Campo 2: Para Septiembre 2010, luego de ajustar los límites del área de estudio, se verificó el mapa base además de los diferentes tipos de paisajes y perfiles de suelo ubicados en los cortes de carretera, existente en el área de estudio (Ver figura 17).

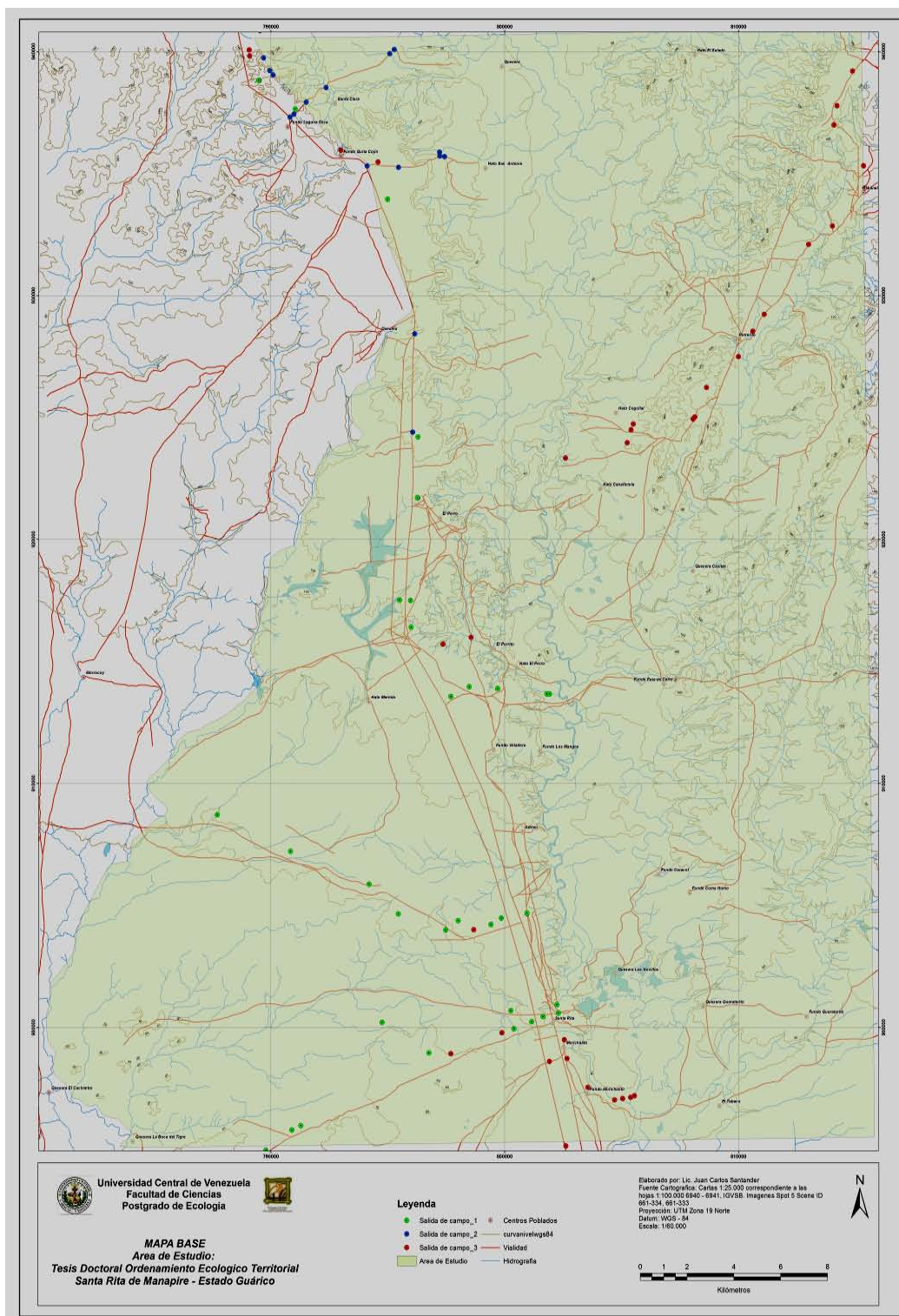


Figura 16. Mapa base con recorridos de campo

(a)



(b)



Figura 17. Chequeo de vegetación en campo

Actividad Académica de Campo 3: Este recorrido se realizó durante Junio 2011 con el fin de verificar los resultados obtenidos en la etapa de laboratorio (SIG), con el cual se obtuvo una visión general de la cobertura vegetal y la verificación de los tipos de vegetación que se encuentran presentes en el área de estudio. En esta actividad de campo se conto con la presencia del Botánico Rafael Ortiz, experto en la vegetación del área de estudio (Ver figura 19).

(a)



(b)



Figura 18. Chequeo de mapa de vegetación en campo

(a)

(b)



Figura 19. Chequeo de suelo y vegetación en campo

5.1.2 Mapa de Vegetación e Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)

A partir de las dos imágenes Spot de 2009, se generó una imagen compuesta por medio de una operación llamada mosaico, de dicho mosaico se extrajo el recorte del área de estudio, la clasificación no supervisada de la imagen compuesta se llevó a cabo mediante la aplicación del algoritmo de agrupamiento ISODATA (Interactive Self-Organizing Data Analysis Algorithm) y con el apoyo de la cartografía descrita anteriormente, vale la pena destacar que este proceso de clasificación es híbrido.

Una vez verificada la información del mapa preliminar de vegetación en campo se realizó la interpretación supervisada de las imágenes, la asignación de los píxeles a las clases seleccionadas se llevó a cabo con el criterio de decisión de la máxima verosimilitud (ERDAS 1999).

En este sentido tenemos, que según las investigaciones realizadas en la región, en Los Llanos venezolanos la vegetación está determinada por la severidad de los periodos de lluvia y sequía, ya que cuando las condiciones del suelo están asociadas a un régimen periódico de lluvias es donde la vegetación se especializa

o se reduce (Beard 1944). Según Wiens, (1989) la distribución de especies vegetales está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo, que a pequeña escala se traduce a una determinación climática y a escala grande o detallada como es el caso este, es determinada por las características topográficas y edáficas.

La vegetación de la región de Los Llanos presenta principalmente dos fisonomías vegetales contrastantes: sabanas y bosques con ciertos tipos intermedios entre ambas en cada una de estas fisonomías pueden diferenciarse un cierto número de comunidades caracterizadas por su estructura, periodicidad y especies dominantes (Sarmiento y Monasterio 1971).

En general, las sabanas corresponden a un sistema ecológico tropical donde existe un marcado período de lluvia y sequía lo que condiciona su presencia a climas estacionales con respecto a la variable lluvia (lluvias > 900 mm) en combinación con suelos bien o excesivamente drenados, provenientes de sedimentos aluviales depositados en ambientes terrestres y relativamente antiguos y por lo tanto asociados a suelos oligotróficos. Las sabanas mal drenadas se asocian con suelos arcillosos dominados por texturas francosas finas a arcillosas, agrietados y con un claro hidromorfismo desde la superficie, con medianos valores de materia orgánica (MO) y fertilidad mediana, con bosques siempreverdes inundables como son por ejemplo los "congriales" y "saladillales" donde el uso actual y potencial más viable son los pastos adaptados para ganadería bovina y fauna natural (Comerma 2009).

La vegetación de sabana presente en el área de estudio se ha utilizado tradicionalmente para un sistema de explotación ganadero de tipo extensivo donde es necesario contar para cada unidad animal entre 6 a 7 ha de este tipo de vegetación natural. La causa de este fenómeno radica en la temprana lignificación que experimenta las gramíneas perennes nativas en climas tropicales y sus bajos valores de proteína cruda (González 1991). De acuerdo con el mapa de vegetación a escala 1:60000 (Figura 20), el área de estudio abarca una extensión aproximada de 120000 ha y está cubierta en 50,1% por sabanas que van de

densa a poco arboladas, 7,0% por sabanas de densa a poco arboladas asociadas a dunas de arena, 8,4 % por morichales, 11,5 % por bosques ribereños siempreverdes, 16,4 % de sabanas periódicamente inundables de *Paspalum subciliatum* y *Paspalum millegrana* y 6,4 % herbazales de pantano estacional.

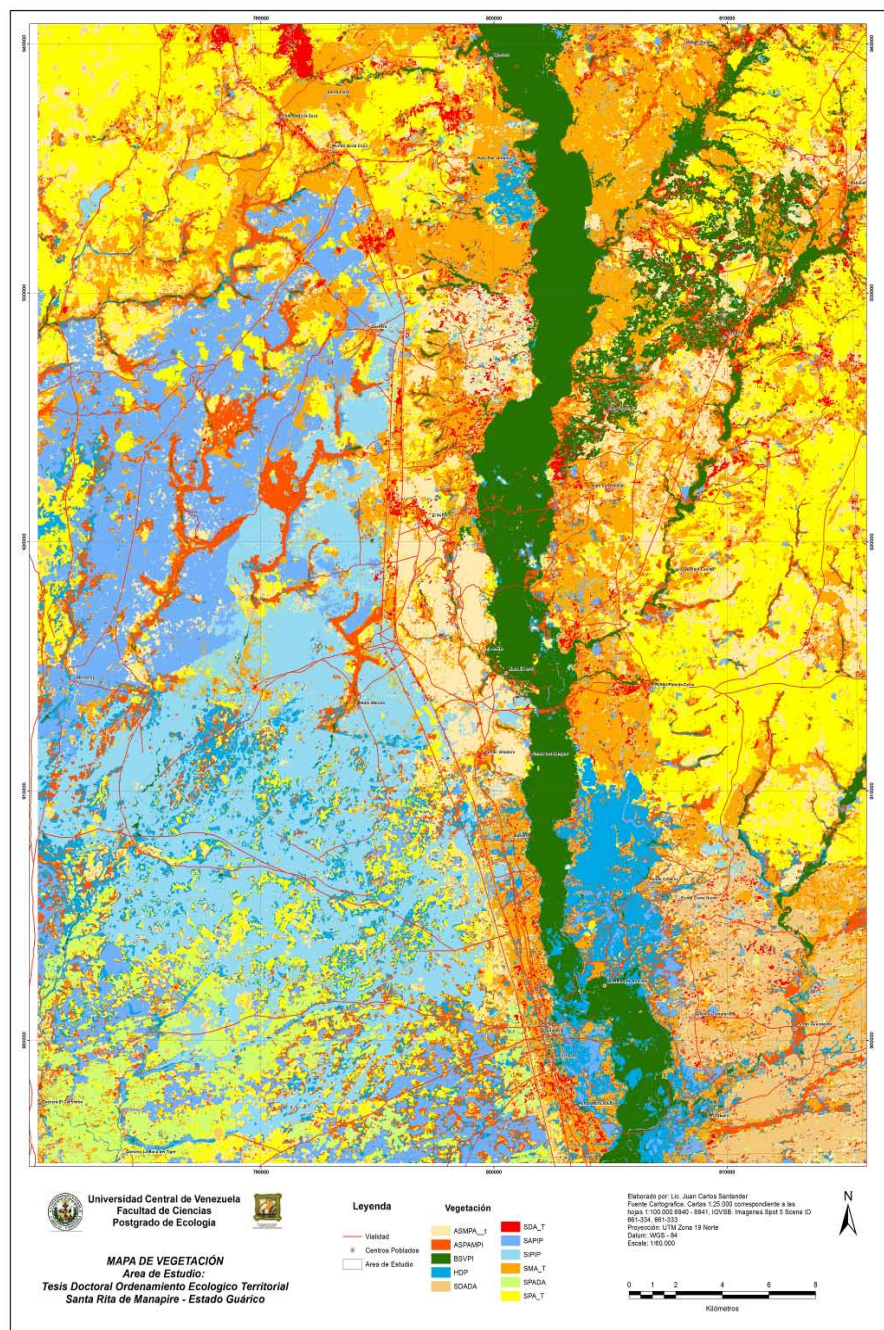


Figura 20. Mapa de vegetación del área de estudio

Las condiciones mencionadas asociadas a las regiones del país donde coinciden climas estacionales por lluvia en combinación con suelos oligotróficos bien drenados como los asociados a la Formación Mesa, determinan que los bosques y los palmares de pantano (Morichales) estén limitados al paisaje predominante de valle donde exista un eje de drenaje y el recurso hídrico sea predecible y esté disponible durante la mayor parte del año (González 1987).

En el caso de los bosques, el grado de heterogeneidad estructural y florístico encontrado parece estar asociado a las características físicas y químicas de los suelos y a la disponibilidad de agua para las plantas. Para el morichal, la alta disponibilidad de agua durante todo el año probablemente determina que este tipo de vegetación sea el más rico en especies leñosas y el más productivo en términos de área basal de todas las comunidades estudiada (Chacón y col. 2007).

Las especies leñosas de la sabana, *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia* y *Bowdichia virgilioides*, actúan como elementos fundamentales, están asociadas a suelos profundos, debido a sus raíces pivotantes que pueden alcanzar hasta 7 m, sus copas relativamente anchas, condicionan un microclima de mayor humedad y sombra. Las especies dominantes del estrato graminoide están constituidas por *Trachypogon spicatus*, *Paspalum carinatum* y *Axonopus canescens*. También se encuentran individuos leñosos de *Byrsonima verbascifolia* los cuales se caracterizan por poseer el eje caulinar subterráneo.

En el cuadro 8, se muestra el listado de especies de los tipos de vegetación presentes en el área de estudio. Los cambios en la composición florística del área de estudio están relacionados con el cambio en el tipo de suelos, su profundidad, reserva de humedad y su condición de drenaje, asociado a la presencia o ausencia de una lámina de agua sobre el sustrato y la duración de esta en el tiempo, se identificaron 57 especies presente en el área de estudio, la vegetación dominante en la sabana está representada por la familias Poaceae y Cyperaceae, ya que esta ocupa la mayor superficie, vale la pena destacar que este estudio no se identificó ninguna especie endémica reportada para la zona

Nº	Nombre común	Familia	Nombre científico	Nº	Nombre común	Familia	Nombre científico
1	Paja peluda	Poaceae	Trachypogon vestitus	30	Carne asada	Proteaceae	Roupala montana
2	Salado	Vochysiaceae	Vochysia surinamensis	31	Palma Moriche	Arecaceae	Mauritia flexuosa
3	Carnestolento	Annonaceae	Duguetia riberensis	32	Alcornoque	Leguminosae-Fabaceae	Bowdichia virgiloides
4	Manirito	Annonácea	Annona jahnii	33	Manteco	Malpighiaceae	Byrsonima crassifolia
5	Jobo	Anacardiaceae	Spondias mombin	34	Palma macanilla	Arecaceae	Astrocaryum aculeatum
6	Corozo	Arecaceae	Bactris guianensis	35	Aceite	Fabaceae	Copaifera officinalis
7	Tornillo	Fabaceae	Cedrelinga catenaeformis	36	Yerba de estrella	Cyperaceae	Rynchospora globosa
8	Mano de sapo	Vitaceae	Cysus erosa	37		Cupressaceae	Centrosema macrocarpum
9	Algarrobo	Fabaceae	Hymenaea courbaril	38	Fruta de Paloma	Salicaceae	Cassia molis
10	Tacamajucu	Salicaceae	Homalium racemosas	39	palo de navidad	Rubiaceae	Randia aculata
11	Fruto de burro	Annonácea	Xylopia aromatica	40	Conchita azul	Fabaceae	Clitoria ternatea
12	Caña fistola	Salicaceae	Cassia molis	41	Manteco merey	Malpighiaceae	Byrsonima coccolobifolia
13	Manteco merey	Malpighiaceae	Byrsonima verbosifolia	42	Cornicabra	Boraginaceae	Buglossoides arvensis
14	Granadillo	Erythroxylaceae	Erythroxylum rufis	43	Cafello	Salicaceae	Casahuate silvestre
15		Poaceae	Schyzachyrium sanguineum	44	guaratará	Poaceae	Axonopus porpusis
16	Chaparro	Dilleniaceae	Curatella americana	45	Caña fistola llanera	Caesalpinaceae	Cassia moschata
17	Guayabita	Myrtaceae	Psidium salutare	46	Dormidera	Fabácea	Mimosa pudica
18	Palma llanera	Arecaceae	Copernicia tectorum	47	Espineto	Fabácea	Acacia caven
19	Mojón de señorita	Cyperaceae	Bulbostylis paradoxa ilis	48		Poaceae	Andropogon fastigiatum
20	Merecure	Chrisobalanáceas	Lycania pirifolia	49		Cyperaceae	Bulbostylis conferta
21	Pata de Vaca	Fabácea	Bahinia megalandra	50	Saladillo	Calophyllaceae	Caraipa llanorun
22		Poaceae	Paspalum carinatum	51		Poaceae	Sorghastrum setosum
23		Poaceae	Paspalum subciliatum	52	Jajato	Poaceae	Panicum laxum
24		Poaceae	Paspalum apiculatum	53	Varillo	Clusiaceae	Symphonia globulifera
25	Mucuíba	Myristicaceae	Virola surinamensis	54	Coco de mono	Lecythidaceae	Lecythis ollaria
26	Paja peluda	Poaceae	Axonopus canescens	55		Convolvulaceae	Evolvulus sericeus

27		<i>Cyperaceae</i>	<i>Rhynchospora barbata</i>	56	<i>Congrio</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Acosmium nitens</i>
28		<i>Fabaceae</i>	<i>Etaballia dubia</i>	57		<i>Fabaceae</i>	<i>Chamaecrista Tagera</i>
29	<i>Aguay</i>	<i>Sapotaceae</i>	<i>Pouteria reticulata</i>				

Cuadro 8. Listado de especies de tipos de vegetación presentes en el área de estudio, verificada en campo.

Tomando en consideración la distrofia generalizada de los suelos de sabana, los patrones de variabilidad en estructura y función que se detectan en las sabanas venezolanas son imputables a la duración de los períodos con agua disponible para las plantas y con agua en exceso, en combinación con los regímenes de quema a que son sometidas las sabanas. La disponibilidad de agua depende de la ocurrencia predecible pero estacional de las lluvias, de la capacidad de almacenamiento del suelo, de la profundidad de la napa freática y de las pérdidas por evapotranspiración. Muchas de las sabanas de América tropical aparecen en una topografía plana, parte de estas sabanas ocupan topografías bajas donde el agua de lluvia se acumula en el suelo en la estación húmeda.

Las enormes extensiones de sabanas, arboladas o no, son a veces interrumpidas por una galería o por un morichal. Estas mesas planas son las más utilizadas de la región de Altiplanicies, principalmente para la ganadería extensiva, aunque también son asiento de una importante explotación petrolera, de actividades agrícolas y de plantaciones forestales (Silva y Moreno 1993).

Por otro lado tenemos que las relaciones suelo-vegetación se han establecidos desde los primeros estudios ecológicos en ecosistemas tropicales. Beard (1955) y Cooper (1981) enfatizaron el origen edáfico de las sabanas neotropicales, mientras que Sarmiento y Monasterio (1975), López y Cox (1977) y Sarmiento (1992) relacionan la distribución de los tipos de vegetación con características del suelo. En la mayoría de las sabanas americanas incluyendo las praderas de Norte América, las plantas herbáceas tienen un gran desarrollo y cubren grandes extensiones de terreno formando un estrato ecológicamente dominante en el ecosistema (Sarmiento 1984).

Sarmiento (1983), plantea que desde el punto de vista del paisaje se distingue cuatro grandes subregiones de sabanas en Los Llanos del Orinoco: Las altiplanicies, Las llanuras aluviales, Las llanuras eólicas y las Colinas del piedemonte.

La distribución de las diferentes formaciones vegetales está muy relacionada con la geomorfología y los tipos de suelo, así en las mesetas y cerros con suelos líticos y arenosos se dan las sabanas edáficas y las sabanas herbáceas y arbustivas; las vertientes rocosas de los cañones y gargantas casi no tienen vegetación y los fondos de valles y depresiones mantienen una vegetación arbustiva y arbórea que va desde las diversas etapas de la sucesión vegetal hasta el bosque. Esta distribución demuestra como la vegetación refleja las diversas condiciones ecológicas del medio, por ello, se convierte, de hecho en una expresión integradora de todos los factores ambientales (Monasterio y Sarmiento 1975).

Los bosques deciduos están asociados a formaciones geológicas del terciario, formadas principalmente por arcillas lo cual permite un drenaje moderadamente lento y una buena capacidad de retención de agua, estas texturas medias poseen una alta capacidad de intercambio catiónico y una saturación de bases medias lo que contribuye a mantener un suelo medianamente fértil (Monasterio y Sarmiento 1975).

En Los Llanos donde existen topografías bajas, donde el agua proveniente de las lluvias y del desborde de los ríos se acumula durante la estación lluviosa, hay establecimiento de vegetación herbácea típica de zonas sometidas a inundación. Saya y Rivera (1991), en un trabajo realizado en Los Llanos altos centrales a fin de evaluar si la variabilidad de los paisajes observadas se correspondía con las variaciones geológicas, geomorfológicas, edáficas y establecer las relaciones espaciales entre los patrones de distribución de las comunidades vegetales, los suelos y las unidades del paisaje, encontraron por medio de análisis de agrupamiento (Cluster) que los suelos con una misma clase fisionómica de vegetación, poseían características fisicoquímicas similares. Por lo

tanto se encontraron diferentes tipos de suelos en el bosque y la sabana, esto explico las diferencias encontradas en la vegetación del área de estudio. También se pudo observar con el análisis de agrupamiento que los suelos con condiciones fisicoquímicas parecidas, en algunos casos no poseen igual expresión fisionómica de vegetación, lo que puede ser producto de limitaciones físicas del suelo y a las posiciones geomorfológicas.

Sarmiento (1992) sugirió que las bases cambiables pueden condicionar la presencia de una sabana o un bosque estacional. Indicó que el mayor contenido de nutrimentos en los suelos de los bosques deciduos tropicales es una estrategia adaptativa a la mayor necesidad de éstos para la reposición de hojas. Según Medina (1984), ésta es una estrategia adaptativa de las plantas en suelos oligotróficos de climas estacionales.

Berroterán, (1997) en un estudio realizado en los llanos altos de Venezuela, usando análisis canónico discriminante, demostró con pruebas multivariadas, que los suelos de los bosques, matorrales y sabanas conforman grupos claramente separados ya que los bosques matorrales y las sabanas de áreas bien drenadas tienen condiciones pedológicas que condicionan la presencia de estos tipos de vegetación especialmente asociados. Encontró que los bosques, matorrales y sabanas presentan diferencia en los suelos, que discrimina distintos grupos.

Susach (1989), realizó una caracterización fitosociología de la vegetación de sabanas del sector oriental de los llanos centrales bajos, donde se describieron distintos órdenes, alianzas y asociaciones y se presentaron las relaciones vegetación geomorfología del suelo, las cuales, se resumen en el cuadro 9.

Asociación	Textura	Suelos	Relieve
Trachypogonetum plumosi	Arenosa y Franco arenosas	Quarzipsamments	Banco, Bajio y Estero
Trachypogonetum typicum	Franco arenosas	Typic y Aquic Quarzipsamments	Banco, Bajio y Estero (dunas)
Bulbostyletum paradoxae	Arenosas finas	Quarzipsamments	Dunas intermedias

Schyzachirio (brevifolium) Thrasyetum petrosae	Arenosa y abundante pedregosidad superficial	Inceptisoles	Cresta en los paisajes de loma y colinas
Diectomis fastigiata	Grava de gran tamaño		
Bauhinietum glabrae	Arenosas fina y muy fina (0,25 a 0,05 mm)	Typic Quarzipsamments	Banco, duna alta
Cyperetum amabilis	Arenosa media (0,5 a 0,25 mm)	Typic Quarzipsamments	Banco alto, duna alta
Byrsonimetum coccolobaefoliae			Glacis coluvial, en relieve de colina y banco bajo
Trachypogonetosum vestiti	Franco arcillosa a Franco limosas	Paleoustults	
Hipto-Cassietosum Flexuosae	Areno-francosa y franco arenosas	Aquic Quarzipsamments moderadamente bien drenados Typic Quarzipsamments bien drenados	Dunas intermedias

Cuadro 9. Relación vegetación, textura y suelo según Susach 1989.

La vegetación de la región estudiada se encuentra sobre suelos oligotrófos, susceptibles a una rápida degradación si son utilizados intensamente. Por lo tanto, es necesario conservar los horizontes superficiales, ya que son la fuente de nutrimentos a la vegetación nativa (Montes y col. 2013).

La distribución de bosques y sabanas parece estar relacionada con un gradiente topográfico de disponibilidad de humedad en los suelos, ya que los bosques y morichales se presentan en las terrazas y vegas de los valles, en forma de franjas continuas y angostas a lo largo de los ríos, mientras que las sabanas arbustivas predominan en las partes más altas del relieve. Los bosques y morichales deberían tener alta prioridad para la conservación, dada la protección que brindan a los suelos, aguas, y la biodiversidad.

Índice de vegetación normalizado (NDVI)

En este estudio, se calculó el índice de vegetación normalizado (NDVI) a través del programa SAGA GIS 2.0.8 y utilizando las bandas 4 que es la del infrarrojo cercano y la 3 que es la banda roja visible, de 2 imágenes de satélite SPOT 5 del

año 2009 del área de estudio, lo que permitió discriminar las zonas con mayor actividad clorofílica (ver figura 21). Un NDVI entre -1 y 0, corresponde a un área sin vegetación (suelo desnudo u otra cobertura no vegetal) entre 0 y 1, corresponde a un área con vegetación con agua mientras valores cercanos a cero son áreas con suelo desnudo, durante la temporada seca existe una reducción gradual del NDVI. Durante la temporada de lluvia la vegetación suele reverdecer y el NDVI incrementa. Valores altos de NDVI durante la estación seca indican la presencia de vegetación verde que permanece con disponibilidad de agua de forma natural en esta época (Chacón 1999).

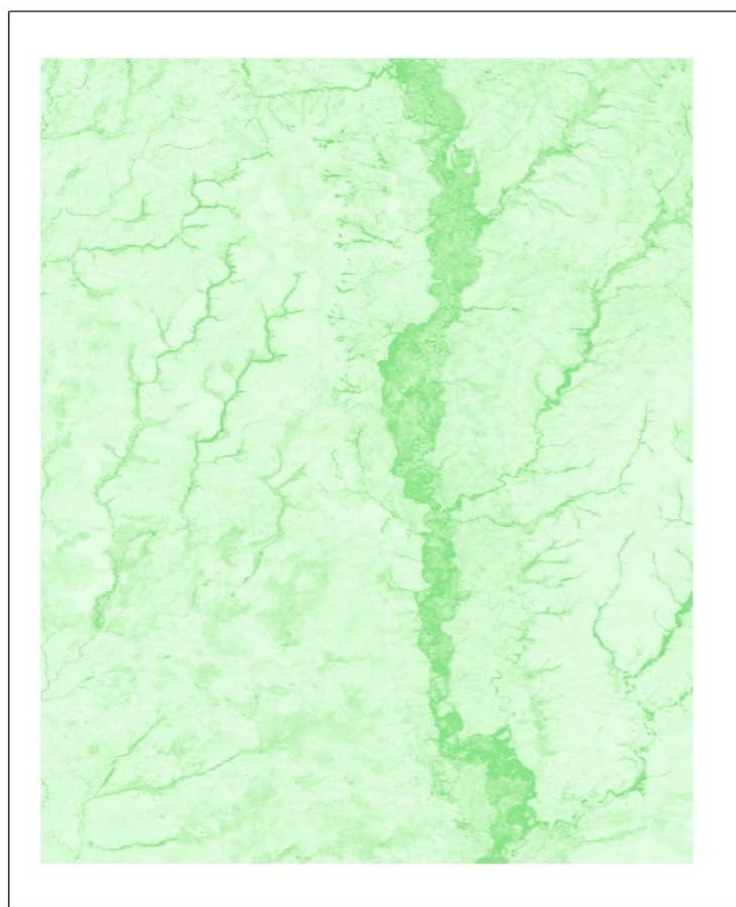


Figura 21. Índice de Vegetación (NDVI) del área de estudio

En este sentido tenemos que la vegetación puede ser vista como el reflejo de múltiples factores que afectan la dinámica de los ecosistemas. El NDVI resulta útil para examinar el patrón de distribución y variabilidad espacial y temporal,

de la vegetación, lo cual permite realizar inferencia sobre el estado de conservación de los ecosistemas presentes en el área.

Se le ha prestado poca atención a la alteración de las sabanas y sus efectos sobre la fauna, a pesar que las diferentes actividades de intervención como la ganadería extensiva y la agricultura complementaria y las capaces de degradar el ambiente como la actividad petrolera, han desencadenado cambios profundos en la composición de la sabana y la diversidad faunística, debido a la alta deforestación.

La variable NDVI fue transformada en el formato American Standard Code for Information Interchang (ASCII) para ser utilizado posteriormente en los métodos de clasificación neuroborrasa.

5.1.3 Fauna presente en área de estudio.

Venezuela es uno de los países más ricos en especies del mundo, actualmente se ubica entre los primeros diez países con mayor diversidad biológica del planeta y el sexto en América llegando a ser clasificado como uno de los pocos países mega diversos del mundo (Aguilera 2003).

Concretamente, en Los Llanos Venezolanos (tratados como una unidad ecológica) la información actualizada de las especies de la fauna, se encuentra dispersa y por lo general es de difícil acceso, lo que complica la elaboración e implementación de planes para su manejo y conservación, tanto a nivel nacional, como regional y local. Según Schargel (2007) la diversidad de vegetación, fauna y suelos en Los Llanos está determinada por cuatro grandes paisajes geomorfológicos: altiplanicies, planicies aluviales, planicies eólicas, y paisajes de colinas y superficies de denudación. Las características de diversidad y abundancia de la fauna en la región de Los llanos se debe a diferentes factores: la corta historia geológica de la región, la alternancia de condiciones climáticas extremas entre épocas de sequía y lluvia, los tipos de vegetación, la historia evolutiva de los diferentes linajes que la han habitado, sus adaptaciones fisiológicas e historias de vida y los efectos de la actividad humana desde la entrada de las primeras tribus indígenas hasta el día de hoy, (Rodríguez 2010).

Las planicies o tierras bajas del Llano reúnen un buen número de diferentes coberturas vegetales. Además de las extensas planicies o sabanas, se encuentran

bosques del pie de monte Andino, bosques siempre verdes, morichales, bosques de galería, y múltiples cuencas. En este mosaico de ambientes, habitan un conjunto diverso y único de Vertebrados terrestres y acuáticos lo que, junto con el hecho de que esta área sea clasificada y declarada internacionalmente como un ecosistema único en el mundo (junto con el área del Pantanal en Brasil) le confiere a esta provincia ecológica una gran importancia para la biodiversidad de nuestro país.

Ojasti (1990) planteó que la mastofauna de las sabanas neotropicales es pobre en especies, considerando la extensión geográfica de las mismas. La fauna de esta región es una mezcla de especies de las áreas circundantes, con pocos endemismos y sin grandes herbívoros pastadores exclusivos. Aunque las sabanas constituyen la vegetación dominante en Los Llanos, la mayoría de sus especies de mamíferos están asociadas (o registradas) a los parches boscosos.

Los mapas de distribución geográfica reportados por Linares (1998) sugieren que existen 139 especies de mamíferos con factibilidad de encontrarse al Sur del Estado Guárico. Esta cifra representa el 38,6% de las especies de mamíferos reportadas para Venezuela. Lentino y col. (2005) registró un total de 243 especies de aves para el Parque Nacional Aguaro-Guariquito, el cual tiene una extensión de 585.750 ha, y se encuentra ubicado en el centro Sur del Estado Guárico, la cual abarca una considerable extensión dentro de los llamados Llanos Bajos y una parte menor en Los Llanos Altos Centrales.

La fauna silvestre esta categorizada como recurso de interés socio-ambiental dentro de las acciones gubernamentales del desarrollo sustentable de la República Bolivariana de Venezuela, por lo tanto su aprovechamiento adecuado por las actuales y futuras generaciones, los compromete a mantener sus poblaciones en beneficio de sí mismos y del mundo futuro.

El grado de conservación de la fauna silvestre es un buen indicador de la calidad ambiental de una región y los niveles de densidad poblacional y abundancia de las especies indicadoras reflejan el estado, condición y calidad del hábitat, lo que es una consecuencia directa del estado de conservación de un área

de estudio. La fauna que se reporta en estudio está representada por avistamiento realizado durante los años 2009, 2010 y 2011 en campo, y la reportada en dos estudios realizados en el área como lo son el estudio socio ambiental para la ubicación de la refinería de Cabruta y la generación de un polo de desarrollo regional sustentable desarrollado por PDVSA (2007a) que está basado en información bibliográfica y colecciones de museo y el estudio realizado para la microlocalización de la Refinería de Cabruta .

Para ello se establecieron localidades para el muestreo de fauna, se establecieron cuatro campamentos (Fundo Varadero, Morichal El Perro, sabanas de Santa Clara, Hato Mariota Cochera), se realizaron observaciones a lo largo del área de estudio y dichos avistamientos fueron georreferenciados.

En el cuadro 10, se resume la fauna existen el área de estudio, haciendo énfasis en el número de especies presentes, su estado de conservación y resaltando las especies emblemáticas.

	Nº de Especies	Especies emblemáticas	Estado de conservación	Familias más abundantes
Mamíferos No Voladores	30	Yaguar (Panthera onca), Puma (Puma concolor), Oso Hormiguero (Myrmecophaga tridactyla), Venado Caramerudo (Odocoileus virginianus) y Chigüire (Hydrochoerus hydrochaeris)	Los mamíferos más característicos son, Cachicamos (Dasypus spp.), el conejo sabanero (Sylvilagus floridanus), el Zorro común (Cercopithecus thous) el Mapurite (Conepatus semistriatus). <i>Leopardus pardalis</i> (A) <i>Panthera onca</i> , <i>Tapirus terrestres</i> y en baja abundancia <i>Odocoileus virginianus</i>	Son Chiroptera, Rodentia, Carnivora y Edentata Didelphidae Dasypodidae Felidae y Cricetidae.
Mamíferos Voladores	20	<i>Desmodus rotundus</i> ,		Muridae, Didelphidae, Mustelidae Phyllostomidae y Vespertilionidae
Avifauna	76	Pato Guirirí (Dendrocygna autumnalis), Gavilán Colorado (Busarellus nigricollis), Chenchena (Opisthocomus hoazin), Atrapamoscas Tijereta (Tyrannus savana), Atrapamoscas Sangre de Toro (Pyrocephalus rubinus), Azulejo de Jardín (Thraupis episcopus), Azulejo de Palma (Thraupis	La única especie Turpial Común (Icterus icterus) (A). Una sola especie endémica Atrapamoscas barbiblanco (Phelpsia inornatus). Tres especies migratorias: Playero Coleador (Scolopacidae: Actitis macularia), Tibi-Tibi (Scolopacidae: Bartramia longicauda) y Reinita Amarilla (Parulidae: Dendroica festiva)	Tyrannidae, Emberizidae, Icteridae y Thraupidae.

		palmarum), Cardenal Bandera Alemana (Paroaria gularis), Turpial (Icterus icterus) y Arrendajo (Cacicus cela)		
Reptiles	51	<i>Chelos fimbriatus</i> , <i>Caiman crocodylus</i> , <i>Eunectes murinus</i> , <i>Podocnemis vogli</i> <i>Paleosuchus</i> <i>palpebrosus</i> <i>Iguana iguana</i>	Los reptiles presentes en el área de estudio incluyen especies amenazadas por la caza como el Caimán del Orinoco y Morrocoy Sabanero que están en veda por decreto.	
Anfibios	26	<i>Bufomarinus</i> , <i>Leptodactylus</i> <i>macrosternum</i> , <i>Pleurodema brachyops</i>		Hyllidae , Leptodactylidae y Bufonidae

Fuente: PdvsA 2007b.

Cuadro 10. Fauna silvestre presente en el área de estudio

Según Madi y col, (2011), el área de estudio posee un grado de intervención 3, Regular a Moderadamente intervenida. Este grado está muy asociado con la ganadería extensiva bovina, y son áreas donde perdura la formación vegetal original. Pero se aprecian grandes áreas (desde un 26% hasta un 75%) donde se estima que la formación está reducida, fragmentada o alterada en composición y/o proporción de especies.

Con la finalidad de detectar las similitudes entre los tipos de vegetación en relación a la composición de especies de aves asociadas Lau, (2008) realizó censos desde 86 puntos de observación, distribuidos en tres hábitats llaneros: bajos, bosques y sabanas arboladas, con los cual cuantifico la abundancia relativa de 126 especies tanto en la temporada de lluvias como durante la sequía. Realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) sobre el número de individuos observados.

Las muestras dentro del ACP fueron cada uno de los parches, durante período de lluvias y durante la sequía. Los resultados muestran que los bajos y bosques contienen el 97,6% de la avifauna total, a pesar de que cubren menos de la cuarta parte del área. La riqueza de especies presentó variaciones estacionales en los tres hábitats, siendo máximas en bajos y sabanas. En los bajos la riqueza aumenta durante las lluvias, mientras que en bosques y sabanas aumenta durante la sequía. Encontró evidencias de movimientos poblacionales entre hábitats al cambiar las estaciones, siendo éstos mayores entre sabanas y bajos. También

encontró una amplia interacción entre la avifauna presente en los tres hábitats, donde la presencia de estas tres formaciones vegetales tiene grandes efectos en la diversidad las aves. Los resultados presentados evidencian el papel que desempeñan estos dos tipos de vegetación en el mantenimiento de la biodiversidad del ecosistema de sabana.

Según Marín y col. (2007) los bosques de galería y los morichales concentran la mayor cantidad de especies amenazadas o de interés cinegético en la región, y parecen funcionar como corredores ecológicos que favorecen la permanencia de determinados gremios alimentarios de avifauna y su alteración drástica puede afectar las tasas de éxito reproductivo de la misma.

En este sentido, una adecuada gestión ambiental podría minimizar los factores de riesgo para la biodiversidad, como producto de la actividad petrolera y la sobreexplotación de muchas especies autóctonas, ya que podría facilitar la labor de conservación in situ de las mismas, así como sus hábitats y ecosistemas sin interferir con el uso y aprovechamiento tradicional del área.

5.1.4 Delimitación de unidades ecológicas según criterios cuantitativos

5.1.4.1 Modelo Digital de Elevación (MDE) y Análisis geomorfométrico.

Un MDE no solamente contiene información explícita acerca de la altitud en un área muestreada en diversos puntos (MDE o TIN) o celdillas (modelo raster) sino que también aporta información relativa a las relaciones (distancia y vecindad) entre los diferentes valores de altitud. Ello permite el cálculo, a partir de diversos procedimientos de álgebra de mapas, y de nuevas variables topográficas.

El análisis morfométrico del MDE (Ver figura 22) estudia el relieve y la orografía de la superficie por esta definida, caracterizándolo a través de parámetros adicionales. Recurriendo una vez más a los conceptos del álgebra de mapas, estos parámetros se basan en su gran mayoría en un análisis focal.



Figura 22. Modelo De Elevación (MDE)

En este sentido, se realizó el Análisis Geomorfométrico usando SAGA GIS el cual generó diferentes atributos derivados del modelo digital de elevación, los cuales se muestran en las figuras 23 y 24, y se definen en el cuadro 11.

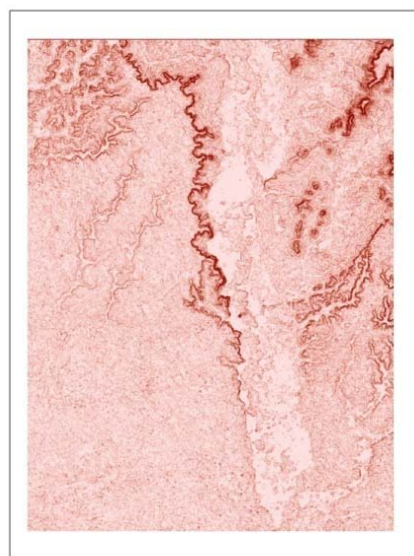
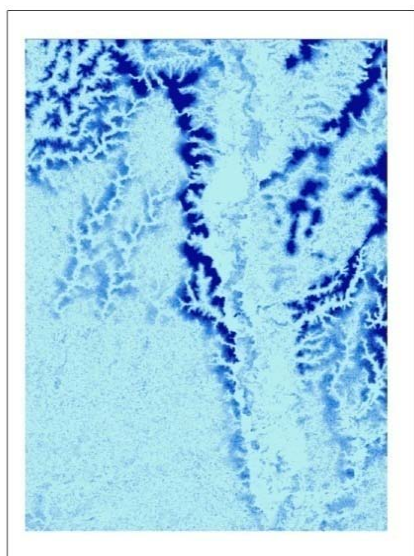
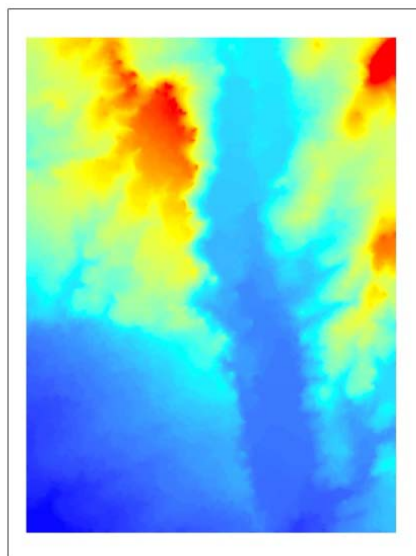
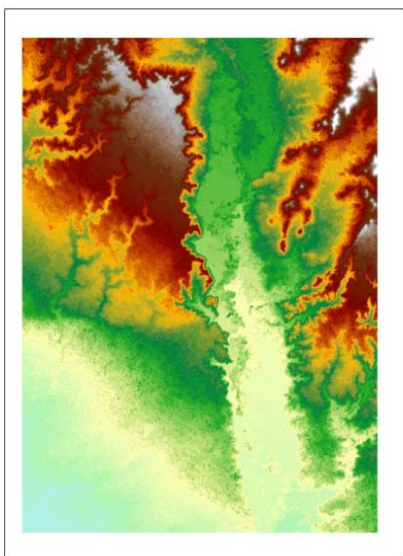
Las medidas geométricas derivan de la caracterización matemática local del relieve, sobre la cual se aplican conceptos fundamentales de geometría diferencial, basadas en derivadas de primer grado (Pendiente, orientación, sombreado) y segundo grado (Las diferentes curvaturas, flujos y áreas acumuladas, extracción de redes de drenajes entre otros) (Olaya 2014).

No	Variable	Descripción	Método / referencia
1	Altura	Se conoce también como gradiente topográfico, y está relacionado con el valor representado por cada píxel en un modelo digital de elevación (MDE).	SAGA terrain analysis module (ZEVENBERG & THORN 1987)
2	Nivel de base de la red de drenaje (CNBL)	Representa la red de canales de elevaciones del nivel de base interpoladas.	SAGA Terrain analysis module (OLAYA & CONRAD 2008)
3	Altitud por encima de la red de canales (ACN)	Representa la altitud sobre la red de canales en las mismas unidades que los datos de elevación.	SAGA Terrain analysis module (OLAYA & CONRAD 2008)
4	Pendiente	Es la tasa de cambio de la altitud en dirección descendente, y está referida a la inclinación que presenta la superficie del terreno con respecto a un plano imaginario horizontal.	Burrough y McDonnell (1998)
5	Índice de humedad (Wetness index)	Tendencia de una celda para producir escorrentía, considerando que un área con mayor humedad es más propensa a saturarse.	SAGA Terrain analysis module (OLAYA & CONRAD 2008)
6	Factor LS	Erosión donde se representa la pérdida de masa de suelo por unidad de área	SAGA Terrain analysis module (OLAYA & CONRAD 2008)
7	Plano de curvatura	Curvatura en dirección transversal a la pendiente o cambio de la pendiente con la distancia en dirección transversal (curvatura horizontal).	SAGA terrain analysis module (ZEVENBERG & THORN 1987)
8	Perfil de curvatura	Curvatura en dirección de la máxima pendiente o tasa de cambio de la pendiente en dirección vertical.	SAGA terrain analysis module (ZEVENBERG & THORN 1987)

Cuadro 11. Definición de variables geomorfométricas para el área de estudio.

a) Altura

b) Nivel de base de la red de drenaje (CNBL)



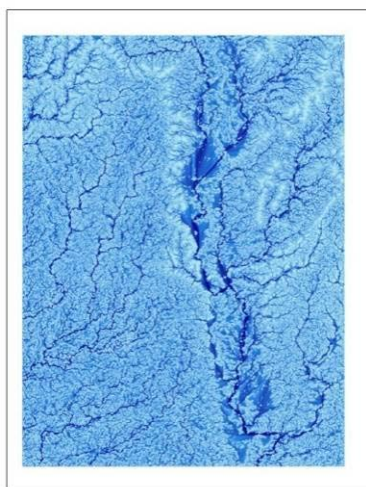
c) Altitud por encima de la red
canal (ACN)

d) Pendiente

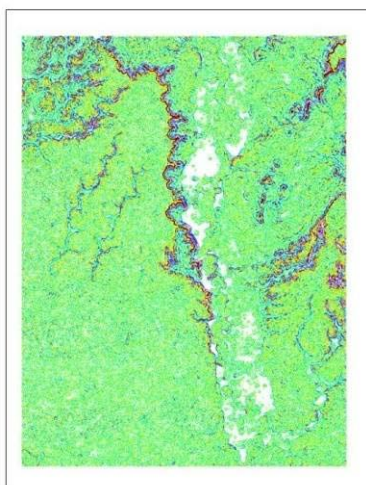
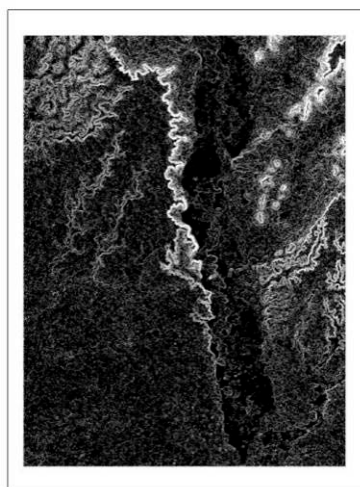
del

Figura 23. Variables producto de análisis morfométrico a) Altura, b) CNBL c) ACN y d) Pendiente.

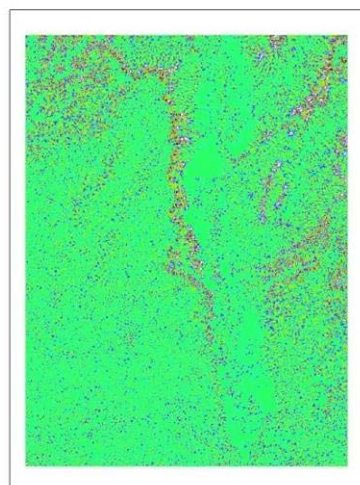
e) Índice de Humedad



f) Factor LS



g) Plano de curvatura



h) perfil de curvatura

Figura 24. Variables producto de análisis morfométrico e) WI f) FLS g) Plano de Curvatura y h) Perfil de Curvatura.

La información derivada del modelo digital de elevación resultante, representan la información auxiliar que junto a las técnicas de inteligencia artificial y sus aplicaciones en el ámbito de la geomorfología, son de gran ayuda a la hora de establecer una metodología para la delimitación de unidades geomorfométricas y ecológicas.

5.1.5 Delimitación de unidades ecológicas según criterios cuantitativos

La delimitación está basada en el número óptimo de clases geomorfométricas, y las características fundamentales del modelo digital de elevación del área de estudio, así como sensibilidad del modelo al número de variables ambientales.

Número óptimo de clases geomorfométricas

La figura 25, indica la variación del índice de rendimiento borroso (FPI) en función del número de clases con coeficientes borrosos comprendidos entre 1,1 y 1,6, con un Modelo de Elevación de 30 m. El número de clases geomorfométricas más adecuado se obtuvo entre 8 y 12 clases, combinados con un coeficiente borroso (Φ) de 1,3.

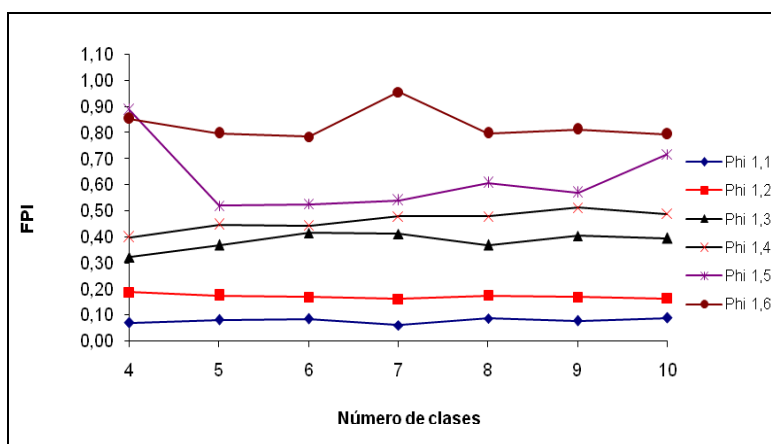


Figura 25. Índice de rendimiento borroso

A partir del modelo de 30 m., se evaluó el agrupamiento de píxeles con un número de clase igual a 12 y un coeficiente de borrosidad ($\Phi = 1,3$). Se realizaron tres clasificaciones utilizando diferentes variables ambientales de entrada en grupo de cinco variables de entrada (cinco neuronas) y 12 clases como salida y los valores de memberships correspondientes a cada salida, ver Cuadro 12.

Primera clasificación	Segunda clasificación	Tercera clasificación
FLS	FLS	IW
Perfil de curvatura	CNBL	ACN
CNBL	Altura	Altura
Altura	NDVI	NDVI
NDVI	Plano de curvatura	Pendiente

Cuadro 12. Grupo de variables geomorfométricas usadas en las clasificaciones

La primera y segunda clasificación fueron muy borrosas, mientras que la tercera permitió una mejor distinción de clases. La aplicación del enfoque neuro-borroso genera límites borrosos entre clases, los cuales posteriormente son discretizados o transformados en límites rígidos.

Para la obtención de dichas unidades se ingresaron los datos de cada variable de entrada en formato ASCII para generar una matriz de variables; luego se realizó el entrenamiento de la red neuronal FKCN, especificando los parámetros de aprendizaje (número de clases: 6-12; exponente de borrosidad: 1,9-2.; error de convergencia: 0,0001-0,001; número de iteraciones: 20. La red entrenada genera cuatro archivos de salida: 1) Topology.txt, el cual guarda la estructura de la red entrenada; 2) Statistics.txt, contiene las estadísticas del modelo generado, tales como el FPI, el error final de convergencia, la media, máximo y mínimo de cada uno de los centroides, entre otros; 3) Convergence.txt, donde se almacena el error de convergencia por cada época de generación del modelo; y 4) Fkcn_map.asc, este archivo contiene el mapa generado en formato ASCII, de acuerdo con la topología generada. El mapa se puede visualizar en el sistema FKCN o en cualquier programa SIG, previa conversión del formato (e.g. ASCII a Raster) (Tovar y col. 2014).

Las unidades obtenidas generadas a través de una clasificación cuantitativa no supervisada, en una red de agrupamiento borroso de Kohonen (FKCN), y el modelo de elevación de 30 m., fueron interpretadas a partir de la distribución espacial, los centros de clases y las funciones de pertinencia generadas por la clasificación neuroborrosa.

La interpretación de las unidades ecológicas, en función de criterios cuantitativos se muestra en el cuadro 13, donde se presenta el valor de los centroides de cada una de las clases geomorfométricas de los modelos generados por el FKCN.

Alt	WI	ACN	NDVI	% Pendiente	Clase	Unidades identificadas
60,31	12,728021	0,78	0.22661349	1,40	9	Planicie eólica con suelos psamments
69,57	7,7946887	0,92	0.3181439	1,51	3	Planicie aluvial con bajos inundables
74,60	9,664353	1,30	0.5882842	1,56	6	Valle aluvial
75,74	8,4344015	1,52	0.21638623	1,93	1	Planicie Aluvial
78,76	16,917562	2,25	0,21	2,26	8	Valles coluviales
93,49	7,8581977	3,07	0.22770998	2,64	10	Planicie Aluvial de explayamiento,
106,62	12,723638	2,29	0.35572487	2,68	2	Valles con morichales
111,92	7,3559427	6,66	0.21803723	3,48	4	Altiplanicie de colina glacis, con suelos escarpado
137,99	11,242227	5,69	0.22966725	3,39	7	Altiplanicie de ejes lomas colina escarpada
147,88	7,230658	30,15	0.2354003	9,31	5	Altiplanicies de mesa, con alta predregocidad
85,93	7,945658	0.934	0.3181439	3,12	11	Colinas bajas ligeramente disectadas
85,21	8,372163	1,156	0,4537	2,78	12	Plano inclinado ligeramente disectado

Cuadro 13. Valores del concepto central de cada clase digital de superficie de terreno identificada en el área de estudio.

La salida del sistema de clasificación FKCN permitió delimitar las diferentes unidades que difieren de las unidades adyacentes en las características basadas en las variables geomorfométricas y resultado de la percepción remota. Por lo tanto, se requieren diferentes criterios para la definición de cada unidad ecológica.

Las distintas unidades están dadas por los cambios en el tipo de curvatura superficial (Cóncavo, Convexo y Llano) en sentido vertical, horizontal o ambos, o por los cambios abruptos en la pendiente, a lo largo de una topo secuencia, de una cresta o un valle, se encuentran con frecuencia un conjunto completamente diferente de tipos de unidades, dependiendo si el material parental es grueso, medio o de textura fina, a pesar de que las áreas pueden ser similares de otra manera (Mac Millan y col. 2009).

La aplicación de la clasificación las unidades ecológicas, basadas en los atributos ambientales derivados de modelos digitales de elevación (MDE) e imágenes de satélite, permiten evidenciar la influencia de los factores de formación de los suelos, en la delimitación de unidades ecológicas, principalmente por dominio del relieve y la vegetación, ya que el material parental está influenciado por las diferentes formaciones geológicas presente en el área y el clima es uniforme en toda la zona, manifestándose geomorfológicamente en forma similar a través del tiempo (CVEASIACA 2014).

5.1.6 Zonificación de las unidades ecológicas

Una de las tareas básicas más importantes en toda investigación del paisaje, es distinguir, clasificar y cartografiar las unidades que existen en un territorio (Quintela 1995; Salinas 1991). Es por ello que la delimitación de unidades territoriales integradas, está precedida de un inventario de datos sectoriales, estrictamente orientados hacia el estudio de las combinaciones e interacciones sobre los elementos restantes del ambiente. La diferenciación, clasificación y cartografía de las unidades del paisaje constituye la base para el análisis y la construcción del modelo de ocupación del territorio, el cual responde a las regularidades de formación, desarrollo y diferenciación de los geosistemas.

Las unidades espaciales deberían describir tanto los componentes relativamente estables del terreno (geología, forma del relieve y suelos, en forma integrada), como los menos estables, cuya tasa de cambio en el tiempo es más alta (vegetación, uso de la tierra, fauna). Ambos componentes se pueden combinar en unidades integrales de paisaje, cuando sea conveniente, utilizando las ventajas de las bases de datos espaciales de un sistema de información geográfica (SIG). El mapa generado de acuerdo con la topología generada como parte de la metodología propuesta con criterios cuantitativos para delimitar unidades ecológicas se muestra en la figura 26.

En esta investigación, como se menciono anteriormente ,la generación de estas unidades ecológicas, se basó en la información derivada de un modelo digital de elevación (MDE), de imágenes de satélite, así como la aplicación de técnicas de análisis espacial basadas en inteligencia artificial, tales como la lógica borrosa (LB) y las redes neuronales artificiales (RNA), la integración de redes neuronales autoorganizadas (Mapas autoorganizados de Kohonen) y los conjuntos borrosos c-medias (FCM) han dado paso a un modelo denominado red de agrupamiento borroso de Kohonen (FKCN, Fuzzy Kohonen Clustering Net) (Lin y Lee, 1996). Esto ha sido posible debido a que ambas técnicas presentan un denominador común basado en su orientación hacia el tratamiento de tareas que involucran el procesamiento de cantidades masivas de información, de tipo redundante, imprecisa, incierta y con ruido. Por lo tanto, ambos enfoques son útiles para modelar procesos complejos no lineales (Martín del Brío y Sanz 2007) citado por (Tovar y col. 2014).

La red autoorganizada descubre rasgos comunes, regularidades, correlaciones o categorías en los datos de entrada, e incorporados a su estructura interna de conexiones. Se dice, por tanto, que las neuronas deben auto organizarse en función de los estímulos (datos) procedentes del exterior.

En esta investigación, el análisis se basó en las variables geomorfométricas y productos de interpretación de imágenes de satélite, que generalmente en los análisis de delimitación de unidades ambientales tradicionales son utilizadas como datos de referencia, dándole más peso a las variables socioeconomicas. Esto representa una alternativa desde el punto de vista metodológico, ya que la delimitación de unidades ecológicas con fines de ordenamiento, permite identificar áreas, para el establecimiento de un uso determinado, basado por ejemplo en las diferencias en alturas, pendientes y la densidad de drenajes, lo que pueden representar una bondad o limitación para el establecimiento de un uso determinado.

5.1.7 Validación de las unidades

Para esta investigación se planteo la validación de unidades a lo largo de dos transectos lineales, uno de norte a sur del área de estudio y otro sentido este oeste. En el primer transecto fueron chequeadas 9 localidades en las que se comparó el tipo de geomorfología reportada para el área, según estudios anteriores realizados usando metodologías tradicionales (Coplanarh 1974 y Proyecto Biodiversidad 2003), con la unidades delimitadas usando la metodología propuesta en este estudio, en la primera comparación se obtuvo que en 6 de las 9 localidades chequeadas, hay coincidencia entre la unidades propuestas usando criterios cuantitativos con la unidades propuestas en estudios anteriores, lo que representa un 66,6 % de coincidencia del método propuesto con la delimitación tradicional usada por Coplanarh,(1974) Ver cuadro 14.

Nº	Localidad	Unidades geomorfológicas Según Coplanarh 1974 (1:250.000)	Macroecosistemas Proyecto Biodiversidad 98003424 Fonacit-Conicit. Berroterán 2003. (1:100.000)	Unidades Ecologicas Según criterios cuantitativos. (1: 60.000)
1	Santa clara	Altiplanicie de mesa severamente erodada	Altiplanicie disectada	Altiplanicie de colina-glacis, con suelos escarpados-pedregosos
2	Fundo Quita cojín	Altiplanicie de mesa severamente erodada	Altiplanicie disectada	Altiplanicie de ejes_lomas_colinas escarpadas ,con suelos pedregosos
3	Hato San Antonio	Altiplanicie de mesa, fuertemente ondulada, moderadamente escarpada fuertemente pedregosa	Altiplanicie disectada	Altiplanicie de colina-glacis, con suelos escarpados-pedregosos
4	Quesera	Altiplanicie de mesa, ondulada fuertemente pedregosa	Altiplanicie disectada	Altiplanicie de colina-glacis, con suelos escarpados-pedregosos
5	El perro	Altiplanicie de mesa severamente erodada	Altiplanicie disectada	Altiplanicies Mesa Conservada
6	Hato Mariota	Planicie aluvial suelos pobremente drenados	Planicie aluvial antigua terminal con posiciones axiales	Planicie aluvial de explayamiento pedregosidad en posiciones altas
7	Adrian	Altiplanicie de mesa severamente erodada	Planicie aluvial antigua terminal con posiciones axiales	Planicie aluvial de explayamiento, pedregosidad en posiciones altas
8	Santa Rita	Altiplanicie de mesa severamente erodada	Planicie eólica	Planicie eólica con suelos Psamments
9	Fundo Morichalito	Altiplanicie de mesa severamente erodada	Planicie eólica	Planicie eólica con suelos Psamments

Cuadro 14. Comparación unidades geomorfológicas encontradas a lo largo de una transecta Norte-sur dentro del área de estudio, según diferentes estudios.

Mientras que cuando se realiza la segunda comparación entre las unidades de macroecosistemas que poseen un paisaje geomorfológico dominante delimitadas en el estudio de biodiversidad de los sistemas nativos y agroecosistemas de los llanos centrales venezolanos, con las propuestas en este estudio, encontramos que estas coinciden en un 100 %, con las unidades definidas en el proyecto biodiversidad en las 9 localidades chequeadas, con lo cual se cumple con el porcentaje de precisión mínimo establecido para validar la metodología de delimitación de unidades ecológicas usando criterios cuantitativos.

Esta coincidencia puede ser producto del uso de la geomatica, la cual agrupa herramientas con carácter cuantitativo que fueron usadas en el proyecto biodiversidad y en esta investigación. En la cartografía de los paisajes o geosistemas, el uso de un SIG es de gran ayuda, ya que permite contar con una serie de elementos, tanto para el almacenamiento, procesamiento y actualización de la información de los componentes del medio físico, como para la confección de una base cartográfica única para cada uno de ellos, dándonos la posibilidad mediante el análisis espacial, de integrar toda la información para la conformación de un mapa de paisajes (Salinas y Ribeiro 2017).

5.1.8 Metodologías tradicionales vs metodología propuesta

Las aproximaciones intuitivas, que son las que mayoritariamente se han utilizado en los análisis de delimitación de unidades ecológicas en Venezuela, se han basado en análisis relativamente simples y apoyados en gran medida del conocimiento de expertos como lo son el caso de los estudios descritos en el cuadro 14.

Estas aproximaciones, aunque interesantes, presentan una gran incertidumbre y un elevado margen de error en las delimitaciones de las áreas prioritarias, por lo que sus métodos de trabajo hoy en día, son poco atractivos en el marco del ordenamiento ecológico, dado el carácter subjetivo con que cada experto puede evaluar las áreas críticas, los resultados pueden volverse irrepetibles e inconsistentes. Por otro lado, el gran desarrollo de técnicas cuantitativas para la delimitación de áreas críticas para la conservación de la diversidad biológica permite ahora reducir la incertidumbre y la inconsistencia de los resultados.

Existen diferentes aproximaciones estadísticas que nos permiten realizar análisis cuantitativos de la información existente de variables físicos naturales para la determinación de áreas prioritarias o críticas para la conservación. Asimismo, el desarrollo de tecnologías para el análisis espacial de la información, en conjunto con el desarrollo de la estadística para análisis espacial, ha permitido la generación de modelos predictivos de distribución de especies o de hábitats particulares a diferentes escalas (Semarnat 2006).

La delimitación y clasificación de unidades ecológicas propuesta, representa una alternativa, ya que utiliza información existente producto de la recopilación, y emplea criterios cuantitativos que pueden ser aplicados a información proveniente de cualquier área. Lo que coloca a los métodos de delimitación de unidades ecológicas convencionales en desventaja, ya que, sus normas y procedimientos no son siempre consistentes, replicable o están rigurosamente documentado, y además de ser costosos, se necesita tiempo para aplicarlo, y pueden estar propenso a errores.

En este sentido la geomática, a través de los sistemas de información geográfica y la teledetección, brinda criterios cuantitativos para la delimitación de unidades ecológicas territoriales, como la base para realizar una verdadera gestión ambiental, que no solo permiten capturar, almacenar y organización de los datos, sino de análisis espacial y presentación de la información que ayuda en la toma de decisiones sobre la planificación del uso del territorio. También permite la actualización periódica de datos integrados al sistema, para el análisis predictivo y la evaluación de tendencias en el estudio de los riesgos ambientales, importante para la planificación y gestión del territorio (Ciminari y col. 2003).

5.1.9 Descripción de las unidades ecológicas.

Un elemento resaltante en la delimitación espacial y caracterización estructural de los paisajes ecológicos es la interpretación integral y sistémica de la información básica generada y la existente, de suelo, geomorfología, clima, geología, vegetación, fauna, usos potenciales y actuales, a partir de esto se genera las Unidades Ecológicas. Para ello es necesario el establecimiento de las

interrelaciones estructurales y espaciales de los componentes del ecosistema, los niveles de abstracción de cada componente del ecosistema, la determinación de las variables síntesis y la comprensión de los indicadores de los procesos o funciones discriminantes de los ecosistemas.

En el cuadro 15 se describen las unidades ecológicas presentes en el área de estudio, las cuales representan un entorno o paisaje, caracterizado por un intervalo particular de valores de variables predictivas y de condiciones ecológicas así como actividades antropicas, las cuales servirán de fundamento para la correcta planificación del uso de esta área, ecológicamente conservada. Para la descripción de las unidades se uso el sistema de clasificación jerárquico, multicategórico y subdivisivo de sistemas ecológicos, propuesto por (Berroterán 2004a).

Unidad Ecológica	Descripción de la Unidad Ecológica
1	Altiplanicie de Mesa (El Salado, La Melena y Rabanal), con alta pedregosidad, 9,31 % de pendiente, Suelos Typic Kandiusults Aquic Dystrustepts, 80% coraza, y Sabana Poco Arbolada de Trachypogon spicatus, Curatella americana, Byrsonima crassifolia y Bowdichia virgiloides, con uso orientado a la horticultura de tierras bajas y fruticultura comercial, agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Falconidae-Columbidae – Accipitridae.
2	Altiplanicie de colina-glacis, con suelos escarpados-pedregosos, con 3,48 % de pendiente, suelos Paleustuls con alto % de fragmentos de coraza, Typic Kandiusults Typic Dystrustepts, Oxic Dystrustepts Aericeptis, y Sabana Poco Arbolada de Trachypogon spicatus, Curatella americana, Byrsonima crassifolia y Bowdichia virgiloides con uso fruticultura comercial y agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Falconidae-Columbidae – Accipitridae.
3	Altiplanicie de ejes lomas colinas escarpadas, con 3,39% de pendiente, con suelos Plinthic Kandiusults, Aquic Dystrustepts, pedregosos, 80% coraza, Typic Kandiusults Typic Dystrustepts y Sabana Medianamente Arbolada de <i>Byrsonima</i> coccolabaefobia, Paspalum carinatum, <i>Chamaecrista</i> tajera, Cassia moschata y Vochysia venezuelana. Horticultura de tierras bajas y fruticultura comercial, Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Falconidae-Columbidae – Accipitridae.
4	Colinas bajas ligeramente disectadas, con 3,12 % de pendiente, suelos Dystric Haplustepts Typic Dystrustepts Dystrustepts Sabana Medianamente Arbolada de Trachypogon spicatus, Curatella americana, Byrsonima crassifolia y Bowdichia virgiloides. Horticultura de tierra baja, Agricultura de subsistencia, plantaciones, con presencia de aves de las familias Falconidae.
5	Planicie aluvial de explayamiento, con 2,64 % de pendiente suelos pedregosos en posiciones altas Typic Kandiusults Typic Dystrustepts,

	Tipic Kandiusults Tipic Dystrustepts, Ganaderia semi intensiva, con presencia de aves de las familias Ardeidae-Anatidae.
6	Planicie aluvial, con 1,93 % de pendiente, suelos Plinthic Kandiusults, Oxic Dystrustepts, Tipic Usthorhens, Tipic Dystrustepts, Dystric Haplustepts con Sabanas inarboladas de ciperáceas. Uso orientado a Horticultura de tierra baja, Agricultura de subsistencia y plantaciones, con presencia de aves de las familias Ardeidae-Anatidae.
7	Planicie Aluvial de explayamiento, con bajos inundables, con 1,51 % de pendiente, suelos, Oxic Dystrustepts, Aeríc Epiaquepts, Plinthic Kandiusults Aquic Dystrustepts con Paspalum subciliatum, Panicum laxum, Paspalum millegrana. Uso orientado a Horticultura de tierra baja y Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Ardeidae-Anatidae.
8	Planicie eólica con 1,40 % de pendiente, suelos Tipic Aquic Quartzipsamments, Sabana de alta densidad de Curatella americana con presencia de dunas. Uso orientado a Ganadería extensiva y plantaciones forestales, con presencia de aves de las familias Accipitridae-Icteridae.
9	Plano inclinado ligeramente disectado con 2,78 % de pendiente, suelos Oxic Dystrustepts - Aeríc Epiaquepts Sabana Medianamente Arbolada de Trachypogon spicatus, Curatella americana, Byrsonima crassifolia y Bowdichia virgiloides y uso orientado a Horticultura de tierra baja, Fruticultura comercial, plantaciones. Con presencia de aves de las familias Psittacidae.
10	Valle Aluvial con 1,56 % de pendiente suelos inundables, Aquic Ustipsamments; Tropaquepts, Ustropepts con Bosque siempre verde de alto a medianamente arbolado de Etballia dubia y Lecythis ollaria. Uso orientado a Horticultura de tierra baja , Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Cracidae-Psittacidae
11	Valles Coluvio Aluviales con, 2,68 % de pendiente, suelos Aquic Ustipsamments, Asociación de Palma Moriche medio denso de palma moriche de Maurixia flexuosa, y Bosque Siempre Verde Periódicamente Inundables, de Virola surinamensis, Symphonia globulifera. Horticultura de tierra baja. Uso orientado a Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Cracidae-Psittacidae.
12	Valles coluviales, con 2,26 % de pendiente, suelos Inundables Tipic Usthorhens Oxic Dystrustepts, Aeríc Epiaquepts Bosque siempre verde medianamente arbolado de Etballia dubia y Lecythis ollaria. Uso orientado a Horticultura de tierra baja, Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Cracidae-Psittacidae

Cuadro 15. Descripción las unidades ecológicas presentes en el área de estudio.

Dentro de los criterios usados en la descripción de las unidades ecológicas presentes en el área de estudio tenemos la forma del terreno con homogeneidad relativa en relieve, suelo, vegetación, fauna y uso de la tierra. El clima a esta escala de trabajo es una constante.

Estas unidades ecológicas son la base para estudios posteriores relacionados con el análisis de los ecosistemas en función de sus potencialidades para diversas actividades socioeconómicas, evaluación de impactos ambientales, amenazas naturales y riesgos ambientales y la propuesta de uso como parte del ordenamiento ecológico territorial.

5.2. Relaciones potenciales entre los componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial.

5.2.1 Relaciones Suelo-Geomorfología-Vegetación.

En primer lugar se realizó un análisis cuantitativo utilizando estadística multivariada que permitirá establecer las diferentes relaciones dentro del área de estudio en función al paisaje geomorfológico, el suelo y la vegetación.

Para ello se elaboraron dos matrices una de suelos- paisaje geomorfológico y la otra vegetación - paisaje geomorfológico, donde se refleja el cálculo del porcentaje de área tanto del tipo de suelo y tipo de vegetación que ocupan dentro de las diferentes unidades ecológicas delimitadas, para ello se utilizó, una hoja de cálculo de Excel y los sistemas de información geográfica así como las capas de la información generada de tipos de suelo y de vegetación del área de estudio.

Como se mencionó anteriormente, con el fin de dilucidar las relaciones existentes entre la geomorfología, el suelo y la vegetación, se calculó el área ocupada tanto de los polígonos de suelo y vegetación en las unidades delimitadas de paisaje.

Con estos datos se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica método de análisis directo de gradientes, que detecta patrones de variación en la composición de las comunidades que son explicados por variables ambientales; la construcción del primer eje de ordenamiento implica el ajuste de una distribución simétrica (generalmente gaussiana) a la ubicación de cada especie en el gradiente y con el segundo eje se ajusta una superficie de respuesta gaussiana bivariada para cada eje (Fariñas 1996).

Los resultados se muestran en el cuadro 16, donde la varianza acumulada explicada por los ejes 1 y 2 es de 70%.

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0,11	0,066	0,039	0,013
Percentage	44,114	26,631	15,725	5,322
Cum. Percentage	44,114	70,745	86,47	91,791
Cum.Constr.Percentage	44,114	70,745	86,47	91,791
Spec.-env. correlations	1	1	1	1

Cuadro 16. Resultados del análisis de correspondencia canónica.

Las mediciones mostraron que las diferentes unidades de paisajes existentes en el área de estudio, se corresponden con diferencias entre los suelos y la vegetación. El ordenamiento de los suelos y la vegetación de acuerdo a los paisajes se muestran en la (Fig. 27).

Esta distribución demuestra como la vegetación refleja las diversas condiciones ecológicas del medio, por ello, se convierte, de hecho en una expresión integradora de todos los factores ambientales. En la vegetación de Los Llanos se mezclan elementos florísticos neotropicales y subtropicales que forman un mosaico de diferentes tipos de vegetación, cuyas complejidades ecológicas son determinadas por el paisaje, las características del suelo y las relaciones hídricas (Duno *et al.* 2007, Schargel 2007, Huber y Oliveira-Miranda 2010) citado por Larez y Prada, 2011). **En el grupo 1** encontramos una vegetación típica de sabana de mediana a poco arbolada con presencia de componente leñosos como *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia*, *Bowdichia virgilioides*, asociadas suelos del tipo Typic Dystrustepts y Pinthic Kandistuls con Aquic Dystrustepts, 80% coraza, en paisajes de altiplanicie, lo que coincide por lo encontrado con San José *et al.* (1998) que usando un análisis de correspondencia canónica describieron las relaciones entre los ambientes de sabanas y la composición de las comunidades vegetales en la cuenca del Orinoco, encontraron tres grandes grupos diferentes de vegetación de sabana, cada una con características fisonómicas y florísticas diferentes.

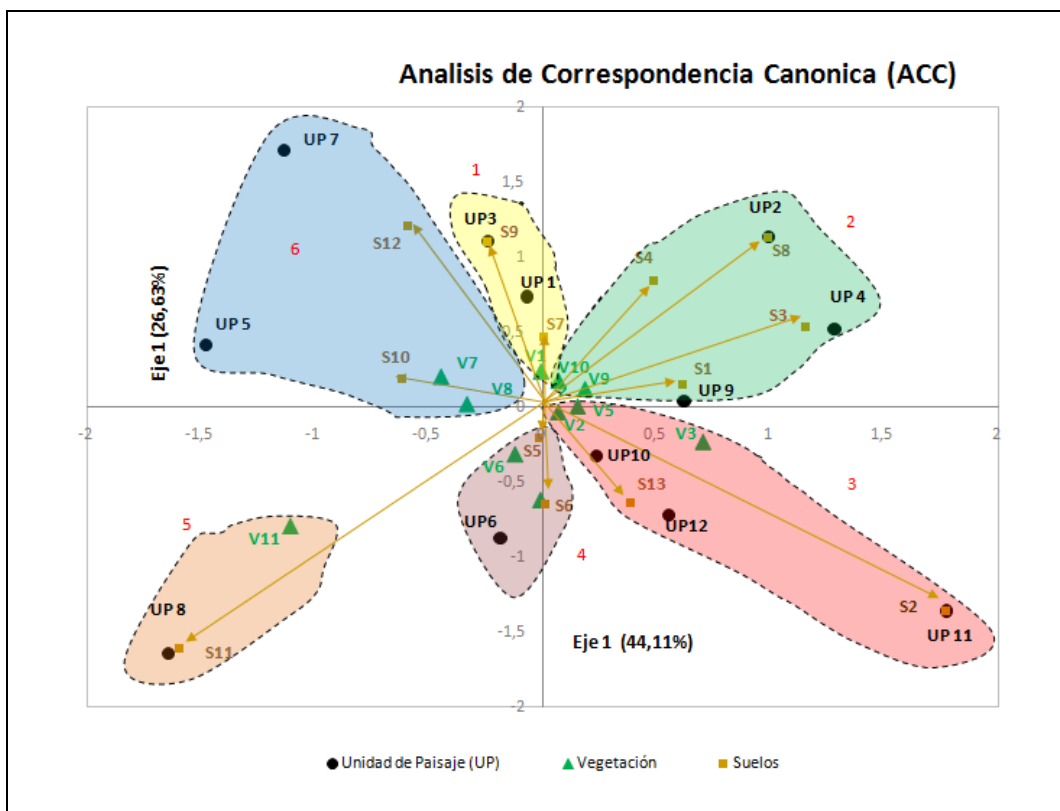


Figura 27. El ordenamiento de los suelos y la vegetación de acuerdo a los paisajes. Los Círculos negros son las diferentes unidades de paisajes presentes en el área de estudio UP= Unidad de Paisaje. Los triángulos verdes son los diferentes tipos de vegetación V= Vegetación, mientras que los cuadrados amarillos representan el tipo de suelo, S= Suelo.

El primer grupo estaba constituido por un grupo de plantas del genero *Trachypogon* así como vegetación herbácea caracterizadas por *Poaceae* (*Trachypogon spicatus*, *Andropogon sanguineum*, *Paspalum carinatum*, *Thrasya petrosa*) *Leguminosae* (*Cassia flexuosa*, *Eriosema rufum*, *Phaseolus linearis*, *Stylosanthes capitata*) y *Cyperaceae* (*Rhynchospora subplumosa*) y especies arboreas como *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia*, *Bowdichia virgilioides*, *Palicourea rigida* y *Casearia sylvestris*, estas especies aparecen en suelos poco fértiles con baja disponibilidad de agua y alta densidad aparente. Este grupo se encontraba en las altiplanicies y en las planicies disectadas del norte del río Orinoco. El segundo grupo estaba conformado por grupo grande de especies *Poaceae* (*Hackelochloa granularis*, *Eragrostis maypurensis*, *Schizochyrium leucostachyus*) *leguminosae* (*Cassia bauhiniifolia*, *C. palunifolia*, *Stylosanthes guyanensis*) *Cyperaceae* (*Bulbostylis capillaris*), *Passifloraceae* (*Pasiflora foetida*)

y *polygalaceae* (*Poligala glochidiata*), que aparecen en suelos con muy poco fértiles.

El tercero por otro lado agrupaba un considerable grupo de especies pertenecientes a la familia *leguminosae* y *cyperaceae* las cuales aparecen en suelos con altos contenidos de agua, una corta estación de sequía y con niveles diferentes de nutrientes. La composición florística de estas sabanas está dominada por la siguientes familias: *Poaceae* (*Axonopus anceps*, *Axonopus compressus*), *Rubiaceae* (*Decleuxia fruticosa*, *Sipanea pratensis* y *Labiatae* (*Hyptis brachiata*).

En el grupo 2 encontramos sabana de densa a medianamente arbolada de *Axonopus purpusii* y *Chamaecrista tagera* con bosquetes de *Cassia moschata* y *Vochysia venezolana* y Sabana poco arbolada de *Trachypogon spicatus*, *Curatella americana* y *Byrsonima crassifolia* asociadas a suelos del tipo Aquepts, Psamments, Orthents –Tropets y Plinthic Kandistuls Aquic Dystrustepts, 80% coraza en paisajes Alpinicie de colina-glacis, con alta pedregosidad Colinas bajas ligeramente disectada y Plano inclinado ligeramente disectado, que coincide con lo encontrado por Berroterán (1988), en estudios realizado en Los Llanos Altos Centrales de Venezuela para describir los paisajes ecológicos, encontró que la vegetación herbácea como *Trachypogon spicatus* se asocia con suelos pedregosos y con fertilidad menor (Haplustox o Subgrupo Oxi).

Berroterán, (1997) también en un estudio realizado en los llanos altos de Venezuela, usando análisis canónico discriminante, demostró con pruebas multivariadas, que los suelos de los bosques, matorrales y sabanas conforman grupos claramente separados ya que los bosques matorrales y las sabanas de áreas bien drenadas tienen condiciones pedológicas que condicionan la presencia de estos tipos de vegetación especialmente asociados. En este estudio se pudo observar que en las sabanas arboladas los suelos son Haplustoxs y Paleustults; y en las poco arboladas Dystropepts. Los bosques deciduos presentan Chromusterts y Haplustalfs y los matorrales Haplustalfs, Dystropets y Ustropets. Los suelos son bien drenados en los bosques, moderadamente bien drenados y algo excesivamente drenados en los matorrales, desde moderadamente hasta

algo excesivamente drenados en las sabanas. La pedregosidad superficial y en el perfil es baja en los suelos, a excepción del suelo de las sabanas muy arboladas (70%). El carácter siempreverde, escleromórfico y coriáceo observado en las hojas de las especies dominantes (*Byrsonima crassifolia*, *Curatella americana* y *Bowdichia virgiloides*) de las sabanas arboladas, está relacionado con la acidez y bajos niveles de bases de los *Haplustoxs* y *Paleustults*.

En el grupo 3 encontramos Asociaciones de Palmar medio denso de pantano de *Mauritia flexuosa* y *Vochysia venezuelana* y bosque siempre verde de pantanos periódicamente inundables de *Virola surinamensis* y *Symphonia globulifera*, Bosque ribereño de alto a medio denso siempreverde periódicamente inundable de *Lecythis ollaria*, *Pouteria reticulata* y *Duguetia riberensis* y Sabana densamente arbolada de *Axonopus purpusii*, *Curatella americana* y *Byrsonima crassifolia*, asociada a suelos del tipo Aquic Ustipsamments; Tropaquepts, Ustropepts y Tipic Usthorthens Oxic Dystrustepts, Aeris Epiaquepts en paisajes de valles, lo que coincide con lo descrito por Monasterio y Sarmiento (1975) donde se encontró que en los valles predominan los suelos del tipo Aquic Ustipsamments; Tropaquepts, Ustropepts donde se desarrollan los bosques siempre verde periódicamente inundable, así como los morichales y algunas matas de sabana densamente arboladas, las cuales poseen figura jurídicas de protección, por lo tanto deben ser protegidos.

El grupo 4 esta representado por el tipo de vegetación de herbazales de pantano y sabanas densamente arboladas asociadas a bosques de galería, asociados a suelos del tipo Pinthic y Tipic Kandistuls suelos con altos contenidos de arcillas y los Tipic Dystrustepts que aparecen en paisajes de planicie aluviales presentes en el área de estudio. Estas se encuentran poco afectadas por el uso agropecuario tradicional, pero muy degradadas por procesos de erosión hídrica o por coberturas eólicas. En los llanos donde existen topografías bajas el agua proveniente de las lluvias y del desborde de los ríos se acumula durante la estación lluviosa, depositando sedimentos finos, lo que permite el establecimiento de vegetación herbácea típica de zonas sometidas a inundación (Monasterio y Sarmiento 1975).

Mientras que **el grupo 5** esta representado por sabanas poco arboladas de *Paspalum apiculatum*, *Curatella americana*, *Byrsonima crassifolia*, *Caraipa llanorun* y *Acosmium nitens* en dunas de arena, en suelos Tipic Aquic Quartzipsamments que aparecen en Planicie eólica, donde el uso predominante es el uso pecuario debido, a suelos con baja fertilidad y características físicas desfavorables lo que los convierten en ecosistemas frágiles, lo cual coincide con lo descrito por Montes et al, (2013), en dos comunidades estacionalmente inundables sobre las planicies de explayamiento en el parque nacional Aguaro-Guariquito.

Por ultimo tenemos **el grupo 6** que se identificó a través del ACC, donde tenemos sabanas inarboladas de *Paspalum* sp, periódicamente inundables y Sabana arbolada de *Paspalum apiculatum* y *Paspalum subciliatum*, periódicamente inundables, asociadas a suelos Plinthic Kandistuls, Oxic Dystrustepts, Tipic Ustorthents, Oxic Dystrustepts, Tipic Dystrustepts, Dystric Haplustepts y Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts en paisajes de Planicie aluvial y Planicie aluvial de explayamiento, lo cual coincide con lo encontrado por Ramia y Ortiz, en el (2006), en estudio realizado en paisajes de sabana ubicados en la región Las Mercedes-Cabruta del estado Guarico.

En el cuadro 17 se muestran las unidades de paisajes y de suelo asociados a los tipos de vegetación presentes en el área de estudio. La correspondencia entre la vegetación y los suelos en el área de estudio permite suponer que la heterogeneidad del paisaje determina la distribución de las especies vegetales lo que evidencia las relaciones geomorfología- suelo-vegetación. La geomorfología determinando el tipo de suelo presente y estos a su vez la cobertura vegetal.

Unidades de paisaje	Vegetación	Suelo asociado
Planicie aluvial con suelos aqualfs, aquutls, Ustalfs, Ustults	Herbazal de pantano estacional medianamente arbolado de <i>Rhynchospora barbata</i> ,	Oxic Dystrustepts - Aeric Epiaquepts

Planicie Aluvial de explayamiento, con bajos inundables	<i>Vochysia venezolana</i> y <i>Curatella americana</i> . Sabana densamente arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i> en dunas de arena.	Oxic Dystrustepts Aeric Epiaquepts, Plinthic Kandistuls Aquic Dystrustepts
Planicie Aluvial de explayamiento, suelos Aquults y Ustuls pedregosos en posiciones altas	Sabana arbolada de <i>Paspalum subciliatum</i> , <i>Caraipa llanorun</i> y <i>Acosmiun nitens</i> periódicamente inundables.	Plinthic Kandistuls, Oxic Dystrustepts, Tipic Usthorthens, Oxic Dystrustepts, Tipic Dystrustepts, Dystric Haplustepts
Planicie eólica con suelos Psamments	Sabana inarbolada de <i>Paspalum subciliatum</i> , periódicamente inundables Sabana poco arbolada de <i>Panicum apiculatum</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i> en dunas de arena	Tipic Aquic Quartzipsamments Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts
Valles con suelos Aquepts y psamments	Asociación de Palmar medio denso de pantano de <i>Mauritia flexuosa</i> y <i>Vochysia venezolana</i> y bosque siempre verde de pantanos periódicamente inundables de <i>Virola surinamensis</i> y <i>Symphonia globulifera</i>	Tipic Usthorthens Oxic Dystrustepts, Aeric Epiaquepts
Alplanicie de colina-glacis, con suelos escarpados-pedregosos	Asociación de Sabana de mediana a poco arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Paspalum carinatum</i> , <i>Axonopus canescens</i> , <i>Bulbostylis conífera</i> , <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>	Paleustuls, Colinas, alto % de fragmentos de coraza, Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts, Oxic Dystrustepts Aeric Epiaquepts
Altiplanicie de ejes_lomas_colinas escarpadas ,con suelos pedregosos	Sabana poco arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>	Plinthic Kandistuls, Aquic Dystrustepts, 80% coraza ,Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts
Alplanicie de colina-glacis, con alta pedregosidad	Sabana densamente arbolada de <i>Axonopus purpusii</i> <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>	Plinthic Kandistuls Aquic Dystrustepts, 80% coraza
Plano inclinado ligeramente disectado	Sabana de densa a medianamente arbolada de <i>Axonopus purpusii</i> y <i>Chamaecrista tagera</i> con bosquetes de <i>Cassia moschata</i> y <i>Vochysia venezolana</i>	Orthents -Tropets
Colinas bajas ligeramente disectada	Sabana poco arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>	Aquepts, Psamments Dystric Haplustepts Typic Dystrustepts
Valles con suelos inundables	Bosque ribereño de alto a medio denso siempreverde periódicamente inundable de <i>Lecythis ollaria</i> , <i>Pouteria reticulata</i> y <i>Duguetia riberensis</i>	Aquic Ustipsamments; Tropaquepts, Ustrophepts

Cuadro 17. Unidades de paisajes, suelos y tipos de vegetación presentes en el área de estudio.

5.2.2 Relaciones componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial.

Una manera de evidenciar dichas relaciones, puede ser a través de la modificación de concepto del sistema socio-ecológico planteado por gallopín, 2006, el cual se muestra en la figura 28.

Este sistema socio-ecológico ha sido definido de diversas maneras, con ligeras diferencias de acuerdo con el contexto de su análisis o investigación. Para los propósitos de este trabajo, se planteo un esquema para comprender la realidad sistémica y establecer relaciones, para ello se continuara considerando la coexistencia de cuatro subsistemas íntimamente relacionados: el institucional, el económico, el social, y el natural que pasaría a sustituir al ambiental como primera modificación, y se plantean todas las relaciones posibles.

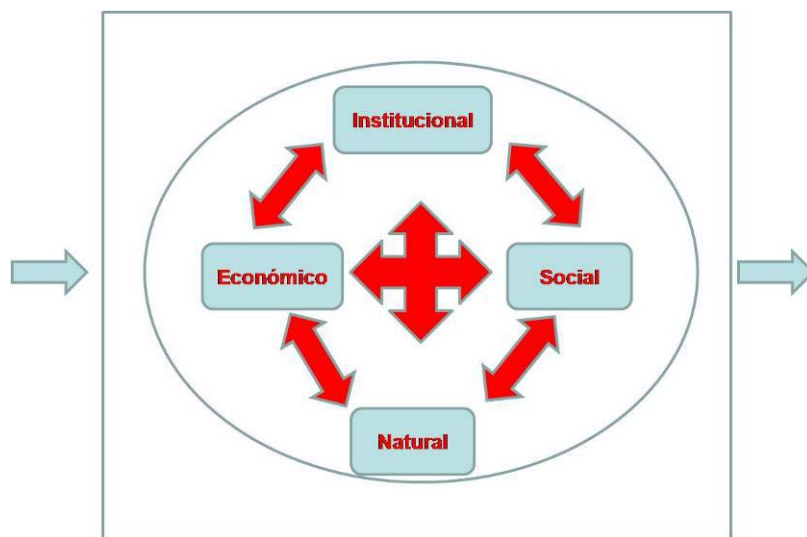


Figura 28. Sistema Socio-Ecológico Modificado de Gallopín 2006.

En esta propuesta se considera que el subsistema social debe ir orientado a la inclusión de variables que den cuenta del bienestar social, así como las plateadas por gallopín (2006). Se coincide con la definición de los subsistemas económico e institucional, y como ya adelantamos para el subsistema ambiental se plantea cambiar su denominación a subsistema natural que si tiene un efecto directo sobre lo institucional, debido a que las amenazas naturales siempre están presentes y pueden afectar a los demás subsistemas sino se realizan las evaluaciones de

impacto ambiental antes del desarrollo de actividades susceptibles a degradar el ambiente.

Con el fin de evidenciar las relaciones potenciales entre los componentes bióticos del ecosistema, los factores sociales y de desarrollo industrial en esta investigación nos enfocamos en primer lugar en subsistema natural, donde consideramos al clima como factor modelador del terreno y formador de suelos, y estos a sus vez, como medio complejo y heterogéneo con propiedades físico químicas y biológicas, que por separado o con sus tantas interrelaciones ejerce influencia sobre las relaciones suelo-agua y sobre el crecimiento de las plantas y generación hábitat para la fauna. Ver Figura 29.

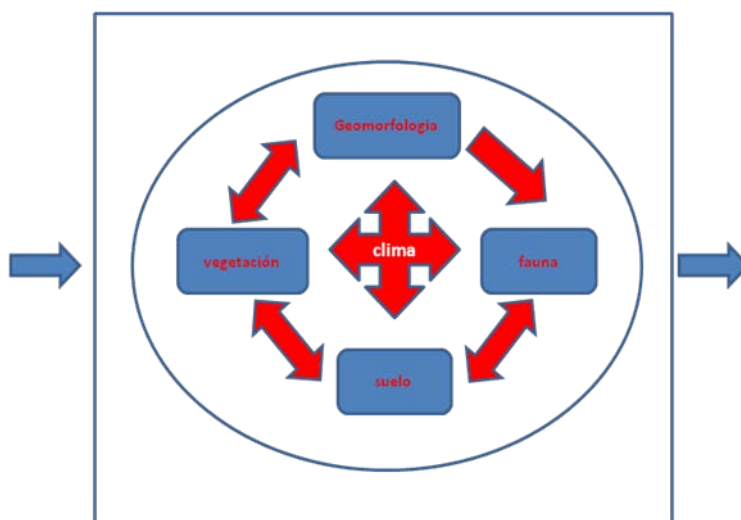


Figura 29. Sub sistema natural propuesto

Cada porción del territorio puede ser vista como un sistema, resultado de la interacción de factores geológicos, climáticos, geomorfológicos, edafológicos, hídricos, de vegetación y fauna silvestre, y su manejo por comunidades humanas.

En este sentido, las unidades ecológicas encierran aspectos sociales, económicos y culturales. Sin embargo, esta interacción no se da al azar, sino en forma ordenada, siguiendo la organización jerárquica que guardan los componentes naturales y sociales, mismos que en conjunto generan lo que conocemos como ambiente o espacio (Priego 2008).

El desarrollo industrial, proveniente de nuevos desarrollos viales como el tren de Las Mercedes hasta Cabruta, los tendidos eléctricos existentes en el área, el tercer puente sobre el río Orinoco y la actividad petrolera (subsistema económico), estaría acompañado con un aumento en la densidad poblacional y demanda de servicios básicos (subsistema social y sub sistema institucional) que no solo alteraría las relaciones existentes entre los componentes bióticos de los ecosistemas (subsistema natural) sino que impactaría de forma muy negativa a estos ecosistemas, aumentando la presión sobre ecosistemas protegidos como los existentes en el parque nacional Aguaro–Guariquito y en los bosque siempre verdes ribereños y los morichales asociados a los valles y vallecitos. Otros ecosistemas frágiles y susceptibles a ser degradados no solo por las actividades petroleras sino por el desarrollo de nuevos asentamientos humanos, son las altiplanicies de mesas y las planicies eólicas debido a sus características de paisajes con baja estabilidad.

5.2.3 Relaciones entre las zonas bien drenadas, uso agrícola, industrial y urbano.

Las zonas bien drenadas en el área de estudio están representadas por paisajes de lomerío y altiplanicies de mesa sobre rocas sedimentarias del Terciario, principalmente arenisca y lutitas cubiertos por sabanas arboladas por bosques deciduos y matorrales.

Los suelos sobre las mesas son principalmente Ultisoles distróficos a hiperdistróficos, con texturas arenosas a franco arenosas en los horizontes superficiales y medias en los subyacentes. En los topes colinosos o lomeríos dominan suelos con poca profundidad efectiva limitada permeabilidad al agua y alto contenido de grava que se deseca rápidamente al llegar la temporada seca. También son comunes Entisoles arenosos y en menor proporción Oxisoles (Shargel 2005).

En estas zonas la vegetación original ha sido fuertemente disminuida por usos agropecuarios, el establecimiento de la agricultura mecanizada ha sido un agente pionero en la degradación de suelos de la zona. A esto se le suma la erosión hídrica laminar y en surcos concentrada que genera rápidamente cárcavas, la

presión por el incremento poblacional, ocupa lugares cercanos a los ríos donde se encuentran los mejores suelos que son sometidos a cultivos de manera creciente, genera altas tasas de erosión capaces de causar altas tasa de pérdida de suelo.

En lo que respecta al proceso de explotación petrolera durante la actividad de perforación, se producen los siguientes impactos: deforestación, pérdida de la biodiversidad, erosión del suelo, interrupción de flujos de agua, uso de recursos naturales (flora y fauna) y generación de desechos domésticos por parte de los trabajadores petroleros, generación de residuos contaminantes provenientes de los corte y lodos de perforación, ruido y vibraciones, lo que puede producir impacto en el comportamiento en la fauna, desplazamiento de fauna e interrupción permanente de corredores, interrupción de vías de drenaje naturales, y contaminación por el ruido generado, lo que aumentaría los procesos de pérdida de suelos en las zonas de altiplanicie donde se propone el emplazamiento de la refinería de petróleo.

5.2.4 Relaciones entre zonas mal drenadas, uso industrial y urbano.

En los llanos bajos centrales, donde predominan planicies eólicas y planicies aluviales del Pleistoceno, las inundaciones ocurren principalmente por la acumulación de excesos de aguas de lluvia, escorrentía local y en algunas áreas por el represamiento de las aguas superficiales de las crecientes de los grandes ríos. Al mismo tiempo, es frecuente que los suelos tengan texturas medias o finas y que su permeabilidad sea lenta o muy lenta, el mal drenaje restringe el crecimiento y la productividad de la mayoría de los cultivos alimenticios y/o exige cuantiosas inversiones para su saneamiento y adecuación. Con el desarrollo agrícola urbano e industrial en estas zonas el problema actual y potencial de la degradación de los suelos, se ha ido extendiendo y adquiriendo mayor importancia relativa en estas áreas, debido a la adopción de patrones de desarrollo agrícola y el uso y manejo de los usos no apropiados para diferentes combinaciones de suelo y clima presentes en la zona.

Estas planicies aluviales también se encuentran degradadas por procesos erosivos o por coberturas eólicas, lo que representan limitaciones para el

emplazamiento de la refinería, ya que, visto desde el sistema socio ecológico es una influencia del subsistema económico a través del desarrollo de la industria petrolera sobre el subsistema natural, subsistema social e institucional y estos generando respuestas negativas y positivas causadas por los impacto de la industria petrolera.

Por lo tanto, estas actividades podrían ocasionar problemas ambientales, como aumento de los procesos erosivos, que degradarían los suelos, la modificación de la estructura de la vegetación, sedimentación de cauces y deterioro de la calidad de las aguas, lo cual traería como consecuencia colateral la afectación indirecta de las poblaciones que utilizan el recurso agua, lo que hace difícil el emplazamiento de la refinería con el menor impacto ambiental posible, ya que dichas instalaciones estarían desarrollándose en unidades ecológicas susceptibles a ser degradadas (Ver figura 30).

5.3. Indicadores de Conservación y Sostenibilidad de los Sistemas Ecológicos con fines de Ordenamiento

Generalmente en el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER) las evaluaciones se limitan a considerar el estado de los recursos naturales usando datos existentes, los indicadores suelen usarse en los informes ambientales, en la evaluación del desempeño ambiental o del avance hacia el desarrollo sostenible, pero deberían ser una herramienta básica en la planificación, contribuyendo a la claridad en los objetivos de las políticas y el establecimiento de prioridades ambientales. En el cuadro 18 se muestran los diferentes indicadores identificados utilizando el esquema PER para el área de estudio.

ID	PER	Indicador	Tema
1	Presión	Presencia de Actividad Petrolera	Económico
2		Establecimiento de nuevos asentamientos	Biodiversidad
3		Efluentes y desechos de la actividad petrolera	
4	Estado	Áreas de morichales y Bosques Ribereños	Biodiversidad
5	Respuesta	Cumplimiento de las leyes existentes	Gestión Ambiental
6		Gestión ambiental preventiva	
7		Decreto de nuevas ordenanzas	

Cuadro 18. Indicadores de conservación y de sostenibilidad de los ecosistemas existentes en el área Morichales y Bosques Ribereños.

La información de los sectores presión y respuesta son útiles para expresar los impactos del sector petrolero, sobre la condición de la tierra, por lo tanto, se relacionan directamente con las políticas ambientales. Los indicadores que pueden mostrar relaciones entre la presión y el cambio en estado generalmente tienen mayor significado para quienes toman decisiones sobre el ambiente. Mientras que los indicadores de estado se relacionan directamente a los cambios en la condición y a la cantidad del ambiente natural.

En este estudio nos hemos enfocado en dar cuenta de los cambios en el área que ocupan el bosque ribereño y los morichales como indicador del estado de

conservación de estos ecosistemas tan importante y que encuentran presentes en el área de estudio, y como esta se ve afectada por el desarrollo de la actividad petrolera, la cual desencadena el desarrollo de nuevos establecimientos de asentamientos humanos y la generación de desechos contaminantes que afectarían a los bosques ribereños y los morichales. En la figura 31 se muestra los ámbitos de acción de cada uno de los indicadores identificados y las posibles interacciones de estos desde sus diferentes ámbitos de acción, como actúan desde el ámbito social y económico los indicadores de presión y respuesta respectivamente, a través de las flechas unidireccionales sobre el indicador de estado ubicado en el ámbito ambiental. Vale la pena destacar que los indicadores de respuesta SIEMPRE deben actuar sobre los indicadores de presión. Con medidas de ingeniería o de ordenamiento derivadas de los estudios de impacto ambiental.

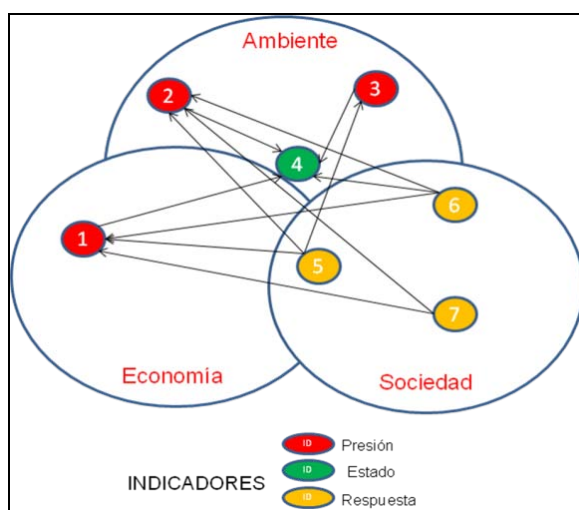


Figura 31. Ámbitos de acción de los indicadores identificados

En nuestro país el crecimiento demográfico descontrolado y las actividades antropicas en búsqueda del desarrollo, han provocado impacto negativos sobre el ambiente a nivel local , regional y nacional, en este sentido se evidencia una gran presión sobre los sistemas ambientales de gran fragilidad, en este estudio los ecosistemas que podrían tener una mayor afectación son los bosques ribereños y los morichales, estos representan un ecosistema constituido tantos de especies

animales como vegetales, que conforman una serie de cadenas tróficas, donde ocurre el flujo de energía y el ciclaje de nutrientes entre éstos y el ambiente.

Los morichales representan grandes reservorios de agua, son corredores que mantiene un complejo flujo de materiales y energía entre el subsistema terrestre y acuático. Además poseen intrínsecamente un gran valor paisajístico y recreacional ya que su presencia irrumpe en la monotonía del paisaje de sabana, dando la sensación de un oasis digno de admiración (Rial 2011).

Con el fin de deducir la evolución o las repercusiones de la acción humana sobre estos ecosistemas, que representan la variable estado (Áreas de morichales y Bosques Ribereños) del modelo PER planteado, se realizó un análisis multitemporal, el cual permitió detectar cambios entre diferentes fechas de referencia.

En la figura 32 se muestra la composición de imágenes para los diferentes años, las Fig. 32 a y Fig. 32 b, representan los años 1985 y 2003 respectivamente y son combinaciones de las bandas 3, 2,1. Mientras que para la imagen del año 2016 Fig. 32 c se utilizó la combinación 4, 3, 2 debido a cambios en las características en el sensor Land Sat 8.

A partir de estas imágenes se realizó la interpretación no supervisada a cada una de ellas con el fin de obtener el área correspondiente al bosque ribereño y los morichales, propuesta como indicador del estado de conservación del área de estudio, la interpretación se realizó a partir del análisis de tres categorías principales (Bosque siempre verde-morichales, Suelo desnudo - dunas de arenas y sabanas) Ver figura 33.

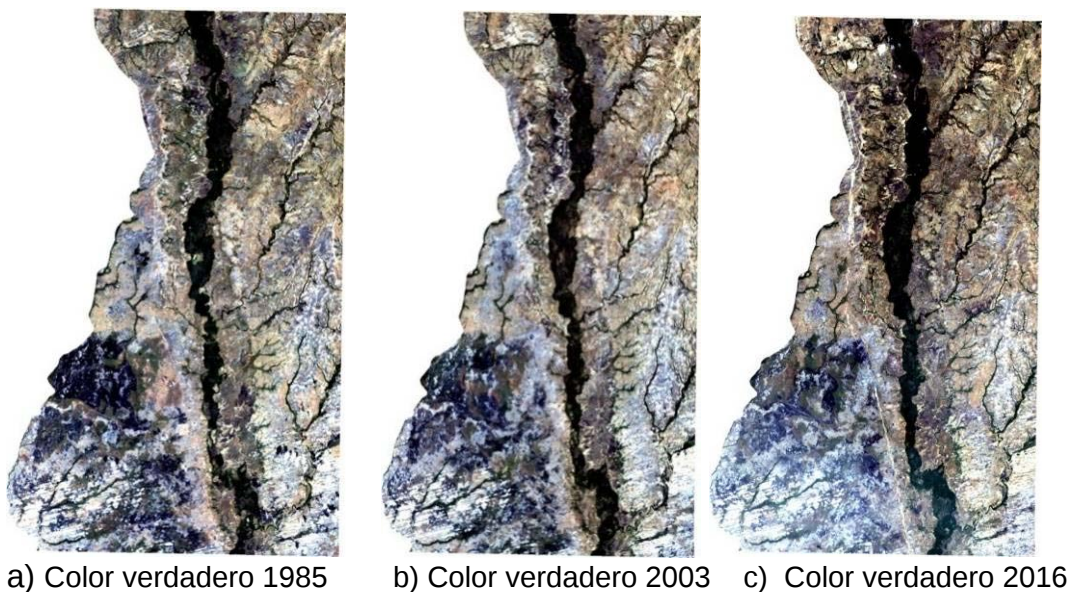


Figura 32. Combinaciones de bandas 3,2,1, a) Color verdadero 1985, b) Color verdadero 2003, c) Color verdadero 2016 de imágenes LandSat de los años 1985, 2003 y 2016 para el área de estudio.

Se realizó una comparación de las coberturas en el periodo de tiempo señalado a partir de las tres imágenes previamente clasificadas de manera independiente, a partir de la misma leyenda temática para los tres años.

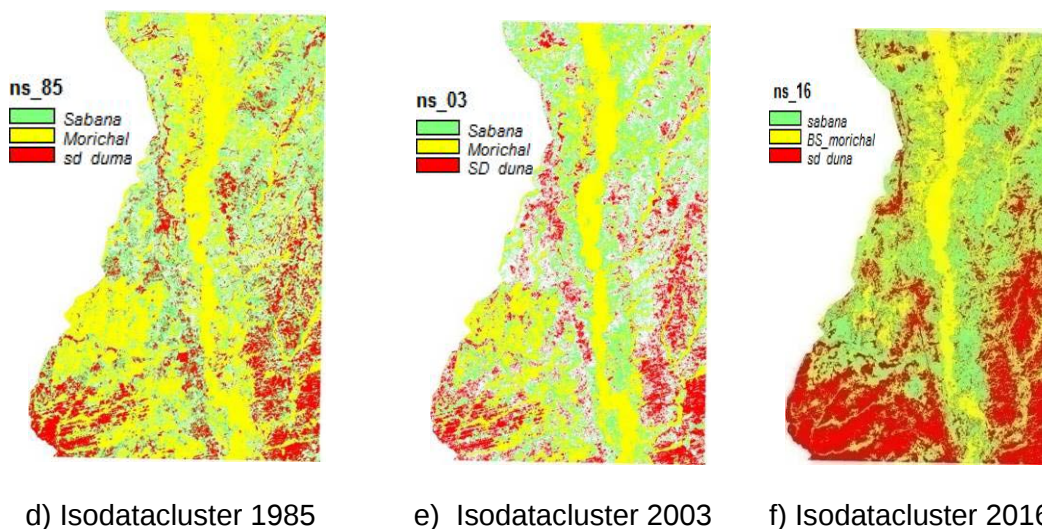


Figura 33. Interpretación no supervisadas Isocluster, d) 1985, e) 2003, f) 2016 basado en imágenes LandSat de los años 1985, 2003 y 2016 para el área de estudio.

Para cada una de las imágenes de los diferentes años, se realizó el cálculo de las diferentes áreas. Se comparo en primer lugar los resultados correspondientes a los años 1985 y 2003, donde se observo que la variación en las áreas bosque ribereño y morichales tiende a aumentar, lo cual se muestra en el cuadro 19, con una diferencia de más de 90 Km², lo cual evidencia que este indicador no solo que se puede cuantificar sino que es sensible a cambios en el tiempo.

Superficie en km ²			
Tipo de cobertura	1985	2003	Diferencia
Suelo desnudo_duna	268,26	189,66	-78,60
Bosques Siempre Verde_Morichales	276,60	368,58	91,97
Sabana	752,35	738,98	-13,37
Total	1.297,23	1297,23	

Cuadro 19. Cambios en la superficie de los diferentes tipos de cobertura presente en el área de estudio, durante los años 1985 y 2003.

Por otro lado se observa una disminucion de áreas de duna o suelo desnudo lo que pudiera ser producto de recuperación de zonas que para el año 1985 estaba afectado por el fuego y que en el 2003 se habían recuperado. En segundo lugar se muestran los resultados correspondientes a la comparación de imágenes de los años 2003 y 2016 se puede observar una disminución en el área de bosque ribereño y morichales así como también en el área de cobertura de sabanas donde la pérdida es de 208,68 Km², como se muestra en el cuadro (20).

Superficie en km ²			
Tipo de cobertura	2003	2016	Diferencia
Suelo desnudo_duna	189,66	427,67	238,00
Bosques Siempre Verde_Morichales	368,58	339,26	-29,31
Sabana	738,98	530,29	-208,68
Total	1.297,23	1297,23	

Cuadro 20. Cambios en la superficie de los diferentes tipos de cobertura presente en el en el área de estudio, durante los años 2003 y 2016.

En la superficie de suelo desnudo o duna, se observó un aumento de más del doble de superficie, lo que representa, más del 70%, lo que pudiera explicado debido a la pérdida de suelos por actividad agrícola intensiva. En tercer lugar se

realizó la comparación entre los diferentes años 1985-2003-2016 con el objetivo de mostrar el comportamiento a lo largo de 31 años, los resultados se muestran en el cuadro (21).

Superficie en km ²			
Tipo de cobertura	1985	2003	2016
Suelo desnudo_duna	268,26	189,66	427,67
Bosques Siempre Verde_Morichales	276,60	368,58	339,26
Sabana	752,35	738,98	530,29
Total	1.297,23	1.297,23	1297,23

Cuadro 21. Cambios en la superficie de los diferentes tipos de cobertura presente en el en el área de estudio, durante los años 1985, 2003 y 2016

Con el análisis de comparación de la cobertura de los años 1985, 2003 y 2016, se determinó que en el área de estudio hay 530,29 Km² de Sabana, 40.87% del área total, para el año 2016, lo que representa una pérdida de sabana de aproximadamente el 30 % con respecto al año 1985, lo que podría ser explicada debido a la presión antropica, por la expansión de la frontera agrícola, el establecimiento de nuevas vías de comunicación y procesos erosivos fuertes que no solo han derivado en una pérdida de la cobertura de sabana sino en un aumento de la superficie de suelo desnudo, la cual aumento en un 38% con respecto al año 1985.

En el área de estudio, los bosques siempre verdes ribereños se localizan en las márgenes y a lo largo de los principales ríos que conforman la red fluvial de la cuenca del río Manapire, son bosques siempreverdes debido a las condiciones hídricas favorables ofrecidas por los cursos de agua de la cuenca, sin embargo, muchos de estos cursos se secan y los bosques de galería a consecuencia de sus características caducifolios y de algunas especies que pierden sus hojas durante la estación seca. La cobertura de bosques siempre verdes ribereños y de los morichales no solo se mantuvo durante los diferentes años sino que aumento, en el 2016 (339,26 Km²) con respecto a 1985, (276,60 Km²), lo que nos permite inferir que estos ecosistemas se han recuperado y su estado de conservación es alto, ya que en el caso de los Morichales la fragilidad es alta, estos sistemas no soportan grandes intervenciones por lo cual muchos de ellos han sido amparados

por el Decreto N°. 846, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°. 34.462, de fecha 5/4/90, mediante el cual se dictan las “Normas para la protección de Morichales”.

Según Madi y col. (2011), el área de estudio, donde se desarrolla esta investigación está dentro del estado 3 de conservación, donde la conservación es regular o moderadamente intervenida, ya que, en estas zonas perdura la formación vegetal original pero se aprecian grandes áreas (desde un 26% hasta un 75%) donde se estima que la formación está reducida, fragmentada o alterada en composición y/o proporción de especies. Este grado de intervención está, muy asociado con la ganadería extensiva bovina o caprina, practicada en Los Llanos de Venezuela.

Lo que coincide con lo encontrado en este estudio ya que, cuando se compara la cobertura de bosques siempre verdes ribereños y morichales del 2016, con respecto al año 2003 (368,58 Km²), esta presentó una disminución de 8%, lo cual se explica debido a que el grado de amenaza que poseen los bosques ribereños o de galería es grande en el área de la cuenca del Manapire, ya que ocupan una posición geomorfológica privilegiada en el paisaje, siendo de este modo amenazados constantemente al igual que la sabana por la expansión de la frontera agrícola, desapareciendo en algunos casos y fragmentándose en otras, esto va a depender del número de cultivos por año o por hectárea dentro de un sistema, el tipo y la intensidad de la labranza, el grado de remoción de la biomasa, y la integración con los sistemas ganaderos. Las perturbaciones naturales o antropogénicas asociadas con cambios en la dinámica fluvial, la acción del fuego y las prácticas de la agricultura migratoria, pueden detener y en algunos casos revertir el proceso sucesional de los morichales.

Este sistema ecológico representa un sumidero de CO₂ y almacenamiento, depuración y regulación de agua subterránea y están siendo afectados por la expansión demográfica y la creciente explotación de recursos, que implican cambios en el uso de la tierra (Lasso y col. 2011).

En este sentido la superficie bosque ribereño y morichales pudiera ser un indicador potencial de conservación y de sostenibilidad de los ecosistemas existentes en el área, debido a las bondades que ofrece no solo por ser cuantificable y cartografiable sino que representa uno de los ecosistemas más complejos y frágiles del área.

Por último se realizó un análisis para detectar los cambios (Fig. 34) entre las superficies de los años 1985-2016, donde se evidencian como existen área que originalmente formaba parte de la sabana y ahora formar parte del área de bosque ribereño a morichales así como áreas de bosque ribereño y morichales pasando formar parte de sabana y suelo desnudo o dunas, como cambios más resaltantes.

El desarrollo del tren las Mercedes-Cabruta, el cual ya esta adelantado y el emplazamiento de una refinería en esta área, las actividades de explotación, almacenamiento y transporte del petróleo, conformarían parte del conjunto actual de amenazas que ponen en riesgo no solo la integridad de los morichales, sino el resto de los ecosistemas presentes, ya que la población flotante (empleados temporales de desarrollos, de infraestructura, energéticos, agrícolas, mineros, entre otros.), son una presión sobre estos ecosistemas y extrae intensamente determinados recursos de fauna y flora. Por otro lado el turismo sin supervisión también representa una actividad que afecta a estos ecosistemas.

En este sentido se tiene que si se realiza análisis multitemporales usando imágenes de satélite, sobre un territorio dado, se podría ayudar en las labores de predicción, gestión ambiental preventiva, determinación de escenarios futuros, monitoreo de ecosistemas, así como en la estimación del cambio producido por los diferentes uso u ocupación de la tierra.

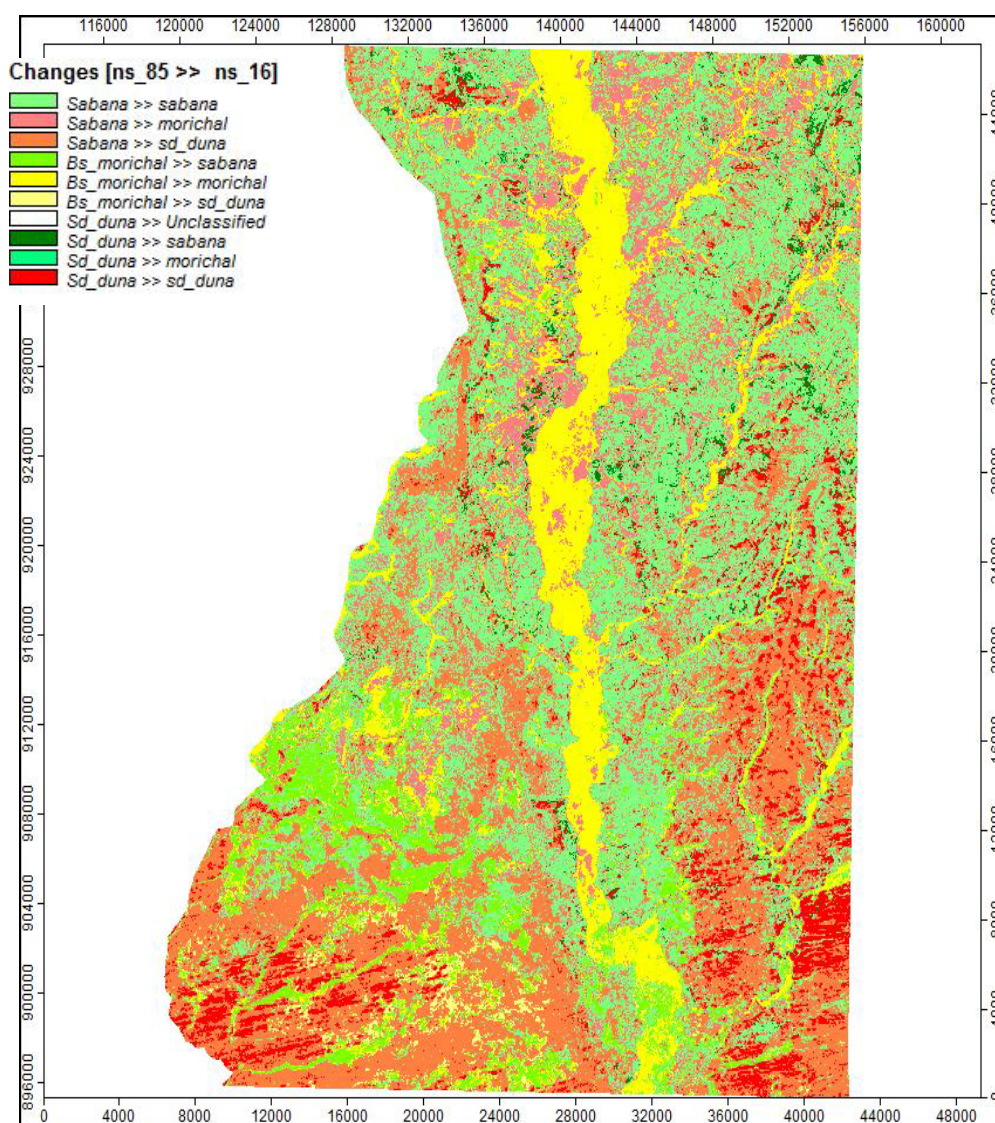


Figura 34. Cambios durante los años 1985-2016

La capacidad indicadora de la vegetación, reconocida en numerosos estudios una vez más se hace evidente en esta investigación y en conjunto con técnicas basadas en la teledetección espacial, adquieren un elevado potencial para este tipo de tareas, dada la periodicidad en la obtención de los datos y la variedad creciente en la resolución espacial de las imágenes disponibles, lo cual permite la identificación de los cambios desde diferentes escalas de trabajo.

5.4 Propuesta de Unidades de Ordenamiento Ecológico Orientado a la Asignación de Usos de la Tierra.

Las actividades humanas han conllevado siempre un deterioro parcial de la naturaleza y desde la antigüedad se empezaron a registrar informes sobre la erosión de los suelos y la deforestación de regiones enteras. Pero, con la industrialización masiva y los efectos de la moderna sociedad de consumo se han multiplicado drásticamente las presiones de todo orden sobre la biosfera, poniendo en peligro los sistemas auto regenerativos del ambiente natural. Lejos de detenerse, la presión sobre los recursos naturales y cualidades del ambiente está en continuo aumento. A pesar de los múltiples estudios y acuerdos internacionales, prosigue indetenible la degradación del ambiente en casi todas las regiones del mundo (González 1997).

A medida que la explotación y el uso humano de los ecosistemas han ido incrementándose, ha sido necesario conocer mejor las potencialidades del espacio y extender la acción sobre territorios aún sin explotar. Paralelamente a ello, se ha tomado conciencia de la interdependencia e interacción de los componentes del territorio, aplicándose este punto de vista al inventario de recursos y desarrollo de modelos de descripción integrada.

Las características ecológicas del ambiente pueden ser descritas mediante una amplia gama de parámetros físico-químicos, biológicos y de uso humano. La expresión espacial de las interacciones entre ellos permite reconocer unidades territoriales y poner de manifiesto las dimensiones reales de las posibilidades de estas interacciones, pudiendo informar sobre las limitaciones y potencialidades del territorio (González-Bernáldez, 1981; Cabrera, 1984 citado por De Pablo y Pineda 1985).

La planificación ecológica del territorio, implica la consideración de los principios de la ecología de paisajes, para la toma de decisiones sobre las asignaciones de usos de la tierra y el ordenamiento territorial. En este sentido la planificación ecológica con un enfoque sistémico y holístico en la cual se sustenta en el Ordenamiento Ecológico Territorial, está considerada como una actividad

cognoscitiva multidimensional, compleja y dinámica que sirve como elemento regulador de las relaciones entre los sistemas naturales y los sociales (Salinas y Quintela 2001).

En un área poco intervenida del bloque Boyacá de la Faja Petrolífera del Orinoco se podría presentar una estructura muy compleja de ocupación y asignación de usos al suelo, debido a que los ecosistemas presentes en esta área poseen una importante diversidad biológica y poca intervención.

Estas áreas rurales proporcionan recursos, bienes y servicios que los seres humanos utilizan, y son receptoras de residuos e impactos. La pérdida de los procesos ecológicos o de recursos en esta área a causa de la actividad petrolera podría representar un grave problema socioeconómico porque recursos importantes (agua, suelo, entre otros.) se pueden perder o degradar como consecuencia del mal uso o la sobreexplotación. Para llegar a un modelo de ocupación del territorio ideal, es imprescindible basarse en todo el cúmulo de información existente y generar la necesaria. También es ineludible atender a la realidad existente para estar acorde con los principios de la objetividad y poder lograr resultados prácticos.

La propuesta de unidades ecológicas territoriales, en este estudio, está basada en características ecológicas, vistas como el fundamento de la planificación, la delimitación de unidades no ha de considerarse como un fin en sí misma, sino solo un medio para enfrentar la realidad geográfica ecológica necesaria para proponer un modelo de ocupación del territorio. Los componentes de estas unidades territoriales homogéneas se definen mediante la utilización de técnicas de observación del terreno, cartografía digital y verificación selectiva en el campo (Bocco y col. 1999).

Las características de las unidades ecológicas fueron descritas según la metodología de Berroterán 2004, considerando el sexto nivel de abstracción, el cual está conformado por la Unidades Discretas de Ecosistemas, que en esta investigación hemos llamado (Unidad Ecológica) que posee como características una misma forma de terreno, similar vegetación a nivel florístico y fisionómico,

suelos, uso actual, fauna y mesoclima; y al variar al menos uno de ellos cambia la unidad de paisaje. Este nivel es apto para estudios detallados, se utiliza para definir los elementos que componen los diferentes ecosistemas, y sería la unidad básica de muestreo y estudio (Cuadro 22).

ID	Unidades Ecológicas	Descripción de las Unidades Ecológicas	Área ha.	Porcentaje (%)
1	Unidad Ecológica 1 (UE1)	Altiplanicie de Mesa (El Salado, La Melena y Rabanal), con alta pedregosidad, 9,31 % de pendiente, Suelos Typic Kandistuls Aquic Dystrustepts, 80% coraza, y Sabana Poco Arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> y <i>Bowdichia virgiloides</i> con uso orientado a la horticultura de tierras bajas y fruticultura comercial, agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Falconidae-Columbidae – Accipitridae.	3830,18	2,97
2	Unidad Ecológica 2 (UE2)	Altiplanicie de colina-glacis, con suelos escarpados-pedregosos, con 3,48 % de pendiente, suelos Paleustuls con alto % de fragmentos de coraza, Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts, Oxíc Dystrustepts Aeric Epiaquepts, y Sabana Poco Arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> y <i>Bowdichia virgiloides</i> con uso fruticultura comercial y agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Falconidae-Columbidae – Accipitridae.	25751,87	19,99
3	Unidad Ecológica 3 (UE3)	Altiplanicie de ejes lomas colinas escarpadas, con 3,39% de pendiente, con suelos Plinthic Kandistuls, Aquic Dystrustepts, pedregosos, 80% coraza, Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts y Sabana Medianamente Arbolada de <i>Byrsonima coccolabaefobia</i> , <i>Paspalum carinatum</i> , <i>Chamaecrista tajera</i> , <i>Cassia moschata</i> y <i>Vochysia venezolana</i> . Horticultura de tierras bajas y fruticultura comercial, Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Falconidae-Columbidae – Accipitridae.	4434,22	3,44
4	Unidad Ecológica 4 (UE4)	Colinas bajas ligeramente disectadas, con 3,12 % de pendiente, suelos Dystric Haplustepts Typic Dystrustepts Dystrustepts Sabana Medianamente Arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> y <i>Bowdichia virgiloides</i> . Horticultura de tierra baja, Agricultura de subsistencia, plantaciones, con presencia de aves de las familias Falconidae.	2270,59	1,76
5	Unidad Ecológica 5 (UE5)	Planicie aluvial de explayamiento, con 2,64 % de pendiente suelos pedregosos en posiciones altas Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts, Tipic Kandistuls Tipic Dystrustepts, Ganadería semi intensiva, con presencia de aves de las familias Ardeidae-Anatidae.	4527,45	3,51
6	Unidad Ecológica 6 (UE6)	Planicie aluvial, con 1,93 % de pendiente, suelos Plinthic Kandistuls, Oxíc Dystrustepts, Tipic Usthorthens. Tipic Dystrustepts, Dystric Haplustepts con Sabanas inarboladas de ciperáceas. Uso orientado a Horticultura de tierra baja, Agricultura de subsistencia y plantaciones, con presencia de aves de las familias Ardeidae-Anatidae.	20754,54	16,11
7	Unidad Ecológica 7 (UE7)	Planicie Aluvial de explayamiento, con bajos inundables, con 1,51 % de pendiente, suelos, Oxíc Dystrustepts, Aeric Epiaquepts, Plinthic Kandistuls Aquic Dystrustepts con <i>Paspalum subciliatum</i> , <i>Panicum laxum</i> , <i>Paspalum millegrana</i> . Uso orientado a Horticultura de tierra baja y Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Ardeidae-Anatidae.	15756,3	12,23
8	Unidad Ecológica 8 (UE8)	Planicie eólica con 1,40 % de pendiente, suelos Typic Aquic Quartzipsamments, Sabana de alta densidad de <i>Curatella americana</i> con presencia de dunas. Uso orientado a Ganadería extensiva y plantaciones forestales, con presencia de aves de las familias Accipitridae-Icteridae.	21038,98	16,33

9	Unidad Ecológica 9 (UE9)	Plano inclinado ligeramente disectado con 2,78 % de pendiente, suelos Oxíc Dystrustepts - Aeric Epiaquepts Sabana Medianamente Arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Curatella americana</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> y <i>Bowdichia virgiloides</i> y uso orientado a Horticultura de tierra baja, Fruticultura comercial, plantaciones. con presencia de aves de las familias Psittacidae.	6206,27	4,82
10	Unidad Ecológica 10 (UE10)	Valle Aluvial con 1,56 % de pendiente suelos inundables, Aquic Ustipsamments; Tropaquepts, Ustropepts con Bosque siempre verde de alto a medianamente arbolado de <i>Etaballia dubia</i> y <i>Lecythis ollaria</i> . Uso orientado a Horticultura de tierra baja , Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Cracidae-Psittacidae	11952,82	9,28
11	Unidad Ecológica 11 (UE11)	Valles Coluvio Aluviales con, 2,68 % de pendiente, suelos Aquic Ustipsamments, Asociación de Palmar medio denso de <i>Maurixia flexuosa</i> , y Bosque Siempre Verde Periódicamente Inundables, de <i>Virola surinamensis</i> , <i>Symphonia globulifera</i> . Horticultura de tierra baja. Uso orientado a Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Cracidae-Psittacidae.	10375,54	8,06
12	Unidad Ecológica 12 (UE12)	Valles coluviales, con 2,26 % de pendiente, suelos Inundables Tipic Usthorhens Oxíc Dystrustepts, Aeric Epiaquepts Bosque siempre verde medianamente arbolado de <i>Etaballia dubia</i> y <i>Lecythis ollaria</i> . Uso orientado a Horticultura de tierra baja, Agricultura de subsistencia, con presencia de aves de las familias Cracidae-Psittacidae	1908,73	1,48

Cuadro 22. Descripción de las unidades ecológicas

Se describieron 12 unidades ecológicas, dentro de las cuales tenemos que las altiplanicies y las colinas bajas están ubicadas en los Llanos Altos Centrales así como los valles con presencia de morichales, mientras que las planicies aluviales y eólicas están más asociadas a Los Llanos bajos.

Solo después de delimitar las unidades territoriales de acuerdo con las características físico natural, se aborda la problemática socio territorial en cada una de ellas (Ferrol-Vizcaíno S/F). Al visualizar el posible impacto por el emplazamiento de una refinería de petróleo en el área de estudios, y dilucidar las áreas más aptas para usos específicos tales como: Industrial Petrolero, Urbano, Conservación, Agrícola.

En el cuadro, 23, se describe cada una de las unidades ecológicas en función a la valoración de cada uno de los indicadores ambientales (fragilidad, las restricciones por topografía, potencialidad agrícola y la prioridad de conservación) los que fueron utilizados como criterios para la propuesta de uso.

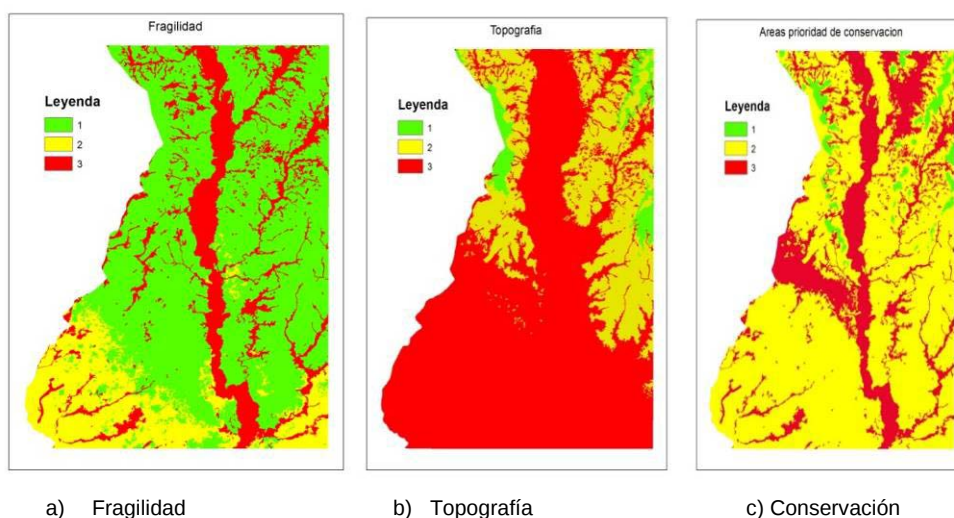
Unidades Ecológicas	Indicador	Valoración		
		Baja	Media	Alta
Unidad Ecológica 1 (UE1)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía		2	
	Área con prioridad de conservación	1		
	Potencial Agrícola		2	
Unidad Ecológica 2 (UE2)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía		2	
	Área con prioridad de conservación		2	
	Agrícola		2	
Unidad Ecológica 3 (UE3)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía	1		
	Área con prioridad de conservación		2	
	Agrícola		2	
Unidad Ecológica 4 (UE4)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía		2	
	Área con prioridad de conservación			3
	Agrícola	1		
Unidad Ecológica 5(UE5)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía			3
	Área con prioridad de conservación			3
	Agrícola		2	
Unidad Ecológica 6(UE6)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía			3
	Área con prioridad de conservación		2	
	Agrícola	1		
Unidad Ecológica 7 (UE7)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía			3
	Área con prioridad de conservación		2	
	Agrícola		2	
Unidad Ecológica 8 (UE8)	Fragilidad		2	
	Restricción por topografía			3
	Área con prioridad de conservación		2	
	Agrícola			3
Unidad Ecológica 9(UE9)	Fragilidad	1		
	Restricción por topografía			3
	Área con prioridad de conservación			3
	Agrícola	1		
Unidad Ecológica 10(UE10)	Fragilidad			3
	Restricción por topografía			3
	Área con prioridad de conservación			3
	Agrícola	1		
Unidad Ecológica 11(UE11)	Fragilidad			3
	Restricción por topografía			3
	Área con prioridad de conservación			3
	Agrícola	1		
Unidad Ecológica 12(UE12)	Fragilidad			3
	Área con prioridad de conservación			3
	Conservación			3
	Agrícola	1		

Cuadro 23. Indicadores y criterios fragilidad para el área de estudio

En este sentido con base a los criterios en indicadores antes mencionados, se planteó realizar una Evaluación Multicriterio (EMC), con el fin de asignar un uso a las diferentes unidades ecológicas delimitadas. En este método la integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y la EMC, constituyen una importante herramienta para el análisis territorial.

Debido a la posible construcción de la refinería en el eje Las Mercedes-Santa Rita-Cabruta en gran parte del área de estudio de esta investigación, con un aumento de la población, y la consecuente demanda de residencias y servicios urbanos. Se plantea la evaluación de la posibilidad de la adaptabilidad de usos urbanos y relacionados con la industria petrolera, respetando las áreas naturales protegidas existente en el área como los morichales y bosque de galería.

En la Figura 35, se muestra la expresión espacial de los indicadores de fragilidad, topografía y conservación, a fin de determinar las zonas con menos restricción para el desarrollo del uso petrolero y urbano dentro del área de estudio, así como reafirmar las áreas naturales protegidas y proponer usos alternativos.



Figuras 35. Expresión espacial de los indicadores de fragilidad, topografía y conservación para el área de estudio.

El propósito de la aplicación de las técnicas de EMC dentro del SIG es alcanzar, por este procedimiento, una valoración sobre la aptitud del territorio en relación con ciertas funciones o actividades, que se seleccionan como objetivos concretos

de la evaluación. Ya que la aplicación del SIG permite operar aislada y conjuntamente con las más diversas variables, espacialmente consideradas.

En nuestro caso se trata de la actividad petrolera, en la figura 36, se muestra las áreas con restricciones alta mediana y baja, las cuales son representadas por la suma de superficie con paisajes frágiles, con restricciones topográficas y con protección ambiental, las áreas con pocas restricciones podrían ser utilizadas para el uso petrolero y urbano.

En este sentido tenemos que solo el 6,76 % del área posee restricciones Bajas (1) para la asignación de uso para la adaptación de actividades industriales y urbanas con base en los indicadores antes descritos. Las áreas con restricciones medianas (2) para el uso petrolero y urbano, representan el 73,43 % del área de estudio, mientras las que poseen las restricciones altas (3) representan el 19,81% del área de estudio.

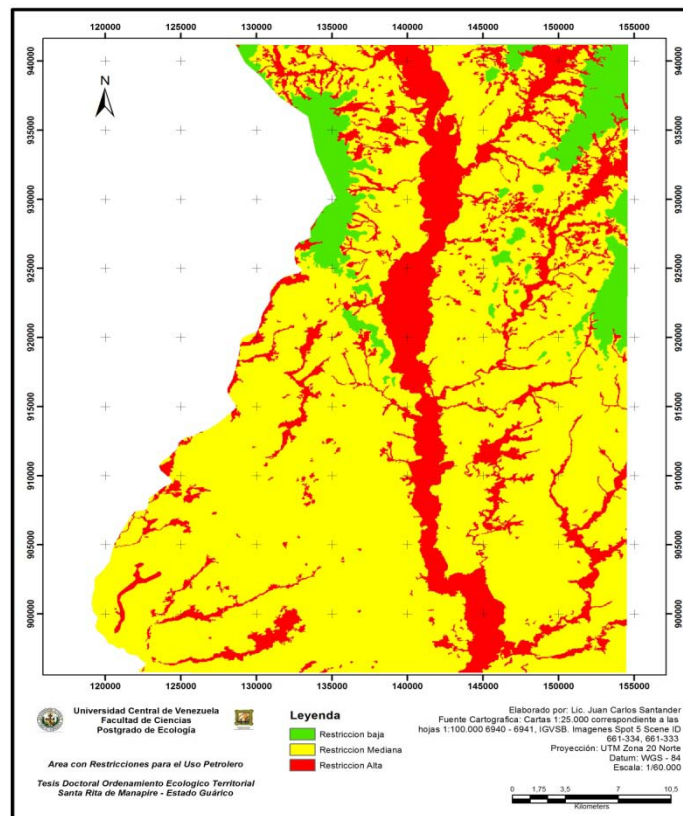


Figura 36. Áreas restringidas para el uso petrolero

Esta evaluación puede servir de herramienta para ayudar a visualizar las opciones y evaluar alternativas que propicien una planificación cónsona de uso de terrenos respecto a las restricciones antes señaladas, por ejemplo las zonas con altas restricciones están representada por vegetación protegida por leyes y decretos como los son los morichales y los bosques de galería, así como los cuerpos de agua que están protegidos por la ley de aguas, por lo que el uso que se recomienda para esta área es el de uso conservacionista.

La figura 37 muestra la expresión espacial del indicador de potencialidad agrícola como parte de la información geográfica adicional que se puede utilizar para tomar decisiones y la definición de unidades ecológicas de ordenamiento territorial.

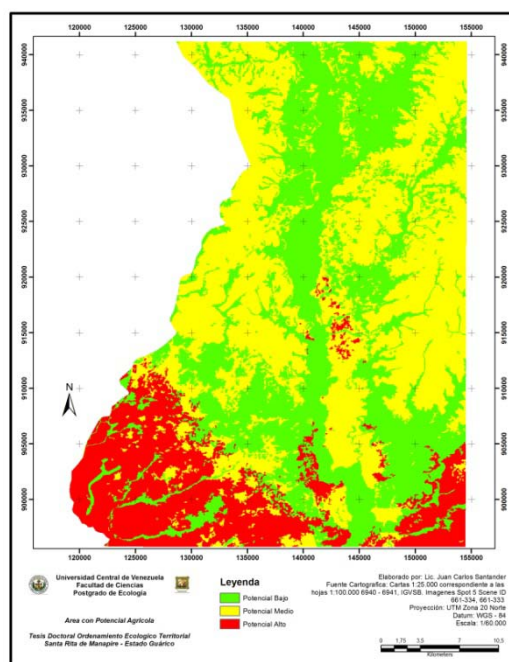


Figura 37 Áreas con potencial agrícola

En este sentido basado en la información de las zonas con restricción para la implantación de usos petrolero y urbano, y el potencial agrícola se propone las unidades ecológicas de ordenamiento con las cuales se busca asegurar el flujo de energía y ciclaje de nutrientes y con ello la prestación continua de los servicios ecológicos de estas unidades en vez de permitir la expansión para el uso petrolero y urbana que potencialmente pudiera limitar los mismos. En el cuadro 24 se muestran los usos potenciales y el uso propuesto según los criterios antes

señalados para las doce unidades ecológicas y como estas se agrupan en tres unidades ecológicas de ordenamiento.

Unidad ecológica de ordenamiento 1 (UEO) 1: Áreas con potencial para el Agroturismo, agricultura ecológica o de bajo insumos y establecimiento de pasto (debido a condiciones de baja fertilidad y erosión) representada por las unidades ecológicas UE1, UE2, UE3, UE4 y UE 9. Vale la pena destacar que agroturismo es la actividades turísticas que más llama la atención en la actualidad, ya que implica un acercamiento estrecho con la naturaleza, una forma de observar el entorno natural, sacar el máximo provecho turístico y ayudar por ende la comercialización de los productos resultantes de ésta práctica (Gabatel 2008).

La adaptación de este tipo de uso promovería la permanencia de los productores agrícolas, silvicultores, y acuicultores, solos o asociados, en las zonas rurales, valorar los productos típicos locales, con particular resguardo de los productos biológicos. Ofrecer nuevas y diversificadas oportunidades de uso del tiempo libre en el ambiente rural. Permitir el ejercicio en establecimientos agro-silvopastoriles y de acuicultura, de actividades económicas integradas con las actividades agrícolas, tendiendo a las realidades ecológicas de la región.

Unidad ecológica de ordenamiento 2 (UEO) 2 : Esta representada por Corredores de Conservación, representado por tierras protegidas, libres de construcción, circundantes de la ciudad, con el fin de conservar ecosistemas estratégicos y frenar el crecimiento urbano. Dentro de estas áreas se encuentran las planicies aluviales presentadas por las unidades ecológicas UE5, UE6 y UE7 y la planicie eólica representada por UE8.

Unidad ecológica de ordenamiento 3 (UEO) 3: Serian las áreas protegidas por legislación ambiental venezolana, ley de bosques, ley de agua, decreto de protección de morichales, los morichales son ecosistemas claves ya que en ellos se encuentra especies de flora y fauna representativas de la región, las cuales

están representadas por los valles aluviales y coluvio aluviales y coluviales agrupados en las UE 10, UE 11 y UE 12.

Los bosques y morichales deberían tener alta prioridad para la conservación, dada la protección que brindan a los suelos y aguas, la escasa superficie que ocupan y la alta biodiversidad que albergan (Dezzeo y col., 2008).

ID	Unidades Ecológicas	Área ha.	Unidad Ecológica de Ordenamiento	Uso potenciales
1	Unidad Ecológica 1 (UE1)	3830,18	Unidad Ecológica de ordenamiento 1 (UEO1)	Agroturismo, agricultura ecológica o de bajo insumos y establecimiento de pasto (debido a condiciones de baja fertilidad y erosión).
2	Unidad Ecológica 2 (UE2)	25751,87	Unidad Ecológica de ordenamiento 1 (UEO1)	Agroturismo, agricultura ecológica o de bajo insumos y establecimiento de pasto (debido a condiciones de baja fertilidad y erosión).
3	Unidad Ecológica 3 (UE3)	4434,22	Unidad Ecológica de ordenamiento 1 (UEO1)	Agroturismo, agricultura ecológica o de bajo insumos y establecimiento de pasto (debido a condiciones de baja fertilidad y erosión).
4	Unidad Ecológica 4 (UE4)	2270,59	Unidad Ecológica de ordenamiento 1 (UEO1)	Agroturismo, agricultura ecológica o de bajo insumos y establecimiento de pasto (debido a condiciones de baja fertilidad y erosión).
5	Unidad Ecológica 5 (UE5)	4527,45	Unidad Ecológica de ordenamiento 2 (UEO2)	Corredores de conservación Ecoturismo (Manejo y aprovechamiento de Fauna silvestre).
6	Unidad Ecológica 6 (UE6)	20754,54	Unidad Ecológica de ordenamiento 2 (UEO2)	Corredores de conservación Ecoturismo (Manejo y aprovechamiento de Fauna silvestre).
7	Unidad Ecológica 7 (UE7)	15756,3	Unidad Ecológica de ordenamiento 2 (UEO2)	Corredores de conservación Ecoturismo (Manejo y aprovechamiento de Fauna silvestre).
8	Unidad Ecológica 8 (UE8)	21038,98	Unidad Ecológica de ordenamiento 2 (UE 2)	Corredores de conservación Ecoturismo (Manejo y aprovechamiento de Fauna silvestre).
9	Unidad Ecológica 9 (UE9)	6206,27	Unidad Ecológica de ordenamiento 1 (UEO1)	Agroturismo, Uso Pecuario y establecimiento de pasto (debido a condiciones de baja fertilidad y erosión).
10	Unidad Ecológica 10 (UE10)	11952,82	Unidad Ecológica de ordenamiento 3 (UEO 3)	Conservación: Área protegida por legislación ambiental.

11	Unidad Ecológica 11 (UE11)	10375,54	Unidad Ecológica de ordenamiento 3 (UEO3)	Conservación: Área protegida por legislación ambiental.
12	Unidad Ecológica 12 (UE12)	1908,73	Unidad Ecológica de ordenamiento 3 (UEO3)	Conservación: Área protegida por legislación ambiental.

Cuadro 24. Unidades ecológicas de ordenamiento y el uso propuesto según los criterios antes señalados

Debido a que las mayores amenazas que enfrenta este tipo de ecosistema son la drástica reducción de la biodiversidad de especies vegetales, principalmente herbáceas, como consecuencia de la invasión de gramíneas exóticas (*Hyparrhenia rufa*), muy extendida en las sabanas estacionales, y la homogeneización del paisaje debida a la destrucción de los mosaicos de sabanas y bosques donde se asientan las actividades agrícolas y pecuarias. Originando lo que se conoce como sabanización de los bosques. Estas nuevas “sabanas” no son tan diversas como las naturales y equivalen más bien a formaciones de matorrales y sabanas secundarias (Silva, 2003).

Para las unidades ecológicas de ordenamiento 2 y 3 tenemos que su uso propuesto podría ser posible debido a la existencia de La Ley de Asignaciones Especiales LAEE, sancionada por primera vez en el año 1995 y modificada en el año 2000, se convierte en un instrumento de especial valor para propiciar las compensaciones ecológicas y sociales contempladas en la propuesta de sostenibilidad “suave” en Venezuela. De manera particular, la referida Ley en su artículo N° 10 establece las distintas formas y modalidades de resarcimiento y compensación por el uso de los recursos no renovables mineros y energéticos, las cuales se especifican a continuación:

1. “Proyectos y Programas que se orienten a la conservación, defensa, mantenimiento, mejoramiento, recuperación, saneamiento y vigilancia del ambiente y de los recursos naturales afectados por actividades mineras o petroleras;
2. Recuperación, protección, conservación y mejoramiento ambiental

de las áreas objeto de exploración y explotación de minas e hidrocarburos; 3. Programas de preservación del ambiente en general y en especial en áreas donde se realicen actividades tales como procesamiento de hidrocarburos, refinación, criogénico, petroquímicos, empresas del aluminio, del acero y procesamiento de otros minerales.

Si bien existe un área con pocas restricciones para el desarrollo de la **actividad industrial petrolera y uso urbano**, las cuales igual son impactadas por esta actividad en menor proporción, estas en algunos casos poseen difícil acceso y existen morichales en sus adyacencias como es el caso de las zonas ubicadas al noreste del área de estudio y en las cercanías del Parque nacional Aguaro Guariquito.

Por otro lado el corredor vial del Tren las Mercedes-Cabruta, también representa otra posible limitante, ya que este cruza el área considerada con pocas restricciones lo que constituye un factor a considerar a la hora del emplazamiento de la refinería ver figura 38.

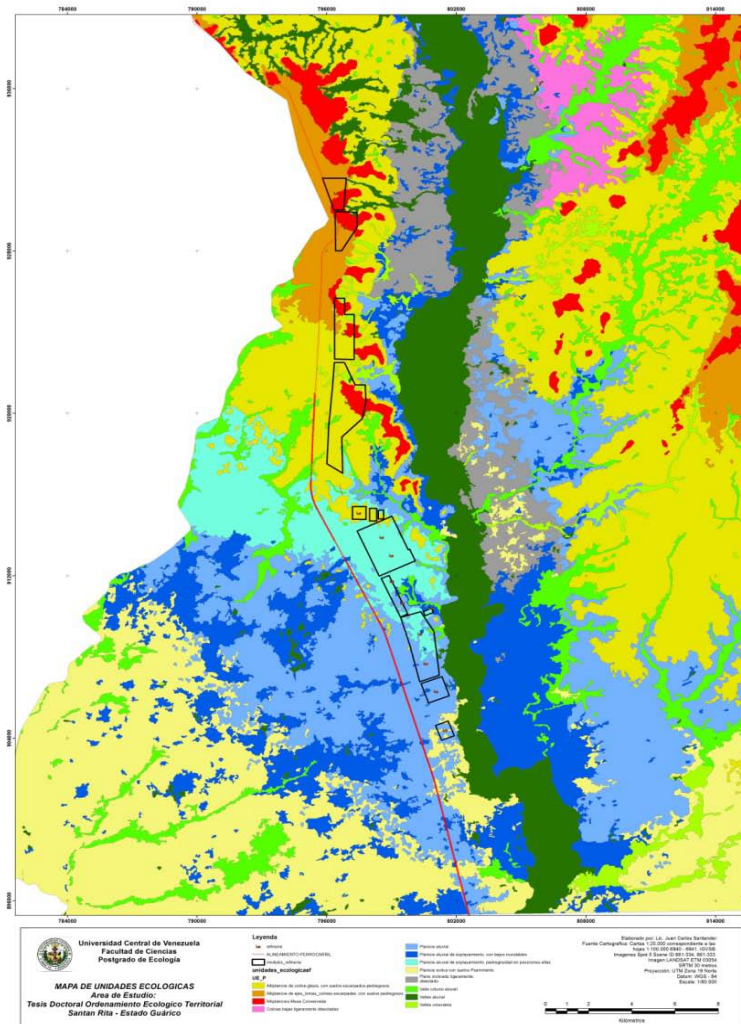


Figura 38. Conflictos de usos existentes en el Área

En este sentido se descarta la posibilidad del establecimiento de una refinería en el área estudiada y se propone como uso alternativo el desarrollo de la actividad agroturística, con el objetivo de acentuar el interés por conocer las actividades propias de los predios agrícolas y ganaderos, la vida animal y vegetal del ambiente rural y conservar los ecosistemas presentes.

En la figura 39 se muestran los usos propuestos para cada una de las unidades ecológicas de ordenamiento acorde a los indicadores y criterios de conservación para cada zona, las cuales fueron identificadas y descritos en el paso anterior.

Vale la pena destacar que el patrón óptimo de ocupación del territorio obtenido mediante la EMC representa tan sólo la base sobre la cual los sectores pueden empezar a negociar para solucionar o evitar conflictos ambientales y sociales. Esto se debe a que sectores con actividades incompatibles pueden estar asentados en una misma zona desde tiempos anteriores a la realización del estudio de ordenamiento.

En la realidad no es posible “mover” sectores previamente asentados en las diferentes zonas. El mapa resultante debe interpretarse más bien como una guía que orientar las actividades de desarrollo y las inversiones públicas y privadas, en el sentido que favorezca a todos, ya que representa los intereses sectoriales de la manera más justa y su observancia promete evitar o resolver conflictos ambientales.

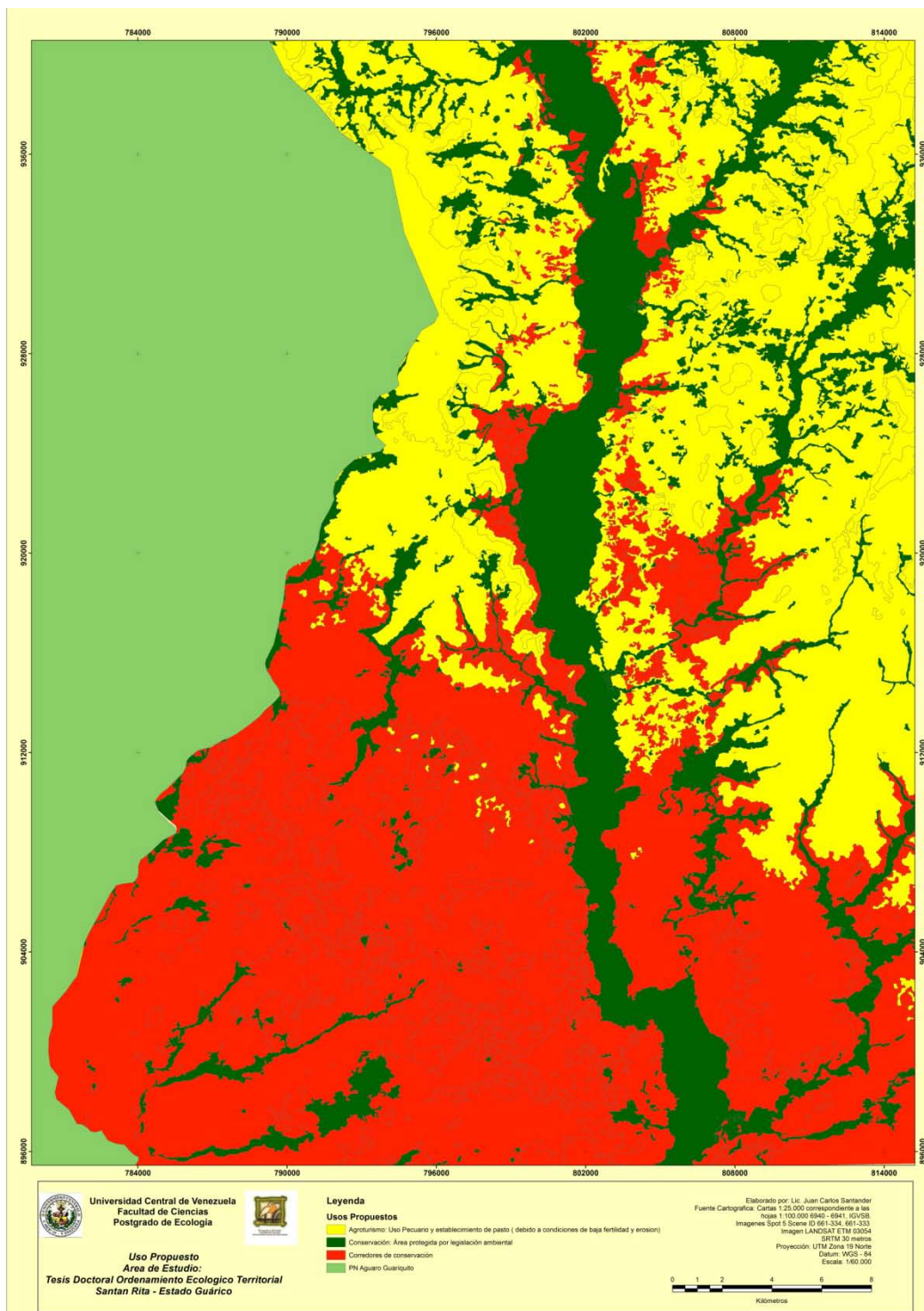


Figura 39. Usos propuestos para el área de estudio

6. Consideraciones finales

La meta de esta metodología es presentar una alternativa de trabajo donde la concepción del ambiente sea dinámica y no estática, con base en la teoría de sistemas y la ecología de manera que los planes de ordenamiento respondan a criterios sistémicos, ecológicos y cuantitativos a la hora de definir los usos; se enmarca en el contexto de la planificación y gestión sostenible del territorio; y se apoya en Sistemas de Información Geográfica (SIG), Teledetección, Inteligencia artificial (IA) (Redes neuronales (RN) y Logica borrosa).

Esta metodología hace hincapié en la importancia que tiene, la forma del relieve, la topografía, la inclinación de la pendiente, la orientación, la posición de pendiente, suelo y vegetación, como criterios clave para diferenciar las unidades de nivel inferior en el sistema. Parte del enfoque sistémico y la ecología del paisaje, lo que facilita el análisis del territorio partiendo de la información ya existente, lo que reduce los costos de levantamiento de información en campo.

Con este procedimiento metodológico se intenta mejorar el problema de la subjetividad de los grupos de evaluadores, cuya experiencia es valiosa, pero no deja de ser sesgada, por lo tanto la implementación de procedimiento e instrumentos con criterios cuantitativos representan una herramienta alternativa para la delimitación de unidades ecológicas, las cuales pueden ser validadas y complementadas por el juicio de expertos. Mucho de los mapas convencionales donde se delimitan unidades ecológicas tienen costos entre \$ 10, 50 y \$ 100 CAD por hectárea, pero en la mayoría de los casos ninguno ha sido capaz de predecir clases ecológicas exactas, con un nivel de precisión igual, o superior, a la delimitación de unidades ecológicas utilizando criterios cuantitativos basados en la geomatica y la inteligencia artificial, cuyo costo son mucho menor.

En Venezuela la generación de información actualizada es baja, por lo que esta propuesta está basada en la información existente, y en la generada de manera

automatizada en el marco de esta investigación, ya que el levantamiento en campo además de ser costoso necesita tiempo y esfuerzo. Es por ello, que es importante contar con la información necesaria para su aplicación además de las técnicas y programas requeridos. Esta metodología es de carácter flexible, por lo tanto su uso puede adaptarse a las distintas condiciones territoriales y escalas de trabajo. Además de considerar el conocimiento técnico, los criterios cuantitativos como lo es la geomatica y las técnicas de inteligencia artificial así como el juicio de valor de profesionales y especialistas, es necesario contar con las percepciones de los usuarios del paisaje. Por lo tanto, la implementación de este tipo de metodología, permite la generación de mapas de unidades ecológicas no solo a un menor costo sino en un menor tiempo, lo que representa una alternativa útil. Esta metodología es completamente replicable en otros territorios de similares características, en cuyo caso la principal limitante sería la información existente del área, la escogencia de las variables y los pesos asignados a cada una de ellas.

A través del análisis estadístico como viene a ser el análisis de correspondencia canónico, se evidencio la relación existente dentro del subsistema natural a través de las relaciones geomorfología-suelo- vegetación. La geomorfología determina el tipo de suelo presente y este a su vez la cobertura vegetal. El desarrollo industrial de la actividad petrolera en el área de estudio, podría estar acompañado con un aumento en la densidad poblacional y demanda de servicios básicos (subsistema social y sub sistema institucional), lo cual no solo alteraría las relaciones existentes entre los componentes bióticos de los ecosistemas (subsistema natural), sino que impactaría de forma muy negativa en estos ecosistemas, aumentado la presión sobre ecosistemas protegidos como los existentes en el parque nacional Aguaro–Guariquito, en los bosque siempre verdes ribereños y los morichales asociados a los valles y vallecitos.

Los análisis multitemporales a través de la teledetección espacial así como la capacidad indicadora de la vegetación, reconocida en numerosos estudios hace evidente en esta investigación que las técnicas aplicadas adquieren un elevado potencial para este tipo de táreas. Ya que permiten realizar recomendaciones con criterios ecológicos y tomar las medidas necesarias para compatibilizar la

conservación de la biodiversidad con el mantenimiento de los usos tradicionales y definición de nuevos usos sin amenazar su actual estado de conservación.

Debe advertirse que el patrón óptimo de ocupación del territorio obtenido mediante la metodología expuesta representa tan sólo una base sobre la cual los sectores pueden empezar a negociar para solucionar o evitar conflictos ambientales y sociales. Lo anterior es así, debido a que sectores con actividades incompatibles pueden estar asentados en una misma zona desde tiempos anteriores a la realización de la del ordenamiento. Esto significa que en la realidad no es posible “mover” sectores previamente asentados en las diferentes zonas. El mapa resultante debe interpretarse más bien como una guía que orienta los compromisos y las inversiones privadas, en el sentido que más conviene a todos, ya que representa los intereses sectoriales de la manera más justa y su cumplimiento para apuntar a evitar o resolver conflictos ambientales.

La gestión ambiental como dimensión esencial del desarrollo sostenible demanda políticas públicas modernas acompañadas de conocimientos e instrumentos interdisciplinarios lo que implica un reto sociopolítico de gran envergadura al estar marcada por el conflicto de intereses de múltiples actores económicos.

Con la aplicación de las técnicas de evaluación multicriterio y los sistemas de información geográfica se puede realizar una valoración sobre la capacidad del territorio en relación con ciertas funciones o actividades, que se seleccionan como objetivos concretos de la evaluación, ya que los SIG juega el papel esencial en el proceso de superposición de componentes y posterior trazado de las unidades homogéneas resultantes.

El resultado de los análisis de la evaluación multicriterio y el uso de sistemas de información geográfica brinda información geográfica útil para los encargados de tomar decisiones conflictivas acerca del uso de la tierra. Lo cual pone en evidencia la fortaleza de la técnica, sin embargo, utilizar esta metodología como única técnica para la toma de decisiones, puede ser una desventaja, ya que dicha

evaluación es solo uno de los varios instrumentos disponibles en la toma de decisiones acerca del uso de la tierra.

La importancia de la delimitación de unidades ecológicas y la asignación de usos para una localidad, es tal, que los organismos públicos o gubernamentales, deberían cumplir con la legislación ambiental vigente y poner en marcha acciones que permitan minimizar el impacto ambiental que ciertos planes o proyectos ocasionan sobre el paisaje así como hacer el debido seguimiento, especialmente cuando se trata de tomar decisiones frente a propuestas de instalaciones industriales como lo representa la instalación de una refinería de petróleo.

En los procesos de planificación y ordenación territorial no existe ninguna receta que pueda ser válida para todas las situaciones. Es por ello que los instrumentos de ordenación podrán funcionar o no dependiendo del área y la situación así como la escala de trabajo. Por lo que se hace necesario contar con metodologías que puedan ser aplicadas en cualquier área y a cualquier escala de trabajo.

7. CONCLUSIONES

- La metodología de delimitación de unidades ecológicas utilizando criterios cuantitativos facilita el análisis del territorio. Tiene como principio el uso de la información ya existente, con el fin de reducir los costos de levantamiento de información en campo.
- El uso de criterios cuantitativos como la geomática y la inteligencia artificial a través de las redes neuronales y la lógica borrosa, representan una herramienta para la delimitación de unidades ecológicas las cuales pueden ser validadas y complementadas por el juicio de expertos, eliminando así el problema de la subjetividad de los grupos de evaluadores, cuya experiencia es muy representativa, pero no deja de ser sesgada y sus normas y procedimientos no son siempre consistentes, replicable o rigurosamente documentado, además se necesita tiempo para aplicarlo, y pueden estar propenso a errores.
- Desde el punto de vista metodológico, el empleo de las redes neuronales artificiales y los sistemas de información geográfica han sido fundamental para gestionar y tratar de forma operativa, volúmenes importantes de información geográfica, ya que la actualización de la cartografía ambiental es difícil, debido a los costos operativos que implica el levantamiento de información en campo. La combinación de estos criterios cuantitativos, permite usar información almacenada en un SIG, las cuales se someten a procedimientos de agrupamiento neuro borrosos automatizados.
- Las unidades ecológicas resultantes de la aplicación de la geomática y las redes neuronales se caracterizan por su homogeneidad en los atributos morfométricos, físicos y biológicos, dichas unidades son definidas, descritas y cartografiadas con el fin de lograr la asignación de un uso acorde a sus realidades ecológicas y conseguir un equilibrio entre la conservación de la naturaleza y el desarrollo socioeconómico.

- Desde la visión sistémica del ambiente, dentro del subsistema natural se evidencia las relaciones geomorfología -suelo-vegetación, donde la geomorfología determina los tipos de suelo presentes y estos a su vez la cobertura vegetal. Las formas estructurales de las sabanas de la cuenca del Orinoco están asociadas con los cambios en las características edáficas y geomorfológicas.
- Los análisis multitemporales usando imágenes de satélite permiten cuantificar indicadores ambientales, sobre un territorio dado, los cuales sirven para labores de predicción, prevención, determinación de escenarios futuros, monitorización de ciertos elementos de los sistemas ecológicos así como la estimación del cambio producido en las diferentes clases de uso/ocupación de la tierra.
- La superficie de bosque ribereño y morichales es un indicador potencial de conservación y de sostenibilidad de los ecosistemas existentes en el área, debido a las bondades que ofrece no solo por ser cuantificable y cartografiable sino que representa uno de los ecosistemas más complejos y frágiles del área.
- La geomática, integrada con las técnicas de evaluación multicriterio (EMC), adquiere gran importancia en estudios de análisis territorial. De hecho, aplicar la sumatoria lineal a través del álgebra de mapas en problemas de objetivo simple y múltiples criterios, como ocurre en el presente caso, genera valiosa información que ayuda a la toma de decisiones, particularmente en problemas de asignación de actividades y gestión territorial.
- El resultado del análisis de la evaluación multicriterio y el uso de los SIG brinda información geográfica útil para los encargados de tomar decisiones acerca del uso de la tierra. Lo cual pone en evidencia la fortaleza de la técnica, sin embargo, utilizar la evaluación multicriterio como única

herramienta para la toma de decisiones, puede ser una desventaja, ya que dicha evaluación es solo uno muchos instrumentos disponibles en la toma de decisiones acerca del uso de la tierra.

- La drástica reducción de cobertura vegetal, para el establecimiento de agricultura complementaria, ganadería extensiva, y la actividad petrolera, son las mayores amenazas que enfrenta este tipo de ecosistema.
- No se recomienda la posibilidad del establecimiento de una refinería en el área estudiada y se propone como uso alternativo el desarrollo de la actividad agroturística, con el objetivo de acentuar el interés por conocer las actividades propias de los predios agrícolas y ganaderos, y conservar los ecosistemas presentes.
- Se pueden presentar opciones de decisión política que tomen en cuenta los posibles impactos del emplazamiento de la refinería, con las correspondientes medidas de ingeniería para mitigarlos, lo que permitiría considerar escenarios de asignación de uso para la actividad petrolera en el area de estudio.
- Con la metodología aplicada en este trabajo se ha mostrado una nueva alternativa para los estudios de ordenamiento territorial con base en la teoría ecológica y la aplicación de técnicas basadas en criterios cuantitativos, lo cual constituye un aporte significativo en el aspecto metodológico que permitiría solvetar problemas urgentes para la ordenación territorial y el desarrollo de la industria petrolera en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. A. Azocar y E. González-Jiménez (eds). 2003. Biodiversidad en Venezuela. Tomo II. Fund. Polar-Fonacit: 543-1076.
- Alcaldía Municipal, 2009. Ordenamiento Territorial en Comalapa. Republica de Nicaragua América Central <http://www.google.com/> La Ordenamiento Territorial como un instrumento para la Gestión Ambiental, consulta 27 de enero 2011.
- Alvino, S., Sessano, P.2008. La educación ambiental como herramienta para el ordenamiento territorial: una experiencia de política pública. *Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008. Actas del X Coloquio Internacional de Geocrítica, Universidad de Barcelona, 26-30 de mayo de 2008.* <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/116.htm>.
- Andrade, A. 1994. La zonificación ecológica como base para el estudio integral del paisaje y la planificación del uso de las Tierras. Rev. SIG-PAFC Año 1. No. 2 de 1994.IGAC, Bogotá. Colombia.
- Andrade, A. 2004. Lineamientos Para La Aplicación Del Enfoque Ecosistémico A La Gestión Integral Del Recurso Hídrico Con la colaboración de: Fabián Navarrete Le Blas Serie Manuales de Educación y Capacitación Ambiental Primera edición: 2004 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA - Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Red de Formación Ambiental Boulevard de los Virreyes 155, Colonia Lomas de Virreyes 11000, México D.F., México. Consulta en línea (26 de Enero 2010).
- Anzola. A, 2003. La Política Territorial en el Marco Jurídico Institucional. Compendium .P18.
- Arrellano D., 2002. El enfoque ecosistémico para el desarrollo sostenible mediante la promoción de sinergias en la escala nacional. Ingeniería hidráulica y ambiental, vol. xxiii, no. 2, 2002. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd19/collazo/enfecosi.pdf>
- Asamblea Nacional Constituyente. 1999. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, Caracas-Venezuela.
- Asamblea Nacional Constituyente.2000. Ley de Asignaciones Especiales (LAEE) República Bolivariana de Venezuela .Gaceta Oficial RBV N° 37.066.
- Asamblea Nacional Constituyente.2006.Ley Orgánica del Ambiente República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 5833 Extraordinario. República Bolivariana de Venezuela.
- Asamblea Nacional Constituyente. 2014. Ley del plan de patria 2013-2019.Caracas-Venezuela.

- Ataroff, M. & Sarmiento, L. 2003. Diversidad en Los Andes de Venezuela. I Mapa de Unidades Ecológicas del Estado Mérida. CD-ROM, Ediciones Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela
- Banko, G., 2001. Assessing and monitoring the nature protection value of European landscapes using remote sensing and GIS tools, Space and Time - GIS and Remote Sensing Conference, Sopron. Hungary, pp. 11.
- Barredo C., J.I.1996. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación multicriterio en la Ordenación del Territorio. Edit. Ra-ma. Madrid.
- Basogain X., Olabe M., Espinosa K., Rouèche C. and Olabe J.C. 2006. "Engineering Courses on Line: International Collaborative Project". IADAT-e2006: 3rd International Conference in Education. Proceedings of congress, pages 87-90. Barcelona ISBN: 84-933971-9-9. IADAT-e2006, CD-ROM Proceedings ISSN: 1885-6403.
- Beard, J. S. 1944. Climax vegetation of tropical America. Ecology 25: 127-158.
- Beard, J. S. 1955. The classification of Tropical American vegetation-types. Ecology 36:89-100.
- Bailey, R. 1983. Deliniation of Ecosystem Regions. Environmental Management, Vol. 7, N° 4, pp. 365-373
- Beneitez López; J. M.; Montero Serrano; J.; Martínez de Anguita; P.2006. Metodología para la definición de unidades territoriales de gestión como instrumento operativo para la toma de decisiones territoriales. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. Pág. 1373-1385. http://www.age-tig.es/docs/XII_3/101%20-%20Beneitez%20Lopez%20et%20al.pdf
- Bennett SW, Uribe A y Cano Vicario., A. 2006. Planificación y gestión ambiental integrada en programas de desarrollo económico. <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/eco/015773/015773-01c.pdf>
- Berroterán, J., E. Jaimes, J. Peñaloza y V. González. 1983. Análisis climático de la región Centro-Meridional del Estado Guárico. Síntesis Geográfica, 8(14):37
- Berroterán, J.L. 1985. Geomorfología de un Área de Llanos Bajos Centrales Venezolanos. Enfoques con fines de estudio de suelos y Vegetación a escala pequeña. Boletín de la sociedad Venezolana de Ciencias Naturales 143:31-77
- Berroterán, J. 1988. Paisajes ecológicos de sabanas en Llanos Altos Centrales de Venezuela. Ecotropicos, Vol.1 (2): 92-107.

- Berroterán J. 1994. Ecología de sistemas nativos y agroecosistema maíz en los Llanos Altos Centrales. Tesis Doctoral, Fac. de Agronomía, UCV. Maracay. Venezuela 445p
- Berroterán, J. 1997. La importancia de los suelos en la distribución de los tipos de vegetación en los llanos altos de Venezuela. *Acta Biol. Venez.* Vol.17 (4):15-21.
- Berroterán J. 2004 a. Reserva Forestal Imataca Ecología y Bases Técnicas Para El Ordenamiento Territorial. Fundambiente Fondo Editorial. Caracas – Venezuela.
- Berroterán, J. 2004 b. Propuesta para la formulación de un proyecto de análisis, conservación, manejo y planificación de sistemas ecológicos a nivel nacional. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Viceministerio de Conservación Ambiental. 6 pp. Caracas – Venezuela.
- Berroterán, J. L. 2001. Enfoque metodológico de ordenamiento ecológico <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/338/Berroteran.pdf> citado el 16 de enero 2013.
- Bocco G., Mendoza, E., Velázquez A; Torres A. 1999. La regionalización geomorfológica como una alternativa de regionalización ecológica en México. El caso de Michoacán de Ocampo. *Investigaciones Geográficas, Boletín* 40.
- Bocco, G y M.E. Mendoza, 1999. La regionalización geomorfológica como base geográfica para el ordenamiento del territorio: una revisión bibliográfica. Impreso en: Instituto de Geografía, Univ. Nal. Autón. México. Serie Varia (5): 25 - 55.
- Bravo-Oviedo A. y Kindermann G. 2004. Modelización De Sistemas Ecológicos Mediante Redes Neuronales .Cuad. Soc. Esp. Cien. For. 18: 311-316.
- Bryce, S. y S. Clarke. 1996. Landscape-level ecological regions: linking state-level ecoregion frameworks with stream habitat classifications. *Environmental Management*. 20(3): 297-311
- Botero, P.J. 1996. Aproximación Conceptual a la Zonificación Ambiental. Caso Apaporis-Tabatinga Presentado al Primer Simposio Nacional de Ecología del Paisaje. IDEADE - IGAC - IAVH, Bogotá, Colombia.
- Bustillos, R. L. 2011. Una propuesta metodológica para diseñar planes de ordenamiento (planes de vida) en territorios indígenas como herramienta de gestión territorial *Revista Venezolana de Gestión Pública* 2 Año 2 No 2 Universidad de Los Andes Mérida-Venezuela Enero-Diciembre <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/gestionpublica/article/download/3962/3796>.

- Burroughs, P.P. & Mc Donnell, R.A. 1998, Principles of GIS, Oxford University Press, pp. 299. https://www.researchgate.net/profile/Rachael_Mcdonnell2/publication/37419765_Principle_of_Geographic_Information_Systems/links/00b4953194351c441f000000.pdf citado el 2 de abril de 2016.
- Capra, F.1996. *La Trama de la vida: una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Editorial Anagrama, Barcelona. España
- Carranza R. D.2008. Aplicación De La Lógica Difusa Para La Ubicación De Especies Faunísticas Y Florísticas, Y Su Comparación Con Otros Métodos Geoestadísticos <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/791/1/T-ESPE-017763.pdf> citado el 12 de diciembre de 2015.
- Cervantes J y Gómez R. 2007. El Ordenamiento Territorial Como eje de Planeación de Proyectos de Turismo Sustentable *Ciencias Sociales Online*, julio 2007, Vol. IV, No. 2 (103-118) Universidad de Viña del Mar-Chile.
- Chacón, E. 1999. Patrones fenológicos de vegetación de los Llanos del Orinoco, Venezuela, a través de análisis de series de tiempo de imágenes NOAA. Memorias del VII Conferencia Iberoamericana sobre Sistemas de Información Geográfica, Mérida, CD-ROM.
- Chacón N, Dezzeo N, Flores S. 2007. Caracterización florística, estructural y edafológica de los bosques, morichales y sabanas ubicados en el área comprendida entre los ríos Sariapo y Ature, sur del Estado.
- Chacón-Moreno E, Ulloa A, Tovar W, Márquez, T C., Sulbarán-Romero E y Rodríguez-Morales M. 2013. Sistema De Clasificación Ecológico Y Mapas De Ecosistemas: Enfoque Conceptual-Metodológico Para Venezuela Ecotrópicos 26(1-2):1-27
- Chávez .H, 2013. Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación, 2013-2019.
- Chiavenato, I, 1992. Introducción a la Teoría General de la Administración. 3ra. Edición. Edit. Mc Graw.
- Chuvieco, E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. 3ª Edición. Rialp.
- Ciminari, M.; Jurio, E.; Torrens C., 2003. Los sistemas de información geográfica: Una Herramienta Eficaz Para El Análisis Ambiental. Primer Congreso De La Ciencia Cartográfica Y Viii Semana Nacional De Cartografía, Buenos Aires 25-27- Junio-2003
- Clarke, S., D. White, y A. Schaedel. 1991. Ecological regions and subregions for water quality management. *Environmental Management*. Vol. 15, N° 6, pp. 847- 856. Oregón, Estados Unidos de América.
- Colonnello G y D. Salas-Dueñas.2004. El Ordenamiento Territorial Y Los Humedales. Publicado originalmente en: Cirelli, Fernández y Di Risio. (ed.). El Agua en Iberoamérica. Calidad del agua y manejo de

- ecosistemas acuáticos. Cyted-XVII. Aprovechamiento y Gestión de los Recursos Hídricos. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Pág.:51-64. Buenos Aires. 270p.
- Comerma G, Juan A. 2009. Suelos mal drenados en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 59(1), 25-32. Recuperado en 10 de abril de 2017, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000100003&lng=es&tlng=es.
- Consultores Venezolanos de Evaluación Agrícola y Sistemas de Información Ambiental C.A. 2014. Informe de la Caracterización de Bloque 8 del Sector Boyacá FPO, Edo. Guárico. Mapas de Taxonomía de Suelos.
- Coplanarh. 1974. Estudio Geomorfológico de los Llanos Centro Orientales. Publicación Número 41. Caracas. Venezuela.
- Cooper, A. 1981. The origin and stability of tropical edaphic savanna on Groundwater podzols in Guyana. *Tropical ecology*. 22 (1): 99-115.
- Cuellar 2008. Avances de Diálogo Ordenamiento territorial y cambio climático en Nuevos desafíos para la gestión gobernabilidad territorial Ordenamiento territorial y cambio climático en Centroamérica: Nuevos desafíos para la gestión y la gobernabilidad territorial. Fundación Prisma. www.prisma.org.sv/uploads/media/ordenamientoT_01.pdf
- De Leo, G. A., and S. Levin. 1997. The multifaceted aspects of ecosystem integrity. *Conservation Ecology* [online] 1(1): 3. Available from the Internet. URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art3/>. Consulta en línea (26 de Enero 2010).
- De Pablos C. L. y Pineda F. D. 1985. Anales de Geografía de la Universidad complutense, núm. 5. Ed. L Univ. Complutense. <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/download/AGUC8585110235A/32103>.
- Delgado, D. 2007. Sistemas complejos y desarrollo territorial. Un enfoque para el desarrollo de la Agroecología. *Rev. Bras. de Agroecologia/out*. Vol.2.No.2.www.territorioscentroamericanos.org/redesar/Agricultura%20y%20Ambiente/Desarrollo%20Territorial%20y%20Agroecolog%C3%ADa.pdfConsulta el línea (11 de Febrero. 2010).
- Dezzeo, N, Flores, S, Zambrano-Martínez, S, Rodgers, L, & Ochoa, E. 2008. Estructura y composición florística de bosques secos y sabanas en los Llanos Orientales del Orinoco, Venezuela. *Interciencia*, 33(10), 733-740. Recuperado en 16 de octubre de 2016, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008001000007&lng=es&tlng=es.
- Dikau, R., Brabb, E. E., Mark, R. K., Pike, R. J. (1995). *Morphometric*

- landform analysis of New Mexico. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 101 (Pike, R. J., Dikau, R., eds. Advances in Geomorphometry), 109 – 126.
- Erdas. 1999. Erdas field guide. Fifth edition, revised and expanded. Erdas Inc., Atlanta Georgia, USA. 698 pp.
- Elizalde, G. 1983. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Primera aproximación Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay. Incluido también en Pernía (1989).34 p.
- Elizalde, G. 2012. Clasificación sistemática de paisajes. Propuesta de un marco conceptual. A Systematic classification of landscapes. A proposed framework Elizalde, Venesuelos 19:23-43
- Espejel, I., Fischer, D.W., Hinojosa, A., Garcia, C. and Leyva, C.1999. Land-use planning for the Guadalupe Valley, Baja California, Mexico. Landscape and Urban Planning, 45(4): 219-232
- Etter, A. 1994. Experiencias de Zonificación en Colombia: Caracterización Ecológica General y de la Intervención Humana en la Amazonia Colombiana. Zonificación Ecológica-Económica: Instrumento para la conservación y el Desarrollo Sostenible de los Recursos de la Amazonia. Memorias de la reunión Regional realizada en Manaus, Brazil. Tratado de Cooperación Amazónica. 83-109 pp. . Lima-Perú
- Failde. V. 2010. *El Ordenamiento Territorial y la Biodiversidad. Grupo de Recursos Naturales. Ordenamiento Territorial INTA EEA Salta*.www.inta.gov.ar/.../ot/EI%20OrdenamientoTerritorialylaBiodiversidad.pdf
- Fariñas, M.R., 1996. Análisis de la vegetación y de sus relaciones con el ambiente mediante métodos multivariantes de ordenamiento. Postgrado en Ecología Tropical.
- Ferrol Viscaino J. (S/F). Ordenación del territorio desde una óptica ecológica .Una aproximación al plan especial de protección del medio físico de la provincia del almeira Documento PDF Consulta en línea (10 de Febrero 2010).
- Forman, R. y Godron, M. 1986. Landscape Ecology. Jhon Wiley & Sons, New York. Estados Unidos de América. 618p.
- Gabatel, A. 2008. Desarrollo Del Agroturismo En Venezuela. Realidad O Utopía-Agroturismo en Venezuela - ACADEMIA – Trujillo – Venezuela – ISSN 1690-3226- Enero – Junio. Vol. VII. (13) 2008 - 95 - 102 <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/academia/article/view/6033>. Citado 2 de abril de 2017.
- Galavis J A y Velarde H M. 1967. *Geological study and preliminary evaluation of potential reserves of heavy-oil of the Orinoco tar belt, Eastern Venezuelan basin*. Proceedings, 7 th World Petroleum Congress (Ciudad de México), 1, 229-234

- Gallopín, G.C., S. Funtowicz, M. O'Connor and J. Ravetz. 2001. "Science for the 21st Century: from Social Contract to the Scientific Core". *Int. Journal Social Science* 168: 219-229.
- Gallopín, G.C. 2006. *Sostenibilidad del Desarrollo en América Latina y el Caribe: cifras y tendencias Honduras*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos Copyright © Naciones Unidas, noviembre de 2006. Todos los derechos reservados Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Glifo N. 1982. Medio Ambiente en La Planificación Latinoamericana: Vías Para Una Mayor Incorporación E/CEPAL/ILPES/R.46 <http://archivo.cepal.org/pdfs/1982/S8200052.pdf> f citado el 15 de septiembre de 2016.
- González de Juana, C.; Iturralde de Arozena J. M. y Picard Cadillat, X. 1980. *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. 2 tomos, ed. Foninves, Caracas, 1031 p.
- González F. 1997. *El Desafío Ambiental del Municipio. Análisis de las competencias municipales en materia ambiental*. Universidad de los Andes. Centro Iberoamericano de estudios Provinciales y Locales (CIEPROL) Comisión de estudios de pregrado. Litorama 256 PP
- González, V. 1987. *Los Morichales de los Llanos Orientales. Un enfoque Ecológico*. Ediciones Corpoven. Caracas. 56 p.
- González, V. 1991. *Caracterización fisionómica y florística de la vegetación de sabana en las zonas de mayor incidencia del Síndrome Paraplégico de los Bovinos en los Estados Guárico, Bolívar y Apure*. 148 p. PDVSA – IZT. Facultad de Ciencias. UCV. Caracas.
- Gudynas, E. y Evia, G. 1993. *Ecología Social. Manual de metodologías para educadores populares*. Editorial Popular. Madrid. Nº Pag. 195.
- Hair, JF Anderson R.E; Tatha, R L Black W.C. 1999. *Análisis Multivariante*. Prentice Hall Iberia Madris.
- Hebb, D.O. 1949. *The Organization of Behavior*. Wiley, ed New York.
- Hernández M, M.; Guillén C., M. L.; Meroño De L., J. E.; Cruz F., J. L.; Aguilera U., M. J. 2006. *La Planificación Sostenible a través del SIG y La Teledetección el acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas* pág. 1593-1606.
- Hilera J.R y Martínez J. 1995. *Redes Neuronales artificiales. Fundamentos modelos y aplicaciones*. R.A-M.A Madrid.
- Hudson, B. D. 1992. *The soil survey as paradigm based science*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 836-841.
- Instituto Nacional de Ecología. 2007. *Principios Generales sobre manejo de ecosistemas*. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM,

Campus Morelia, A.P. 27-3 Morelia, Michoacán, 50890.<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/395/maass.html>. Consulta en Línea (2 de Febrero de 2010).

Instituto Nacional de Estadística. 2011. Informe geoambiental del estado guarico,http://www.ine.gov.ve/documentos/Ambiental/PrincIndicadores/pdf/Informe_Geoambiental_Guarico.pdf Citado el 5 de septiembre 2016.

Janssen, M. A. 2001. An immune system perspective on ecosystem management. *Conservation Ecology* 5(1): 13. [Online] URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss1/art13/> Consulta en línea (26 de Enero 2010).

Jenny H. 1941. Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology. Ed. Mc. Graw-Hill, USA. 281 p.

Jiménez H Luís M. 2002. la sostenibilidad como proceso de equilibrio dinámico y adaptacional cambio. *ice desarrollo sostenible*. junio-julio 2002 número 800.

Kammerbauer, J.2001. Las dimensiones de la sostenibilidad: Fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos. *INCI*. [Online]. ago. 2001, vol.26, no.8 [citado 07 Febrero 2010], p.353-359. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442001000800006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0378-1844.

Kohonen, T., 1988. An introduction to neural computing. *Neural Networks*, 1(1), pp. 3-16.

Lasso, C. A.; Rial, A.; Matallana, C.; Ramírez, W.; Señaris, J.; Díaz- Pulido, A.; Corzo, G.; Machado-Allison, A. (Eds.). 2011. Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. II Áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, WWF Colombia, Fundación Omacha, Fundación La Salle de Ciencias Naturales e Instituto de Estudios de la Orinoquia (Universidad Nacional de Colombia).Bogotá, D.C., Colombia. 304 pp.

Lárez A y Prada E.2011. Adiciones A La Flora De Los Llanos Venezolanos. *Flora de los llanos venezolanos*. ERNSTIA 21 (2) 2011: 139-154.

Lau P.2008. Patrones de utilización de los hábitats por parte de las aves, en una región de sabanas bien drenadas de los llanos orientales en Venezuela. *Ecotrópicos* 21(1):13-33 2008.

Lentino M, D Esclasans y F Medina. 2005. Áreas importantes para la conservación de las aves en Venezuela. Pp. 621–730 en BirdLife-International y Conservation International (eds).Áreas Importantes para la Conservación de las Aves en los Andes Tropicales: Sitios

Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad. BirdLife International, Quito, Ecuador.

- Linares, O.J. 1998. Mamíferos de Venezuela. Sociedad Conservacionista Audubon de Venezuela, Caracas. 691 pp.
- López, J., Giordani J y H. Castellanos. 1995. Vigencia y perspectivas de la Planificación en Venezuela. CENDES colección jorge ahumada Caracas-Venezuela.
- López, A. y F. Cox. 1977. A survey of fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. Soil Science 41:742-747.
- López-Blanco, J. y L. Villers-Ruiz. 1995. Delineating boundaries of environmental units for land management using a geomorphological approach and GIS: A study in Baja California, México. Remote Sens. Environ. 53: 109-117. Ludwig, J. A., J. F. Reynolds. 1988. Statistical ecology. John Wiley and Sons, New York, 337 pp.
- MacMillan, R.A, Torregrosa A., Moon, D. Coupé R and Philips N. 2009. Chapter 24 Automated Predictive Mapping of Ecological Entities. Geomorphometry Concepts, Software, Applications Elsevier B.V. All rights reserved.
- Mc Bratney, A. B., Mendonça, M. L., Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117: 3-52.
- Madi Y, Vázquez J, León A y Rodríguez J. 2011. Estado De Conservacion De Los Bosques Y Otras Formaciones Vegetales En Venezuela. BioLlania Edición Esp. 10:303-324.
- Malczewski 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley & Sons. Nueva York. 392 pp.
- Mareco E. 2001. Las Relaciones y La Realidad. Revista de Postgrado de la V la Cátedra de Medicina. N° 105 - Junio/2001 Página: www.med.unne.edu.ar/revista/revista105/relaciones.html. Consulta en línea (10 de Febrero 2010).
- Mareco E. 2009. Sistemas. Revista de Postgrado de la V la Cátedra de Medicina. N° 195 – Octubre 2009 www.med.unne.edu.ar/revista/revista_195/1_195.pdf. Consulta en línea (10 de Febrero 2010).
- Marín G, Bastidas L, Muñoz J, Oliveros O, Navarro R, Marcano B (2007) Perfil ecológico de la avifauna de los Llanos Orientales de Venezuela en función de los impactos antrópicos. Interciencia 32: 391-398.
- Massiris, A. 2002. Ordenación del territorio en América Latina. Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales, Universidad de Barcelona, vol. VI, núm. 125, "http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-125.htm" [ISSN: 1138-9788].

- Mateo, J. 2000. Geografía de los Paisajes (3 partes) Universidad de La Habana (inédito) 436 pp.
- Medina, E. 1984. Nutrient balance and physiological processes at the leaf level. Editado por E. Medina, H. Mooney y C. Vázquez-Yáñez. En: Physiological Ecology of Plants of the Wet Tropics. Ed. Dr W. Junk Publishers. La Haya, Holanda. pp. 139- 154
- Méndez V. E, 1999. Ordenamiento Territorial-Ambiental: Desarrollo Responsable Y Sostenible Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Mérida-Venezuela.
- Méndez Vergara E. 2000. Ordenamiento Territorial-Ambiental: Desarrollo responsable y sostenible territorial and ambiental ordering: responsible and sustainable development. Rev. Geog. Venez. Vol 41(2) 281-301.
- Méndez, E. 1990. Gestión ambiental y ordenación del territorio. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 184 p.
- Méndez, E. 2005. Ordenación del territorio y plan de ordenamiento territorial CIDIAT. Universidad de los Andes Mérida. Venezuela.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1982. Sistemas ambientales venezolanos. Región Natural 25 Llanos Disectados Centrales. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela. 398 p.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1985. Inventario Nacional de Tierras Guárico Central-Sur de Aragua TOMO I. Programa Inventario Nacional de Tierras (PINT), Zona 2, Maracay. 159 pp. (Serie de Informes Científicos). DGSIIA/Zona 2/IC/66.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1990a. Inventario Nacional de Tierras: Guárico Central y Sur de Aragua. Programa Inventario Nacional de Tierras. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Tomo I. Serie de Informes Científicos. Maracay, Venezuela. 159p.
- Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1990b. Inventario Nacional de Tierras: Guárico Central y Sur de Aragua. Programa Inventario Nacional de Tierras. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Tomo II. Serie de Informes Científicos. Maracay, Venezuela. 197 p.
- Mogollón, L. Y Comerma, J. (1994). Suelos de Venezuela. Caracas, Venezuela. Ex Libris C.A.
- Montes R, San-José, j y Aymard G. 2013. Flora Y Vegetación Características De La Altiplanicie De Mesa Y Planicie Eólica Del Parque Nacional Aguaro-Guariquito, Estado Guárico, Venezuela. Caldasia 35(2):219-240. 2013 <http://www.icn.unal.edu.co/>

- Morlés, V. 2002. Sobre la metodología como ciencia y el método científico: un espacio polémico. *Revista de Pedagogía*, 23(66), 121-146. Recuperado en 15 de septiembre de 2016, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-97922002000100006&lng=es&tlng=es.
- Monasterio M. y Sarmiento, G. 1975. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America. Editado por F. Golley y E. Medina en: *Ecological Studies* Ed. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, USA. pp. 223-251.
- Muller, F. and Steinhardt, U., 2003. Landscape modelling and landscape analysis. *Ecological Modelling*, 168(3): 215-216
- Naranjo, Z.F.1998. Geografía y ordenación del territorio. Publicado en Barcelona: Íber, Didáctica de las ciencias sociales. Geografía e Historia nº 16, Nuevas fronteras de los contenidos geográficos, p. 19-31.<http://www.ehu.eus/Jmoreno/Archivospot/ordenacionterritorio.pdf> citado el 15 de septiembre de 2016.
- Oecd, 1993. "OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews", EM # 83, OECD, Paris.
- Ojasti, j. 1990.comunidad de mamíferos en sabana neotropicales.pag 259-293 in G Sarmiento (Ed.) las sabanas americanas. Fondo editorial Acta científica de Venezuela. Caracas
- Olaya, V. y O. Conrad, 2008. Geomorphometry in SAGA. In: Hengl, T., Reuter, H.I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Ámsterdam: 293-308
- Olaya V. 2014. Sistemas de Información Geográfica <http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>.
- ONU, 1992. Report of the United Nations Conference on Environment and Development. NewYork: United Nations.Ordenación del Territorio. <http://www.ehu.eus/Jmoreno/ArchivosPOT/CartaEuropeaOT.pdf> citado el 31 de marzo de 2016.
- Ostrom, Elinor. 2009 "A General Framework for Analyzing Sustainability of Social–Ecological Systems". *Science.*, vol. 325, nº5939, 419–422.
- Pdvsa, 2007a. Estudio Socio Ambiental para la Ubicación de la Refinería de Cabruta y la Generación de un Polo de Desarrollo Regional Sustentable. Aspectos Físicos Naturales-Characterización del Medio Físico y Biológico. Petróleos de Venezuela –Fundación UCV.
- Pdvsa, 2007b. Estudio Ambiental Específico para la Microlocalización de la Refinería de Cabruta Estado Guárico.

- Pdvsa 2008. Evaluación de los sistemas ecológicos de la faja petrolífera del Orinoco como base para la ordenación territorial .Volumen 1: Aspectos Físicos.
- Pdvsa, 2010. Informe de gestión anual 2010 de petróleos de Venezuela, s.a.<http://www.pdvsa.com/interface.sp/database/fichero/free/7656/1582.PDF>
- Proyecto Biodiversidad 98003424 Fonacit- Conicit. 2003. Biodiversidad de los Sistemas Nativos y Agroecosistemas de los Llanos Centrales Venezolanos. La Agenda Biodiversidad (UCV-FONACIT).
- Peña, D. 2002. Análisis de datos multivariantes. <http://www.dpye.iimas.unam.mx/lety/archivos/cursoinegi/apoyos/ANALISIS%20DE%20DATOS%20MULTIVARIANTES%281%29.pdf>
- Pineda y De pablo, 1985. Análisis multivariante del territorio para su cartografía ecológica. Ensayo preliminar en la provincia de Madrid.
- Presidencia de la Republica. 1990. Decreto N°. 846, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N°. 34.462. De fecha 5/4/90, mediante el cual se dictan las "Normas para la protección de Morichales"
- Priego Á., Bocco G, Mendoza M y Garrido A. 2008. Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes Fundamentos y métodos. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat) Periférico sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco 04530. México, D.F www.ine.gob.mx.
- Posada, E. 2008. Introducción al Procesamiento Digital. En C. d. (IGAC).
- Posada, E. Ramírez H. Espejo N. 2011. Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE 2011. http://www.un-spider.org/sites/default/files/ManualERDAS_web.pdf citado el 16 de agosto de 2016.
- Qi, F.; A.X. Zhu; M. Harrower; J.E. Burt. 2006. Fuzzy soil mapping based on prototype category theory. *Geoderma* 136: 774-787.
- Quevedo R. Y. 2007. Indicadores ambientales PER para el desarrollo sostenible. <http://www.gestiopolis.com/indicadores-ambientales-per-para-el-desarrollo-sostenible/> citado el 27 de noviembre de 2015
- Qi, F. & ZHU, A.X. 2003. Knowledge discovery from soil maps using inductive learning. *Inter. J. Geogr. Inf. Sci.*, 17:771-795
- Quintela, J. 1995. "El Inventario, el Análisis y el Diagnóstico Geoecológico de los Paisajes mediante el uso de los SIG", (Tesis inédita de doctorado). Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, La Habana-Cuba.

- Ramía M. & Ortiz R. 2006. Relaciones ecológicas en paisajes de sabana en la región Las Mercedes – Cabruta, Estado Guárico. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales 154:62-136.
- Rasemann, S.; J. Schmidt; L. Schrott; R. Dikau. 2004. Geomorphometry in mountain terrain. In: Bishop, M. & J. F. Shroder (Hrsg.): Geographic Information Science in Mountain. Geomorphology, 101-145, Heidelberg.
- Recalde, J. y Zapata, R. 2007. La Ordenación del Territorio Instrumento en la gestión de los Recursos Naturales Serie 2007.
- República Bolivariana de Venezuela. 2007. Proyecto Nacional Simón Bolívar (primer plan socialista) para el desarrollo económico y social de la nación 2007-2013. 45 p.
- República Bolivariana de Venezuela. 2001. Plan de la Nación de Desarrollo Regional, 2001-2007. Despacho del Viceministro de Planificación y Desarrollo Regional.
- República Bolivariana de Venezuela 2002. Decreto N° 1.771, mediante el cual se dicta el Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Zona de Seguridad del Complejo Industrial, Petroquímico y Petrolero de José, «General José Antonio Anzoátegui».
- República de Venezuela. 1983. Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio. Publicada en Gaceta Oficial N° de fecha.
- Rivas F, L. 2008. Ordenación Del Territorio. Importancia A Nivel Municipal. <http://planificacion-publica.blogspot.com/2008/02/ordenacion-del-territorio-importancia.html> citado el 15 de septiembre de 2016.
- Rivera Lombardi, Roberto J., Linares, Iván, Huber, Otto, Padrón, Jorge L., 2006 Propuesta de zonificación de uso del sector occidental del Parque Nacional Canaima. Estado Bolívar. Terra Nueva Etapa [en línea], XXII (): [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2016] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72103204>> ISSN 1012-7089
- Rodríguez Gómez. 1997. Medioambiente, desarrollo y paisaje en las sociedades postindustriales usos, valores, alianzas y conflictos (volumen 1) universidad complutense de Madrid España. <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19972000/S/1/S1036801.pdf>
- Rodríguez, J.P., F. Rojas-Suárez & D. Giraldo Hernández (eds.). 2010. Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 pp.
- Rodríguez. R H. 2010. "La Búsqueda Del Desarrollo Sostenible A Través Del Ordenamiento Territorial: Elementos Para Costa Rica", Revista electrónica "Medio Ambiente y Derecho", ISSN 1.576-3.196, n°. 21,

páginas.http://huespedes.cica.es/gimadus/21/05_la_busqueda_del_desarrollo_sostenible.html citado el 15 de septiembre de 2016.

- Rodríguez-Becerra M y Espinoza G. 2002. Gestión ambiental en América Latina y el Caribe: Evolución, tendencias y principales prácticas. Por: Manuel Rodríguez Becerra y Guillermo Espinoza. David Wilk, (Editor). Banco Interamericano de Desarrollo, Departamento de Desarrollo Sostenible División de Medio Ambiente. Washington. 2002. (Libro completo en PDF) <http://www.manuelrodriguezbecerra.com/gestiona.htm>.
- Ruiz L, A. y Trelles R, N.A. 2003. Ordenamiento Territorial y Sistemas de Información Geográfica. Parte de los resultados corresponden al trabajo de tesis de Maestría desarrollada por la segunda autora en el Laboratorio de Manejo Ambiental del CIAD-Unidad Mazatlán. <http://www.uantof.cl/CREA/papers/paper53.pdf>
- Salinas, E. 1991. Análisis y evaluación de los paisajes en la planificación regional en Cuba. Tesis de doctorado en Geografía, Universidad de la Habana.
- Salinas, E 2005. La Geografía Física y el Ordenamiento territorial en Cuba. Gaceta Ecológica. Julio-Septiembre N°076 Instituto Nacional de Ecología, México pp. 35-51
- Salinas, E. y J. Quíntela .2001. Paisajes y ordenamiento territorial: obtención del mapa de paisajes del estado de Hidalgo en México a escala media con el apoyo de los SIG, Alquiba, Revista de Investigación del Bajo Segura, España Número 7, pp. 517-527.
- Salinas Chávez, E.; Ribeiro, A.F. N. 2017. La cartografía de los paisajes con el empleo de los Sistemas de Información Geográfica: caso de estudio Parque Nacional Sierra de Bodoquena y su entorno, Mato Grosso do Sul, Brasil. Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG). 9 (9) Sección I: 186-205. On-line: www.gesig-proeg.com.ar
- Sanabria, C. 2010. La ordenación del territorio o política territorial en Venezuela. Terra Nueva Etapa [en línea] 2010, vol. XXVI [citado 2011-05-19]. Disponible en Internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=72116276002>. ISSN 1012-7089.
- Santana, M. 2004. Importancia del Ordenamiento Territorial. Actas L. de V. tomo 27.
- Santis Arenas H.2002. Perspectiva de la Geografía. Revista de geografía Norte grande.29Ñ 69-81.www.redalyc.com Consulta en línea 26 de enero 2010).

- Sarmiento, G., Monasterio, M. 1969. Corte Ecológico del Estado Guárico. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales 28 (115-116):83-106.
- Sarmiento, G., Monasterio, M. 1983. Life forms and phenology En: Bourliere, F. (Ed). Ecosystems of the World XIII. Tropical Savannas, Elsevier, Amsterdam, pp. 79-108
- Sarmiento, G. 1984. The ecology of Neotropical Savannas. Harvard University Press.
- Sarmiento, G. 1992. A conceptual model relating environmental factors and vegetation formations in lowlands of tropical South America. Editado por P. Furley, J. Proctor y J. Ratter. En: Nature and dynamics of forest-savanna boundaries. Londres. Inglaterra. 583-601pp.
- San José, J. J., Montes R., Mazorra, M. 1998. The nature of savanna heterogeneity in the Orinoco basin. Global ecology and biogeography letter 7 441-455.
- Sarmiento, G., M. Monasterio, y J. Silva. 1971. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. 1. Las unidades ecológicas regionales. Acta Científica Venezolana 22: 52-61
- Sarmiento, G., Monasterio, M. 1971. Ecología de las sabanas de América tropical, Análisis Macro ecológico de los Llanos de Calabozo. Cuadernos Geográficos N °4. Talleres Gráficos Universitarios. Mérida –Venezuela.
- Saya, P. y C. Rivera. 1991. Interrelaciones Suelo-Vegetación-Geomorfología en una región de los Llanos Altos Centrales. Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela. 245 p.
- Schargel, R. 2005. Geomorfología y Suelos de Los Llanos de Venezuela. Pp. 57-110. Rivas-Martínez En: Tierras Llaneras de Venezuela. J. Hétier y R. López (Eds). IRD-CIDIAT-UNELLEZ. Editorial Venezolana, Mérida. Venezuela
- Schargel, R. 2007. Geomorfología y suelos. En Duno de Stefano R, Aymard G, Huber H (Eds.) *Catálogo anotado e ilustrado de la Flora vascular de los Llanos de Venezuela*. FUDENA-Fund.Polar-FIBV. Caracas, Venezuela. pp. 21-42.
- Schargel, R. 2011. Una reseña de la geografía física de Venezuela, con énfasis en suelos. Biollania (Edic. Esp.) 10:11-26
- Schwartz, M.W., C.A. Brighman, J.D. Hoecksema, K.G. Lyons, M.H. Mills & P.v. Mentgen. 2000 Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. Oecologia, 122, 297-305.

- Semarnat-INE.2002. Marco Metodológico del ordenamiento Ecológico. Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México. www.semarnat.gob.mx.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2006 Manual del Proceso de Ordenamiento Ecológico. ANEXO 6. Métodos para identificar áreas prioritarias de conservación de la biodiversidad para el ordenamiento ecológico. www.semarnat.gob.mx.
- Semeco, A. 2002. La dimensión ambiental an la planificación Territorial Urbana. URBANA. [online]. jul. 2002, vol.7, no.31 [citado 02 Julio 2011], p.007-011. Disponible en la World Wide Web: <http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-05232002000200001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0798-0523. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 120 p. <http://orton.catie>.
- Silva J.F., Monasterio M. & Sarmiento G. 1971. Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. II. El norte del Estado Barinas. Acta Científica Venezolana 22: 61-72
- Silva, J.F. 2003. Sabanas. Pp. 678-695. En: M. Aguilera, A. Azócar & E. González Jiménez (eds.). Biodiversidad de Venezuela. Tomo II. Fundación polar, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Fondo Nacional para la Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT). Editorial ExLibris: Caracas.
- Silva, J.F., Moreno, A. 1993. Land use in Venezuela. En: Young M.D., Solbrig O.T. (Eds). Economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use. MAB Series UK. Vol. 12, pp. 239-258.
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2001). Marcos conceptuales para el desarrollo de Indicadores. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.sinia.net.ni/indicadores.htm>. [Consulta: 2002, Agosto, 12] Leer más: <http://www.monografias.com/trabajos19/indicadores-ambientales/indicadores-ambientales.shtml#ixzz47PvyabtQ>
- Susach. F. 1989. Caracterización y clasificación fitosociológica de la vegetación de sabanas del sector oriental de los llanos centrales bajos venezolanos. Acta Biol. Venez.12 (3-4):1-54 Recorrido General del área de estudio.
- Tratado de Cooperación Amazónica. Secretaría Pro Tempore (TCA).1998. Zonificación ecológica-económica: Una Propuesta Metodológica para La Amazonia Caracas, Venezuela. 277 P
- Tovar W A., Valera A., Hernández C. Vásquez C.2014. Delimitación de unidades de paisajes aplicando técnicas de inteligencia artificial en la cuenca del río San Juan estado Guárico. Revista electrónica de investigación y postgrado Vol 3, Nº. 3 86 – 101 <http://nexos.unerg.edu.ve/portal/phocadownload/sep-dic->

2014/1_delimitacion_de_unidades_de_paisajes.pdf citado 15 de septiembre de 2016.

- Uicn. 2000. Vision for water and nature. A world strategy for conservation and sustainable management of water resources in the 21st century. www.iucn.org/webfiles/doc/wwrp/publications/vision/visionwaterandnature.pdf.
- United Nations (UN) .2001. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. Second Edition, September 2001. United Nations, Division for Sustainable Development, New York.
- United Nations Commission on Sustainable Development (UNCSD) (1995), Work Programme on Indicators of Sustainable Development of the Commission on Sustainable Development; ID: 2129634260, United Nations Department for Policy Coordination and Sustainable Development, New York.
- Valera A. y Viloria J. 2011 Aplicación de técnicas de inteligencia artificial en el análisis geomorfométrico del paisaje en la cuenca del río caramacate, estado Aragua. Jomadas de investigación de la Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos.
- Valera A.R, 2014. Tecnologías de Inteligencia Artificial Redes neuronales artificiales y teoría de conjuntos borrosos para el análisis geomorfométrico de paisajes de montaña. Editorial Académica Española.
- Viloria, A. 2007. Estimación de Modelos de clasificación de paisaje y predicción de atributos de suelos a partir de imágenes satelitales y modelos digitales de elevación. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 88 p.
- Viloria J A., Viloria-Botello A, Pineda M.C., Valera A. 2016. Digital modelling of landscape and soil in a mountainous region: A neuro-fuzzy approach. *Geomorphology*. 253. 199–207.
- Von Bertalanffy, L. 1976. Teoría General de Sistemas. Petrópolis, Vozes.
- Wiens, J.A. 1989. Spatial Scaling in Ecology. *Functional Ecology* 3, 385-397.
- Zamora, J Ramos. 2010. Las actividades de la industria petrolera y el marco ambiental legal en Venezuela. Una visión crítica de su efectividad A-Revista Geográfica Venezolana.
- Zevenbergen, L. W., Thorne C. R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*. 12: 12-56
- Zhu, A.X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., Simonson, D. 2001. *Soil mapping using GIS, expert knowledge and fuzzy logic*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1463–1472.

9. ANEXOS

Estación Santa Rita.

ESTACION ESTADO:		SANTA GU	RITA LATITUD:	TIPO: 80830	PR _ONGITUD	SERIAL: 661530	2413 ALTITUD:	135	M,S,N,M					
	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1970	4,3	19,0	0,8	38,8	215,4	212,4	296,4	290,5	266,8	104,3	14,7	3,0	1466,3
2	1971	9,3	0,0	0,8	13,2	150,4	115,1	256,8	151,7	139,5	34,7	33,1	1,3	905,9
3	1972	6,3	0,0	37,3	163,5	103,5	119,0	114,9	84,1	165,7	71,4	22,9	0,0	888,6
4	1973	0,0	0,0	0,0	3,8	45,4	127,7	113,7	277,7	198,8	58,2	28,2	4,1	857,6
5	1974	0,5	0,0	3,5	0,5	145,1	109,1	342,3	206,2	146,0	76,5	66,8	0,0	1098,0
6	1975	0,0	0,0	0,0	1,2	128,6	164,2	97,9	282,3	118,9	114,3	5,4	7,0	919,8
7	1976	23,1	0,0	5,9	89,7	79,4	128,5	254,4	306,2	134,4	122,0	50,0	2,2	1195,8
8	1977	0,0	0,0	0,7	0,0	127,4	140,2	270,2	221,1	231,1	177,3	77,8	10,8	1256,6
9	1978	1,7	0,0	0,0	41,6	89,6	248,8	256,3	251,2	262,5	115,7	79,8	32,6	1379,7
10	1979	0,0	0,0	26,4	70,1	293,3	484,2	233,5	263,0	70,0	40,1	27,7	12,0	1520,3
11	1980	0,6	0,0	0,0	113,5	78,0	128,8	326,8	320,3	334,7	66,8	46,1	1,0	1416,6
12	1981	0,0	0,0	0,0	115,6	123,7	204,2	319,1	256,1	261,7	171,8	11,8	0,0	1464,0
13	1982	0,0	0,7	13,5	120,7	263,1	70,0	207,6	130,3	200,7	78,3	19,2	11,3	1115,4
14	1983	1,1	12,3	0,0	143,3	324,4	181,6	253,4	248,4	259,6	108,1	20,6	6,9	1559,6
15	1984	0,2	0,0	0,0	88,0	5,9	167,9	206,3	202,2	169,5	66,3	126,8	4,6	1037,7
16	1985	0,0	0,0	0,0	27,5	51,7	194,4	271,2	265,8	277,8	114,3	78,9	31,8	1313,5
17	1986	0,0	0,0	0,0	6,6	85,2	188,1	262,5	257,3	268,9	151,5	104,5	12,2	1336,7
18	1987	0,5	0,0	0,0	0,0	137,1	226,4	315,9	309,6	270,7	119,4	89,4	36,5	1505,6
19	1988	0,0	0,0	0,0	0,0	16,4	290,7	405,7	283,9	179,0	45,4	26,3	20,6	1268,0
20	1989	5,4	11,3	0,0	1,6	74,6	123,1	240,9	270,1	51,9	21,5	24,4	9,9	834,7
21	1990	0,5	5,3	0,0	29,4	191,2	236,1	265,2	260,0	107,9	45,3	31,2	39,9	1212,0
22	1991	0,0	0,0	165,6	10,2	88,0	233,0	300,7	294,7	308,0	119,9	79,4	31,3	1630,9
23	1992	1,4	0,0	0,0	78,3	415,5	188,4	533,6	247,4	180,6	155,3	61,9	1,9	1864,3
24	1993	0,0	0,0	1,3	69,1	325,7	231,0	322,4	318,0	86,6	41,9	24,3	9,9	1431,2
25	1994	0,0	0,0	0,0	34,3	111,2	183,6	256,2	251,1	222,3	86,9	78,7	7,7	1232,0
26	1995	0,0	0,0	0,0	0,0	135,2	355,6	321,3	76,5	106,7	133,5	92,2	0,5	1221,5
27	1996	0,0	0,0	0,0	0,0	163,5	269,9	376,6	225,5	244,3	95,5	95,0	15,9	1486,2
28	1997	0,0	29,0	7,5	24,9	78,9	138,4	344,5	176,4	119,8	146,8	31,7	1,6	1099,5
29	1998	0,0	0,0	10,1	60,5	196,1	288,0	401,9	191,2	199,9	78,2	53,9	22,0	1501,8
30	1999	1,9	2,7	9,4	46,4	146,4	198,2	281,7	238,6	192,6	95,2	51,8	11,7	1276,5

Estación San Antonio

ESTACION ESTADO:		SAN GU	ANTONIO LATITUD:	TIPO: 82728	PR _ONGITUD	SERIAL: 661650	3505 ALTITUD:	150	M,S,N,M					
	ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1970	16,9	9,3	2,6	96,7	264,9	201,8	258,5	257,6	201,3	105,5	39,5	4,0	1458,6
2	1971	1,1	3,3	1,2	31,0	199,2	119,6	198,5	104,2	180,5	80,6	2,4	2,8	924,4
3	1972	12,7	6,9	77,6	43,8	116,3	52,1	131,7	72,5	211,3	129,2	27,4	0,2	881,7
4	1973	0,0	0,0	0,0	9,7	27,6	85,9	55,1	309,9	171,1	161,7	29,1	0,8	850,9
5	1974	9,3	0,0	0,2	0,0	38,7	44,3	261,8	349,7	199,9	44,1	45,0	0,5	993,5
6	1975	0,0	0,0	0,0	0,0	77,7	115,7	94,0	210,9	192,0	155,1	29,2	11,5	886,1
7	1976	10,0	5,8	3,5	25,8	56,3	158,1	275,6	248,3	55,9	88,9	13,4	3,8	945,4
8	1977	1,4	0,2	9,7	0,0	123,1	136,2	217,3	153,8	82,7	189,9	80,4	1,8	996,5
9	1978	0,0	0,0	0,5	66,3	136,5	239,8	207,6	198,8	155,3	35,6	26,2	37,7	1104,3
10	1979	0,0	0,0	27,9	81,6	206,3	362,5	362,7	169,0	156,2	81,9	60,4	86,9	1595,4
11	1980	0,0	0,0	0,0	33,9	145,2	255,1	326,7	258,2	201,8	118,6	87,5	31,6	1458,7
12	1981	0,0	0,0	0,0	50,0	213,7	375,6	335,8	181,7	203,7	94,1	34,3	16,8	1505,6
13	1982	9,3	0,0	0,0	23,0	126,4	265,8	140,3	184,9	165,7	27,5	9,3	3,9	956,1
14	1983	0,0	27,2	0,0	49,8	116,2	204,3	215,8	259,8	138,3	125,1	4,9	6,6	1148,0
15	1984	1,7	0,0	0,0	79,9	9,6	168,3	202,3	193,7	224,8	86,3	176,9	17,2	1160,7
16	1985	0,0	0,0	0,7	36,1	88,9	216,2	246,1	235,7	184,1	96,6	71,2	102,4	1278,0
17	1986	0,0	2,0	0,0	8,7	204,9	208,9	267,5	256,2	200,1	104,9	77,4	111,3	1442,0
18	1987	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	263,7	287,3	319,5	249,7	138,4	102,1	146,8	1657,4
19	1988	0,0	0,0	0,0	0,0	143,9	252,9	323,9	348,7	307,5	109,3	45,7	11,8	1543,8
20	1989	0,0	2,0	0,0	0,0	97,5	171,4	219,5	237,1	112,2	58,2	21,5	31,0	950,4
21	1990	1,3	0,6	3,5	2,4	150,0	334,9	245,2	234,7	211,0	110,6	81,6	15,6	1391,4
22	1991	0,7	0,0	34,2	0,0	54,9	179,5	318,0	304,4	144,5	30,8	58,2	4,0	1129,2
23	1992	1,0	0,0	0,0	63,2	291,4	287,5	394,1	252,4	206,3	91,2	67,2	0,7	1655,0
24	1993	0,0	0,0	38,5	43,7	358,7	265,9	366,3	350,7	127,0	0,0	26,9	0,5	1578,2
25	1994	0,2	0,0	0,0	25,7	109,8	193,0	247,2	236,7	44,1	93,3	68,8	99,0	1117,8
26	1995	1,1	0,0	9,9	12,1	125,6	242,4	254,8	178,1	138,8	150,4	101,8	29,3	1244,3
27	1996	0,4	4,3	0,0	0,0	103,7	182,2	116,4	111,5	209,2	158,3	108,0	43,0	1037,0
28	1997	0,0	9,4	6,8	37,5	77,5	112,7	364,7	153,0	108,6	106,7	38,1	0,2	1015,2
29	1998	0,0	0,0	0,0	62,1	265,7	214,7	274,9	263,2	205,7	147,5	108,8	49,6	1592,2
30	1999	0,9	0,0	0,0	144,1	5,4	173,8	212,4	344,7	73,2	123,0	90,7	28,1	1196,3

TIPOS DE VEGETACIÓN	Abreviatura	ÁREA TOTAL OCUPADA EN (ha)
Bosque ribereño de alto a medio denso siempreverde periódicamente inundable de <i>Lecythis ollaria</i> , <i>Pouteria reticulata</i> y <i>Duguetia riberensis</i>	BSVPI	15113
Asociación de Palmar medio denso de pantano de <i>Mauritia flexuosa</i> y <i>Vochysia venezuelana</i> y bosque siempre verde de pantanos periódicamente inundables de <i>Virola surinamensis</i> y <i>Symphonia globulifera</i>	ASPAMD_PI	15071
Sabana densamente arbolada de <i>Axonopus purpusii</i> <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>	SDA_T	4234
Sabana de densa a medianamente arbolada de <i>Axonopus purpusii</i> y <i>Chamaecrista tagera</i> con bosquetes de <i>Cassia moschata</i> y <i>Vochysia venezuelana</i>	SMA_T	23549
Asociación de Sabana de mediana a poco arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Paspalum carinatum</i> - <i>Axonopus canescens</i> - <i>Bulbostylis conifera</i> , <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>	ASMPA_T	22273
Sabana poco arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>	SPA_T	32959
Sabana poco arbolada de <i>Paspalum apiculatum</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i> en dunas de arena	SPADA	6221
Sabana densamente arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i> en dunas de arena	SDADA	3671
Sabana arbolada de <i>Paspalum</i> sp, <i>Caraipa llanorun</i> y <i>Acosmiun nitens</i> periódicamente inundables.	SAPIP	15411
Sabana inarbolada de <i>Paspalum</i> sp, periódicamente inundables	SIPIP	19786
Herbazal de pantano estacional medianamente arbolado de <i>Rhynchospora barbata</i> , <i>Vochysia venezuelana</i> , <i>Curatella americana</i>	HDP	9850

Anexo 4

CANONICAL CORRESPONDENCE ANALYSIS

Data file - C:\Documents and Settings\Roschman Gonzalez.ROSCHMAN\Mis documentos\Dropbox\Trabajos en progreso\Juan Carlos Santander\Veg 10-2-16.mvs

Analysing 11 variables x 12 cases

Environmental data file - C:\Documents and Settings\Roschman Gonzalez.ROSCHMAN\Mis documentos\Dropbox\Trabajos en progreso\Juan Carlos Santander\Sue 10-2-16.mvs

Analysing 13 variables x 12 cases

Data log(10) transformed

Tolerance of eigenanalysis set at 1E-7

Scores scaled by species

Variable	Weighted mean	Weighted SD	Inflation Factor
S1	18,347	35,217	0 ***
S2	6,424	24,518	1,794
S3	8,661	26,782	1,882
S4	12,804	28,259	0 ***
S5	6,185	9,484	5,579
S6	10,28	24,238	3,522
S7	1,95	4,729	1,884
S8	6,61	24,846	1,815
S9	8,34	27,649	2,008
S10	9,783	21,421	4,172
S11	10,071	29,48	2,217
S12	7,382	16,862	2,302
S13	8,863	22,97	1,912

Multicollinearity detected. Variables marked with "****" will be ignored in analysis

Could not calculate axis 11

Eigenvalues

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Eigenvalues	0,11	0,066	0,039	0,013
Percentage	44,114	26,631	15,725	5,322
Cum. Percentage	44,114	70,745	86,47	91,791
Cum.Constr.Percentage	44,114	70,745	86,47	91,791
Spec.-env. correlations	1	1	1	1

Abreviatura	Unidades de paisaje
UP1	Alplanicie de colina-glacis, con suelos escarpados-pedregosos
UP2	Alplanicie de colina-glacis, con alta pedregosidad
UP3	Altiplanicie de ejes, lomas, colinas escarpadas, con suelos pedregosos
UP4	Colinas bajas ligeramente disectada
UP5	Planicie aluvial con suelos aquults, aquults, Ustults, Ustults
UP6	Planicie Aluvial de explayamiento, con bajos inundables
UP7	Planicie Aluvial de explayamiento, suelos Aquults y Ustults pedregosos en posiciones altas
UP8	Planicie eólica con suelos Psamments
UP9	Plano inclinado ligeramente disectado
UP10	Valles con suelos Aquents y psamments
UP11	Valles con suelos inundables
UP12	Valles con suelos Inundables Tropepts, Aquepts, Aquents, psamments

Abreviatura	Tipo de suelos
S1	Aquents, Psamments
S2	Aquic Ustipsamments; Trophaepts, Ustopepts
S3	Dystric Haplustepts Typic Dystrustepts
S4	Orthents -Tropets
S5	Oxic Dystrustepts - Aerice Epiaquepts
S6	Oxic Dystrustepts Aerice Epiaquepts, Plinthic Kandistuls Aquic Dystrustepts
S7	Paleustuls, Colinas, alto % de fragmentos de coraza, Typic Kandistuls Typic Dystrustepts, Oxic Dystrustepts Aerice Epiaquepts
S8	Plinthic Kandistuls Aquic Dystrustepts, 80% coraza
S9	Plinthic Kandistuls, Aquic Dystrustepts, 80% coraza, Typic Kandistuls Typic Dystrustepts
S10	Plinthic Kandistuls, Oxic Dystrustepts, Typic Ustorthents, Oxic Dystrustepts, Typic Dystrustepts, Dystric Haplustepts
S11	Typic Aquic Quartzipsamments
S12	Typic Kandistuls Typic Dystrustepts
S13	Typic Ustorthents Oxic Dystrustepts, Aerice Epiaquepts

Abreviatura	Tipos de vegetación
V1	Asociación de Sabana de mediana a poco arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> , <i>Paspalum carinatum</i> , <i>Axonopus canescens</i> , <i>Bulbostylis conifera</i> , <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima crassifolia</i>
V2	Asociación de Palmar medio denso de pantano de <i>Mauritia flexuosa</i> y <i>Vochysia venezuelana</i> y bosque siempre verde de pantanos periódicamente inundables de <i>Virola surinamensis</i> y <i>Symphonia globulifera</i>
V3	Bosque ribereño de alto a medio denso siempreverde periódicamente inundable de <i>Lecythis ollaria</i> , <i>Pouteria reticulata</i> y <i>Duguetia riberensis</i>
V4	Herbazal de pantano estacional medianamente arbolado de <i>Rhynchospora barbata</i> , <i>Vochysia venezuelana</i> , <i>Curatella americana</i>
V5	Sabana densamente arbolada de <i>Axonopus purpusii</i> – <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima</i>
V6	Sabana densamente arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima</i> en dunas de arena
V7	Sabana inarbolada de <i>Paspalum</i> sp, periódicamente inundables
V8	Sabana arbolada de <i>Paspalum</i> sp, Caraipa llanorun y <i>Acosmium nitens</i> periódicamente inundables
V9	Sabana de densa a medianamente arbolada de <i>Axonopus purpusii</i> y <i>Chamaecrista tagera</i> con bosquetes de <i>Cassia moschata</i> y <i>Vochysia venezuelana</i>
V10	Sabana poco arbolada de <i>Trachypogon spicatus</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima</i>
V11	Sabana poco arbolada de <i>Panicum apiculatum</i> - <i>Curatella americana</i> y <i>Byrsonima</i> en dunas de arena.