



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y
AMBIENTALES
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES Y AMBIENTALES
DE POSTGRADO (CEFAP)



**ANÁLISIS PRELIMINAR EN EL ESTUDIO MULTITEMPORAL DE
LOS PROCESOS DE CAMBIO EN EL USO Y COBERTURA DE LA TIERRA
A TRAVÉS DE SENSORES REMOTOS DURANTE EL LAPSO 1991-2016
CASO: MICROCUENCAS TORRENCIALES: CHARAVECA Y LA
CHIVATA (MUNICIPIO CÁRDENAS), LA GARCÍA Y LA GURAPA
(MUNICIPIO ANDRÉS BELLO), ESTADO TÁCHIRA – VENEZUELA.**

Lcdo. Candelario Parada Maldonado

Mérida, Septiembre del 2017

C.C.Reconocimiento

Trabajo presentado como parte de los requisitos exigidos por el postgrado en Manejo de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes

para optar al título de

www.bdigital.ula.ve

MAGÍSTER SCIENTIAE EN MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Tutor:
Ing. MSc. Vidal Raúl.

RESUMEN

El continuo avance de la intervención antrópica y por ende el crecimiento de la población y actividades económicas hacen que se produzcan fuertes presiones sobre los recursos naturales y ambientales alterando en mayor o menor medida su estado inicial, escenario que se presenta en las microcuencas Charaveca, La Chivata La Gurapa y La García del Estado Táchira, por lo que se realizó el análisis preliminar del estudio multitemporal de los procesos de cambio en el uso y coberturas de la tierra que se desarrollan a lo largo de todo el área a través de imágenes satelitales LANDSAT 7 y 8, bajo metodología de análisis multitemporal elaborándose la base cartográfica por interpretación visual de los cambios de uso y cobertura de la tierra en las microcuencas de estudio para los años de 1991- 2016, relacionándolos con parámetros derivados de un DEM SRTM 30 m referidos a análisis morfométricos y valores de NDVI, permitió bajo un modelo PFEIR de Presión- Impacto- Estado y Respuesta determinar el estado de las microcuencas, cuyos indicadores reflejan que el territorio que ha sido ocupado de manera permanente aumento, con avances de las zonas urbanizadas, de 738,81 Ha para el año 1991 a 1218,93 Ha al 2016, es decir, que durante el periodo de 25 años, se incremento 480,12Ha (10,04%), los índices de deforestación muestran como las microcuencas han sido afectadas en las zonas con pendientes planas a intermedias con el pasar de los años en 4,3 Ha/año, lo cual evidencia el avance de la degradación ambiental y expansión de las áreas urbanizadas y otras actividades socioeconómicas en menor escala que están ejerciendo presiones sobre los recursos ambientales y naturales, que provocan diversos problemas ambientales debido a la fragilidad geológica que presentan, por lo que se amerita que se activen procesos de planificación y ordenamiento el uso de la tierra.

Palabras claves: Sistema de Información Geográfica SIG, nultitemporal, uso de la tierra, cobertura de la tierra, sensores remotos.

SUMMARY

The continuous advance of the anthropic intervention and therefore the growth of the population and economic activities cause that there are strong pressures on the natural and environmental resources altering to a greater or lesser extent its initial state, scenario that is presented in the Charaveca, La Chivata La Gurapa and La García of the Táchira State, for which the preliminary analysis of the multitemporal study of land use and land cover change processes was carried out throughout the area through satellite images LANDSAT 7 and 8, using a multitemporal analysis methodology. The cartographic base was constructed by visual interpretation of changes in land use and coverage in the study micro-basins for the years 1991- 2016, relating them to parameters derived from a DEM SRTM 30 m referred to to morphometric analysis and NDVI values, allowed under a PFEIR model of Pressure-Impact-State and Re It is necessary to determine the state of micro-watersheds, whose indicators reflect that the territory that has been permanently occupied increases, with advances in urbanized areas, from 738.81 Ha for 1991 to 1218.93 Ha to 2016, that during the 25-year period, there was an increase of 480.12 ha (10.04%), deforestation rates show how micro-watersheds have been affected in areas with flat to intermediate slopes with the passing of the years by 4.3 ha / year, which shows the progress of environmental degradation and expansion of urbanized areas and other socio-economic activities on a smaller scale that are exerting pressures on environmental and natural resources, which cause various environmental problems due to the geological fragility they present, for which is required to activate planning and land use planning processes.

Key words: GIS Geographic Information System, multitemporal, land use, land cover, remote sensor

DEDICATORIA

Dios como ser principal del mundo y eje de mi vida, que hace que todo suceda, en el momento, lugar y tiempo adecuado; gracias infinitas por permitirme ser lo que soy, creer en lo que creo y hacer lo que hago, además de su infinita bondad y amor.

¡Madre! Gracias por existir y por tanto amor, este éxito también es tuyo, incondicionalmente fuiste un apoyo grande en todo momento, hasta en los menos esperados acompañados con palabras de aliento que me re motivaron en esos tiempos difíciles, a mi padre por hacer posible mi permanencia en la ciudad de Mérida además de hacer realidad la materialización de esta meta, eternamente agradecido

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

Cuando ves la materialización del esfuerzo se hace necesario dar las gracias, por tal razón muy sinceramente agradezco a:

Mi familia de hogar hermanas y sobrinos, simplemente gracias por el apoyo incondicional y por aportar buenas energías en mi preparación académica.

A mi fiel compañera de vida y de vivencias M.Sc. Lcda. Paola Orozco, incalculable sentimiento de gratitud, haces que los momentos buenos no sean nunca suficientes, infinita colaboración, a quien más que agradecer es de reconocer su gran apoyo en todos los aspectos; Lcda. Zuleima Molina sinónimo de amor maternal y motivación además de buenas e infinitas energías positivas sencillamente gracias ¡mi segunda familia!

A la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes (Mérida-Venezuela), por abrirme sus puertas y permitir adelantar estudios de posgrado en Manejo de Cuencas Hidrográficas, a los integrantes del Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP) y de forma especial al personal de apoyo Laura y Adela, nuevamente orgulloso de ser parte por segunda vez de esta ilustre universidad.

Muy especialmente a la Profesora Karina Peña ejemplo de profesionalismo y espíritu de preparación académica, apoyo incondicional en la realización de esta investigación, pilar fundamental para su desarrollo y consolidación con su espíritu altruista por el conocimiento, permitiendo en cualquier momento y en la distancia, a través de sus comentarios orientar la investigación, para cerrar con éxito este importante ciclo de formación en los momentos más difíciles.

Al M.Sc. Lcdo. Cristopher Camargo, por su colaboración en los inicios y desarrollo de este trabajo.

Prof. Raúl Vidal, por su colaboración y apoyo en la realización y culminación de la presente investigación.

A mis jurados Profesores Jesús Andrades y Karina Peña, siempre dispuestos a colaborar y ayudar en pro de culminar con éxito la presente investigación, quienes en su momento llegaron a orientar de manera importante este trabajo de grado con sus aportes, comentarios y profesionalismo.

Mis compañeros de cohorte, Vianci, Jesús, Daniel, Yria y María de quienes aprendí ejemplarmente amistad, compañerismo, apoyo personal y académico durante este largo tiempo de permanencia en la Universidad de los Andes, de ellos quedan muchas enseñanzas, anécdotas y la incondicional amistad.

Al Instituto Nacional de Tierras (INTI) especialmente ORT-Táchira y compañeros de trabajo por permitir el tiempo a la realización de este trabajo y a mi preparación profesional.

A los demás profesores del Postgrado Maestría en Manejo de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes (Mérida-Venezuela), por su disposición a instruir y su compromiso para con la enseñanza.

A la Geógrafa María Fernández, Ing. Yovany Pernía y Br Carlos Guzman por su colaboración en pro de la presente investigación

Por último a todas aquellas personas que, desde la distancia, o desde muy cerca apoyaron de alguna u otra forma este logro.

INDICE

RESUMEN	04
SUMMARY	05
DEDICATORIA	06
AGRADECIMIENTOS	07
INDICE	09
Lista de Figuras	13
Lista de Tablas	15
Lista de Graficos	17
CAPITULO I - INTRODUCTORIO	18
1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.2 Objetivos de la Investigacion.....	22
1.2.1 Objetivo General.....	22
1.2.2 Objetivos Especificos	22
CAPITULO II – MARCO TEORICO	23
2.1 Consideraciones Generales	23
2.2 Antecedentes de la Investigacion.....	24
2.3. Base Conceptual	30
2.3.1 Cuenca hidrográfica como área envolvente de un todo.....	30
2.3.2 Cuenca torrencial	31
2.3.3 Degradación ambiental en cuencas hidrográficas.....	31
2.3.4 Degradación Ambiental de las cuencas Hidrográficas en los Andes de Venezuela	33
2.3.6. Uso y cobertura de la tierra.....	34
2.3.7 Leyenda coberturas de la tierra con metodología CORINE Land Cover (Coordination of information on the enviroment)	35
2.3.8 Análisis de los cambios en el uso y cobertura de la tierra a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	37
2.3.9 Imágenes satelitales y su importancia de uso	40
2.3.10 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado NDVI (Normalized differential Vegetation Index)	41
2.3.11 Modelo PFEIR como herramienta para el análisis	42
CAPITULO III – MARCO METODOLOGICO	45
3.1 Tipo de investigación.....	45
3.2 FASE I: Caracterización físico-natural	46
3.2.1 Ubicación del área de estudio	46

3.2.2	Clima	47
3.2.2.1	Precipitación	47
3.2.2.2	Temperatura	49
3.2.2.3	Clasificación Bioclimática.....	49
3.2.3	Hidrografía	50
3.2.4	Geología	53
3.2.5	Geomorfología.....	55
3.2.6	Suelos.....	56
3.3	FASE II: Materiales Requeridos.....	57
3.3.1	Imagen satelital SPOT-5 (Imagen de soporte Cartográfico).....	57
3.3.2	Cartas Cartográficas.....	58
3.3.3	Imágenes Landsat y uso del MDE.....	58
3.3.4	Otra información materiales y equipos	60
3.4	FASE III: Procedimiento	61
3.4.1	Creación de poligonales referentes a las microcuencas y posterior validación topológica	61
3.4.2	Corrección radiométrica de imágenes satelitales	62
3.4.3	Interpretación visual de imágenes satelitales	64
3.4.4	Metodología de análisis multitemporal	66
3.4.5	Aplicación de la metodología Corine Land Cover	67
3.4.6	Precisión y validación de concordancias de la cartografía de las coberturas pertenecientes a la metodología CLC	69
3.4.7	Clasificación de las imágenes Landsat a partir del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI)	71
3.4.8	Análisis morfométrico a partir del DEM SRTM - 30	71
3.4.8.1	La Pendiente (Slope)	72
3.4.8.2	La Orientación (Aspect)	72
3.4.8.3	La Curvatura (Classification of curvature)	73
3.4.8.4	Convexidad (Convexity)	74
3.4.8.5	Área Real (Surface Real)	74
3.4.8.6	Índice de posición Topográfica (Topographic Position Index)	74
3.4.9	Modelo FPEIR (Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta) propuesto por la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente)	75
CAPITULO IV- RESULTADOS		78
4.1	Aplicación y resultado de la validación topológica.....	78
4.2	Corrección radiométrica de las imágenes satelitales	79

4.3 Interpretación visual de imágenes Satelitales y su validación respectiva	82
4.3.1 Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 1991	83
4.3.2 Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 1997	87
4.3.3 Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2004	89
4.3.4 Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2010	91
4.3.5 Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2016	92
4.4 Matrices de cambio a partir de la interpretación de capas vectoriales de interpretación entre 1991-1997; 1997-2004; 2004-2010; 2010-2016	95
4.4.1 Matrices de Cambio a partir de la intercepción de capas vectoriales de interpretación para 1991-1997, 1997-2004, 2004-2010, 2010-2016	96
4.5 Calculo de valores de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (Normalized differential Vegetation Index) NDVI	100
4.5.1 Histogramas de reclasificación de NDVI	101
4.5.2 Análisis de valores de NDVI en el área general de estudio	103
4.5.3 Análisis detallado de los NDVI para cada una de las microcuencas	105
4.6 Análisis morfométrico del área total a partir del uso de un DEM SRTM	110
4.6.1 Módulo de pendiente (Slope)	110
4.6.2 Módulo orientación (Aspect)	113
4.6.3 Módulo de área real (Surface Area)	115
4.6.4 Módulo índice de posición topográfica (Topographic Position Index)	116
4.6.5 Módulo clasificación de curvatura (Curvature)	119
4.7 Análisis morfométrico detallado por microcuenca a partir del uso de un DEM SRTM	122
4.7.1 Análisis morfométrico con respecto a la orientación por microcuenca	122
4.7.2 Análisis morfométrico con respecto al índice de posición topográfica (Topographic Position Index)	124
4.7.3 Análisis morfométrico con respecto a la clasificación de curvatura (Curvatura)	126
4.7.4 Análisis morfométricos con respecto a la pendiente por cada una de las microcuencas de estudio	128
4.7.5 Modelo FPEIR (Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta) propuesto por la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente), Indicadores de Análisis	130
4.7.5.1 Indicadores de factor determinante	132
4.7.5.1.1. Índice de Precipitación	132
4.7.5.1.2 Índice de geología	135
4.7.5.1.3 Índice de geomorfología (Curvatura, orientación, forma del terreno, pendiente)	137
4.7.5.2 Indicadores de Factor Estado	143

4.7.5.2.1 Índice de Coberturas (1991)	143
4.7.5.3 Indicadores de Factor Presión.	146
4.7.5.3.1 Índice de coberturas (1997, 2004, 2010, 2016)	146
4.7.5.3.2 Índice de incremento de superficies artificiales)	149
4.7.5.4. Indicadores de impacto	151
4.7.5.4.1 Índices de deforestación para los periodos 1991-1997; 1997-2004; 2004-2010; 2010-2016, y la tasa de deforestación 1991-2016	151
4.7.5.4.2 Índice de procesos erosivos	153
4.7.5.4.3 Índice de Protección para la cobertura vegetal	156
4.7.5.5 Indicador de respuesta	158
4.7.5.5.1 Proyectos, planes, leyes e inversiones	158
4.8 Diagnóstico y análisis Preliminar	163
4.9 Conclusiones y Recomendaciones	173
CONCLUSIONES	173
RECOMENDACIONES	176
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación práctica y relativa del área de estudio.	46
Figura 4. Mapa de Hidrografía de las micro cuencas La Guarapa, La García, Charaveca y Chivata.....	56
Figura 5. Mapa de Geología de las micro cuencas La Guarapa, La García, Charaveca y Chivata 2016.....	54
Figura 6. Organización jerárquica de los criterios de interpretación Visual.	65
Figura 7. Metodología leyenda Corin Land Cover, (CLC).....	68
Figura 8. Procesos de interpretación visual y multitemporal para la investigación.....	69
Figura 9. Modelo PFEIR adaptado a la investigación.	76
Figura 10. Resultados de la validación topológica de las líneas y polígonos.	78
Figura 11. Transformación de valores de reflectancia a radiancia en la corrección radiométrica (4a) y (4b).....	81
Figura 12. Mejoramiento Visual a imagen Landsat a partir de corrección radiométrica del año 2010.	82
Figura 13. Mapa de Unidades de cobertura de la Tierra año 1991..	85
Figura 14. Mapa de Unidades de cobertura de la Tierra año 1997.	97
Figura 15. Mapa de Unidades de cobertura de la Tierra año 2004.	99
Figura 16. Mapa de Unidades de cobertura de la Tierra año 2010..	101
Figura 17. Mapa de Unidades de cobertura de la Tierra año 2016.	103
Figura 18. Histograma de reclasificación del cálculo de NDVI para imagen del año 1997.....	111
Figura 19. Histograma de reclasificación del cálculo de NDVI para imagen del año 2004.....	116
Figura 20. Histograma de reclasificación del cálculo de NDVI para imagen del año 2016.....	117
Figura 21. Mapa de reclasificación de áreas con vegetación y áreas sin vegetación en el area de estudio para los años 1997, 2004 y 2016	113
Figura 22. Mapa de reclasificación para microcuenca quebrada La Gurapa.....	114
Figura 23. Mapa de reclasificación para microcuenca quebrada La García.....	115
Figura 24. Mapa de reclasificación para microcuenca quebrada La Chivata.	115
Figura 25. Mapa de reclasificación para microcuenca quebrada La Charaveca.	115
Figura 26. Mapa de pendiente 2016.....	122
Figura 27. Mapa de orientación 2016.....	125

Figura 28. Mapa de forma del Terreno.....	129
Figura 29. Mapa de curvaturas del terreno.....	132
Figura 30. Modelo PFEIR.....	132
Figura 31. Causas, problemas y consecuencias de la degradación ambiental en las Microcuencas.....	165

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones hidroclimáticas próximas al área de estudio	47
Tabla 2. Valores de precipitación para diversos años por estación hidroclimática	48
Tabla 3. Resolución espectral de imagen SPOT 5 (SPOT IMAGE, 2005).	58
Tabla 4. Especificaciones de los recursos digitales utilizados.	59
Tabla 5. Resultados del módulo flash de la corrección radiométrica.	79
Tabla 6. Resultados de la aplicación BandMath y transformación de valores de reflectancia para cada cobertura	80
Tabla 7. Categorías y superficies de terreno para el año 1991	83
Tabla 8. Índice de Kappa para cada año estudiado.....	86
Tabla 9. Categorías y superficies de terreno para el año 1997	87
Tabla 10. Categorías y superficies de terreno para el año 2004	89
Tabla 11. Categorías y superficies de terreno para el año 2010	91
Tabla 12. Categorías y superficies de terreno para el año 2016	93
Tabla 13. Matriz de cambio para la fecha 1991-1997.....	97
Tabla 14. Matriz de cambio para la fecha 1997-2004.....	98
Tabla 15. Matriz de cambio para la fecha 2004-2010.....	98
Tabla 16. Matriz de cambio para la fecha 2010-2016.....	99
Tabla 17. Valores generales del área total de estudio a partir de la reclasificación de las coberturas en zonas sin vegetación y con vegetación	104
Tabla 18. Valores con vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.....	107
Tabla 19. Valores sin vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.....	120
Tabla 20. Clasificación porcentual de la pendiente para la generación de cartografía	111
Tabla 21. Clasificación en clase de rumbo, azimut de las vertientes y sus áreas de orientación.....	113
Tabla 22. Área real en 2D y 3D de las microcuencas a partir de la aplicación del módulo Surface Área	115
Tabla 23. Clasificación porcentual y de áreas de las formas del terreno TPI en las microcuencas	116
Tabla 24. Clasificación porcentual y de áreas de las curvatura en las microcuencas	119
Tabla 25. Clasificación porcentual y de áreas de orientación en las microcuencas	123

Tabla 26. Clasificación porcentual de las formas el terreno TPI en las microcuencas	125
Tabla 27. Clasificación porcentual y de áreas para curvatura en las microcuencas	126
Tabla 28. Clasificación porcentual y de áreas para pendiente en las microcuencas	129

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados de la aplicación BandMath y transformación de valores de reflectancia para cada cobertura en forma gráfica.....	80
Gráfico 2. Interpretación visual para coberturas de imagen Landsat del año 1991.....	84
Gráfico 3. Interpretación visual para coberturas de imagen Landsat del año 1997.....	87
Gráfico 4. Interpretación visual para coberturas de imagen Landsat del año 2004.....	89
Gráfico 5. Interpretación visual para coberturas de imagen Landsat del año 2010.....	91
Gráfico 6. Interpretación visual para coberturas de imagen Landsat del año 2016.....	93
Gráfico 7. Valores con vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.....	107
Gráfico 8. Valores sin vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.....	109
Gráfico 9. Clasificación porcentual de la pendiente para la generación de cartografía.....	111
Gráfico 10. Clasificación en clase de rumbo, azimut de las vertientes y su área de orientación.....	113
Gráfico 11. Área real en 2D y 3D de las microcuencas a partir de la aplicación del módulo Surface Área.....	115
Gráfico 12. Clasificación porcentual y de áreas de las formas el terreno según TPI en las microcuencas.....	117
Gráfico 13. Clasificación porcentual y de áreas de las curvaturas en las microcuencas.....	120
Gráfico 14. Clasificación porcentual y de áreas de orientación en las microcuencas.....	123
Gráfico 15. Clasificación porcentual de las formas del terreno TPI en las microcuencas.....	125
Gráfico 16. Clasificación porcentual y de áreas para curvatura en las microcuencas.....	127
Gráfico 17. Clasificación porcentual y áreas para pendiente en las microcuencas.....	129

CAPÍTULO I

INTRODUCTORIO

1.1. Planteamiento del Problema

El espacio geográfico venezolano está conformado por una inigualable configuración espacial, rica en múltiples geoformas como resultados de diversas dinámicas de procesos morfogénéticos, procesos glaciales, peri glaciales, aluviales, coluviales y bioantropogénicos que con el tiempo han evolucionado, y que hacen parte de los diversos ciclos naturales que han dado forma y funcionamiento al uso y explotación de los recursos naturales en cada área, determinándolas naturalmente según sus condiciones propias de la zona (Vivas, 2012).

Así mismo, el occidente venezolano, se caracteriza por la alta sensibilidad a los cambios, producto de la dinámica geomórfica - socioeconómica y por ende de sus condiciones ambientales y climáticas, distinguiéndose mecanismos sociales y morfo genéticos de ocupación que influyen en el modelado de las vertientes montañosas a partir de la ocupación, acreción y degradación de los materiales, por procesos generados haciendo que todo el sistema montañoso andino haya sido afectado por estos (Vivas, 2012).

En esta dinámica, las poblaciones humanas se han caracterizado por ser el principal agente en la modificación del entorno natural, tomando el argumento racional de aprovechamiento como la base de sustentación ecológica, la producción económica, la localización de los asentamientos humanos y el bienestar social. Estas interacciones entre el ser humano y la naturaleza han conducido a grandes transformaciones en el espacio territorial y en las condiciones del estado natural, debido a que la sociedad y sus comunidades continuamente están en la búsqueda de la adecuación del espacio para su uso socioeconómico, en cuanto a la ocupación y

organización del territorio, alterando el uso de la tierra y sus componentes naturales fundamentales.

Bajo ésta concepción, los procesos de ocupación del territorio y por ende de cambio de uso y cobertura son determinados, aumentando o disminuyendo según la fragilidad ambiental de su entorno, que según Pla (2015), estos están asociados a cambios desfavorables en los procesos hidrológicos, y que a su vez expresan que son resultantes de los cambios de uso y el mal manejo de las tierras, además de la variabilidad climática e inminente cambio climático.

En este marco, se plantea de manera central analizar la dinámica multitemporal de los procesos de cambio en el uso y coberturas de la tierra que se desarrollan a lo largo de todo el área de estudio, pertenecientes a las microcuencas torrenciales: La Charaveca, La Chivata (Municipio Cárdenas), La García y La Gurapa (Municipio Andrés Bello) del Estado Táchira, con el fin de poder llevar a cabo y aplicar métodos que de manera contrastante permitan determinar los cambios que ha adquirido el territorio, además de conocer el avance y la rapidez con que los mismos se han presentado y evolucionado como consecuencia de la acción interventora del ser humano sobre espacios territoriales, caracterizados por una fragilidad ambiental importante. Este análisis permite conocer dinámicas socioeconómicas en el cambio de cobertura y uso de la tierra y los impactos ambientales que repercuten en la sostenibilidad, en la medida que proporciona una visión de la degradación ambiental en relación con las causas directas e indirectas que la provocan, considerando el resultado de las fuerzas motrices que ejercen presión sobre el entorno y los recursos ambientales y naturales alterando en mayor o menor medida su estado inicial.

Igualmente, para este análisis de los procesos de cambios de uso y coberturas, se utilizaron procedimientos afianzados en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), con la finalidad de llevar a cabo procesamientos espaciales de imágenes que

permitan obtener información actualizada sobre los usos existentes y su variación en el tiempo, con lo cual los SIG como conjunto de herramientas, permiten reunir, introducir, almacenar, analizar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real (Burrough, 1998; López, 2002), además de visualizar y calificar los procesos de cambio de uso y cobertura en el lapso de tiempo 1991– 2016. Dicho proceso metodológico permite identificar la amplia intervención antrópica que han sufrido estas microcuencas, a raíz del incremento y explotación de las tierras para actividades agrícolas y pecuarias, además de la intensa expansión urbana producto del crecimiento demográfico que ha hecho se ocupen áreas con alta fragilidad ambiental que las hace susceptibles a ser afectadas de manera acelerada, por procesos hidrogeomorfológicos y procesos de degradación ambiental como consecuencia.

Por tanto, un paso importante para comprender la problemática existente, está referida a la observación empírica de las altas pérdidas de productividad de los suelos por procesos de degradación ambiental, la cual ha conducido a la realización de numerosos estudios a escala regional o de microcuencas, ejemplo el estudio de los movimientos en masa y efectos sísmicos en los Andes Venezolanos (Ferrer, 1999) y el análisis de formación y control de áreas torrenciales para el manejo de cuencas (Vidal y Suárez, 2004), la estimación de susceptibilidad y áreas con amenazas y riesgo por deslizamientos en la cuenca del Mocotíes (Roa, 2005) y el análisis de las crecidas por flujos y detritos y sus aspectos hidrogeomorfológicos, en las microcuencas Las González y La Sucia (Delgadillo *et al.*, 2009), todas en el Estado Mérida o la estimación de los procesos de erosión, su desarrollo, grado y origen, en la microcuenca La Machirí del Edo. Táchira (Camargo, 2012), entre muchas otras.

Estos estudios realizados en la zona andina, presentan similitudes espacio temporales, climáticas y ambientales, lo que podría permitir el predecir, entender, actualizar o mitigar los procesos de cambios de coberturas en cuanto a expansiones y contracciones haciendo que éstos sean determinados por condiciones naturales (Precipitaciones, suelos, pendiente, tipo de cobertura, formas del terreno, litología), lo

que facilitaría la selección de prácticas integrales de conservación (prácticas agronómicas, obras civiles, conducción de aguas de escorrentía, entre otras), remediando de alguna u otra forma las acciones que han desfavorecido la conservación de los recursos, así lo sugieren Ayala (2005), Camargo (2012) y Camargo *et al.*(2014).

Es indudable, que, al tomar en cuenta problemas ambientales de múltiples dimensiones, como los procesos de cambio y uso de cobertura de forma multitemporal, demuestran la importancia disciplinar y científica de poder conocer los vacíos de información existente a la problemática que presentan las microcuencas como la falta de registro de datos o desarrollo de informes técnicos de poca profundidad, lo que ha hecho que la comprensión del fenómeno tenga una visión reducida para conocer la dinámica del área, la información obtenida podrá contribuir a apoyar y reafirmar preliminarmente nuevos mecanismos que harán en un futuro próximo profundizar el estudio con relación a la problemática, introduciendo nuevas perspectivas y análisis.

En este contexto la presente investigación, aparte de justificar puntos de vista sociales, ambientales y disciplinarios científicos, pretende generar de igual manera aportes prácticos inclinados a la solución preliminar de problemas puntuales, contribuyendo a derivar nuevas posibles soluciones a la problemática local de las microcuencas, ambiental y socialmente afectadas por las malas prácticas de producción, ocupación, expansión y manejo; ya que la problemática afecta a todos los elementos que conforman este espacio geográfico determinado, por ende las instituciones públicas y privadas jugaran a partir de la información obtenida un papel fundamental a la hora de tomar decisiones, pudiendo diseñar y formular políticas, nuevos proyectos y programas en diversas dimensiones capaces de ser ejecutadas para reorientar el actuar social y alcanzar cambios que ameritan con sentido urgente las microcuencas tratadas.

Dentro de este marco, el presente trabajo mostrará los cambios de uso y cobertura, cuantificando las coberturas y de cómo estas han cambiado de forma multitemporal tomando los 25 años de estudio (periodo 1991-2016), además de la extracción de información temática físico natural a través de categorizaciones de las coberturas por medio del índice de vegetación NDVI y análisis morfométricos, todo ello con la finalidad de contestar las interrogantes: ¿Cómo ha sido la evolución de los cambios de coberturas de uso de la tierra? ¿Cuáles son las dimensiones de los cambios de cobertura a lo largo de los años? ¿Qué repercusiones han fomentado la dinámica de los procesos en los criterios de cambio del uso y cobertura de la tierra? ¿Qué indicadores inciden en las dinámicas de cambios de uso y cobertura de la tierra en el desarrollo de los procesos de degradación?.

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Analizar la dinámica multitemporal de los cambios de uso y cobertura de la tierra a través de imágenes satelitales entre los años 1991 y 2016 en las microcuencas Torrenciales: La Charaveca – La Chivata (Municipio Cárdenas) y La Gurapa – La García (Municipio Andrés Bello), Estado Táchira.

1.2.2. Objetivos Específicos.

1. Elaborar la base cartográfica de los cambios de uso y cobertura de la tierra presente en las microcuencas torrenciales: La Charaveca – La Chivata (Municipio Cárdenas) y La Gurapa – La García (Municipio Andrés Bello) durante los años 1991-2016.

2. Relacionar la base cartográfica de los cambios de uso y cobertura de la tierra con parámetros derivados de un DEM SRTM 30 m referidos a análisis morfométricos y valores de NDVI aunado a la dinámica socioeconómica, con el fin de determinar indicadores que reflejen posibles impactos ambientales.

3. Aplicar el modelo de análisis FPEIR de las interrelaciones entre las dinámicas socioeconómicas y los impactos ambientales que repercuten en la sostenibilidad de las microcuencas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. Consideraciones Generales.

Una vez definido el planteamiento del problema y precisados los respectivos objetivos de la investigación tanto general como específicos que fungen como pilares, se hace necesario establecer los aspectos teóricos que permitan respaldar el presente estudio, por tal razón, se hace puntual determinar las bases y los diversos conceptos sobre los procesos de degradación de suelo de la zona dado al alto grado de fragilidad ambiental, acrecentado por la predisposición de ciertos componentes físico naturales y socio económicos, como altas pendientes, inestabilidad geológica, saturación hídrica de los suelos producto de lluvias extraordinarias o de alta intensidad y presión social que han ocasionado ciertos movimientos de masa a la largo de todas la microcuencas de estudio.

Las ideas expuestas, consideran como carácter fundamental al conocimiento de esta investigación, pues se sitúa el problema dentro de un conjunto de saberes fortalecidos con el fin de orientar la búsqueda y ofrecer una conceptualización adecuada en la gama de términos a utilizar como son uso de la tierra, cobertura de la tierra, ordenación del territorio, erosión, tipos de erosión, entre otras. Por estar las microcuencas torrenciales ubicadas en zonas montañosas, son altamente vulnerables a sufrir movimientos de este tipo, es allí donde radica la importancia y el interés de poder comprender la evolución a través del tiempo de estas relaciones y entender la incidencia negativa que provoca estos procesos de cambio de uso de la coberturas y

uso del suelo sobre el estado de los recursos naturales y sobre el componente social como agente protagonista.

Lo antes expuesto, interrelacionado con la ocurrencia de posibles eventos hidrometeorológicos y amenazas socio – naturales, sobre las microcuencas Torrenciales: La Charaveca – La Chivata (Municipio Cárdenas) La García y La Gurapa (Municipio Andrés Bello), Estado Táchira, donde se deterioran continuamente los recursos naturales junto con los recursos humanos, surgiendo el interés de nuevos conocimientos para desarrollar en un futuro actividades económicas y sociales de la mano con el ambiente, para llegar a establecer, adecuadas planificaciones, acciones y políticas sustentadas en técnicas de para la conservación, recuperación, ordenación, estabilización de áreas lo que hará posible un mejor manejo y una mayor reducción de la incidencia negativa en los factores que puedan incidir.

En este orden de ideas, se dan a conocer igualmente las condiciones metodológicas cuyo propósito es dar al estudio un sistema coordinado y coherente, a utilizar en la presente investigación para manejar la información espacial necesaria referidas a técnicas de estudio de análisis multitemporal, identificando módulos y herramientas para el procesamiento e interpretación de información en las imágenes satelitales, ejecutándose así actividades metodológicas enmarcadas dentro de los (SIG) Sistemas de Información Geográfica. Así mismo, se hace referencia a ciertas investigaciones puntuales donde se exponen algunas de las particularidades tomadas en cuenta para la presente investigación que sustentan un mejor entendimiento de la situación que se desarrolla en dicho espacio.

2.2. Antecedentes de la Investigación.

Tras una revisión documental, se logro verificar que se han realizado diversos estudios básicos y detallados, que permiten conocer el estado del arte de la temática abordada y de los avances e innovación del tema, en este contexto se presenta una síntesis de los aspectos más relevantes de algunas investigaciones vinculadas al

análisis multitemporal en procesos de cambio de uso de las coberturas y sus efectos positivos o negativos en el sistema ambiental de las cuencas hidrográficas.

Hoyo, Pacheco, Bustillo y López (2013), describieron el cambio de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca río El Valle, estado Táchira, periodos 1991-2003 y 2003-2013; mediante el SIG Idrisi Selva realizaron la interpretación de imágenes satelitales para obtener los mapas temáticos 1991, 2003 y 2013, con la finalidad de determinar los cambios en la dinámica espacial a través de la construcción de matrices de cambio. Los resultados de este estudio indicaron que la cobertura de bosque disminuyó 57,48% y 46,69% para el primero y segundo periodo, respectivamente. Esta disminución obedeció fundamentalmente a que fueron reemplazados de manera acelerada por cultivos y pastos no manejados, lo cual representó tasas medias anuales de deforestación de 0,46% a 1,39% para ambos periodos.

Buitrago, Aranguren y Marquina (2012), estudiaron la Determinación de los Cambios de la cobertura Vegetal del Cerro el Morro, parroquia Mucurubá, Mérida-Venezuela, observándose que a partir de actividades humanas se han observado cambios y transformaciones espaciales, que pueden ser perfectamente verificables a partir de la metodología multitemporal, de manera geográfica y ecológica permitió conocer el comportamiento de la vegetación en un periodo histórico determinado, analizados a partir de fotografías aéreas del año 1952 y de imágenes satelitales del año 2008 a través de softwares como ERDAS e ILWIS, pudiéndose extraer mapas de cobertura vegetal y su posterior verificación de campo, obteniéndose como resultados la disminución de la cobertura de la tierra (bosque ripario y de páramo), un aumento del bosque siempre verde seco, del bosque paramero, aumento de las vías de penetración, nuevas viviendas y modificación del paisaje afectando al Parque nacional Sierra Nevada.

Muñoz, Rodríguez y Montenegro (2009), realizaron un estudio multitemporal de cambio de uso del suelo en la microcuenca La Mina, Corregimiento de la Laguna, municipio de Pasto Departamento de Nariño- Colombia, se evaluaron 19 años, entre 1989 y 2008, implementándose herramientas y procesos cartográficos como la fotointerpretación, el tratamiento y análisis de imágenes satelitales, utilizándose una gama de softwares de SIG (ArcView3.2 bajo ciertas extensiones se evidenció una pérdida del recurso natural del bosque secundario equivalente 58,51 Ha, con una deforestación por año de 3.08 Ha/año, aumentando la cobertura de pastos en 2.54 Ha/año, junto con ellos los cultivos en un 28.13 Ha/año, evidenciándose cambios significativos.

Osorio, Lozano y Graterol (2009), presentaron en su estudio una Cartografía de la cobertura y uso de la tierra en la Cuenca alta del río Santo Domingo, estado Mérida - Venezuela, con la finalidad de ubicar y determinar los diferentes tipos de cobertura y uso de la tierra, se utilizó una imagen de alta resolución espacial ETM+, año 2001 del satélite Landsat. Como resultado de la interpretación visual de la imagen y la validación en campo, se obtuvo el mapa de cobertura y uso de la tierra existentes en la cuenca alta del río Santo Domingo, en el cual se identificaron diez (10) clases o tipos de uso de la tierra y cobertura vegetal, los mismos fueron verificados y actualizados al año 2005 mediante las prospecciones de campo en combinación con la construcción de las matrices de contingencia o matriz de error calculando las exactitudes del usuario y del productor.

Molina, Arias y Mejía (2008) en su investigación Transformaciones espaciales en las microcuencas La Cuesta – La Boba, Estado Mérida – Venezuela durante el periodo 1952-2004, realizaron un análisis multitemporal de la cobertura de la tierra ubicadas en los andes centrales del país, donde se estudiaron las transformaciones ocurridas generando mapas de cobertura para tres años 1952, 1987 y 2004, luego por técnicas de SIG superposición se generaron matrices de cambio por pares de fechas, permitiendo generar los cambios ocurridos, verificándose las transformaciones del

paisaje, observándose a partir de datos las pérdidas de unas coberturas y las ganancias de otras, se identificaron las zonas bajas como aquellas donde ocurren rápidos cambios, caso contrario a lo que ocurre en la zona media y alta, debido a la existencia de un Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE).

Pacheco, Osorio, Méndez, Flores y López (2006), conformaron una comisión técnica para la determinación del uso de la tierra bajo un enfoque de cobertura con imagen ETM+ de Landsat en la cuenca alta del río Grita, estado Táchira-Venezuela. Para ello, se emplearon criterios de la UGI adaptando 12 categorías enmarcadas en nueve principales; con la aplicación de la leyenda de la UGI se utilizó la interpretación de imágenes del sensor ETM+ de Landsat, técnicas de procesamiento digital de imágenes, SIG y sistema de geoposicionamiento global, todas estas herramientas permitieron generar resultados que indicaron que la cuenca alta del río Grita estuvo determinada por la actividad hortícola y la predominancia de vegetación arbórea-arbustiva alta superior a 15 m de altura, ambos usos sumaron un total de 11.219,74 ha. Por otro lado, la combinación de usos entre afloramientos rocosos, vegetación de paramo y cuerpos de agua naturales alcanzaron una superficie 4.252 ha.

Méndez, Piedra, González y Jones (2004), desarrollaron un estudio mediante el análisis espacial del uso de la tierra en la cuenca del río Turrialba, Costa Rica, la metodología se basó en modelos econométricos, para cuantificar posibles diferencias de precisión comparando dos fuentes de información diferentes: las fotografías aéreas e imágenes satelitales. Los diferentes usos de la tierra se agruparon en seis categorías (bosque, pasto, café, caña, urbano y otros). Los resultados demostraron que la fotografía aérea tiene un 67% de eficiencia en la predicción de cambios de uso de la tierra, y la imagen satelital un 61%, sin embargo estos resultados no pueden generalizarse por la agregación de los usos del suelo en seis categorías, debido a que presentó porcentajes de consistencias muy bajos.

Echeverri y Valencia (2004) establecieron en un lapso de 21 años el registro de 40 deslizamientos en las laderas de la quebrada La Iguana próxima la ciudad de Medellín- Colombia; las ocurrencias de estos eventos se relacionaron con precipitaciones precedentes, pendiente de la ladera y las formaciones geológicas de la zona. La investigación permitió proponer el origen de la amenaza para precipitaciones precedentes, reconocer la susceptibilidad al deslizamiento de cada formación y las pendientes más propensas a los movimientos de masa, se obtuvo a su vez un mapa de amenazas por deslizamientos que se estima puede ser empleado como elemento en la ejecución de programas de prevención de desastres, además de detectar con antelación las áreas a las cuales se puede presentar un evento por deslizamientos, tomándose así las acciones preventivas al caso, utilizándose como metodología el análisis de la interacción de la lluvia, la pendiente y la formación geológica superficial.

Otras investigaciones vinculadas al área temática de estudio

Aristizabal (2008) describe las causas y la dinámica de un movimiento en masa en un barrio del municipio de Medellín el 31 de mayo del 2008, el cual acabó con la vida de un número considerable de personas además de las pérdidas materiales. Las complejas condiciones físicas de la zona configuraron continuamente el origen y evolución del valle, hicieron posible el desarrollo de una serie de procesos hidrogeomorfológicos, donde los procesos de movimientos de masa representó el 35% de los eventos que se desarrollaron en la cuenca, existiendo factores detonantes que hacen posible su desarrollo, en este caso el factor hidrometeorológico es el de mayor importancia, a partir del levantamiento de la información se identificó las características del evento, pudiéndose reportar, describir y discutir las causas y las dinámicas ocurridas en la zona además que permitió aportar información fundamental para nuevos estudios.

Pérez (2006) presentó una serie de alternativas de mitigación de riesgos naturales en la microcuenca de la quebrada El Oro perteneciente a la cuenca del río Castán del Estado Trujillo, la define como una unidad territorial con una serie de problemas ambientales que afectan directamente a la población y los demás sectores cercanos, caracterizada por inundaciones, fragilidad geológica y geomorfológicas propiciando procesos de erosión, desprendimientos de tierras siendo estos los más intensos en el área, haciendo que los riesgos naturales se acreciente, aunado a ellos producto de la expansión urbana de la ciudad de Trujillo, el estudio estuvo dirigido a sugerir a los organismos las alternativas de ocupación de este espacio donde se evidencia amplios problemas físicos y socio naturales, para ello se utilizó una metodología fundamentada en la compilación, comparación y análisis de información de las características físico naturales para establecer alternativas de mitigación y además medidas de conservación y estabilización para controlar y minimizar estos procesos en la zona.

Rondón y Vidal (2005) presentaron los métodos a partir de recomendaciones basadas en experiencias anteriores para establecer la cubierta vegetal en áreas degradadas producto de la incidencia de los factores naturales y antrópicos, en la investigación se planteó el desarrollo de una vegetación como cobertura a áreas degradadas, mostrando un mecanismo para su implantación, el método permitió estudiar la elección de las especies de restauración más idónea que permitirá la recuperación de las áreas tomando en cuenta los aspectos importantes de la vegetación como sus atributos, características ecológicas y biológicas, el acertado procedimiento de recuperación dependerá de la disponibilidad de recursos, además de la preparación profesional del ejecutor, de las condiciones sociales, políticas y culturales en que se encuentre sumergida el área objeto de estudio.

Pulgarin, (2011), realizo un análisis de los recursos hídricos en Colombia a nivel nacional y local, este trabajo desarrollo un modelo de gestión sostenible del agua en la microcuenca La Bermejala en Medellín, para profundizar en las

interrelaciones de las dinámicas tanto socioeconómicas, como urbanas y ambientales que repercuten en la gestión del agua de este sector. Se determinó el estado del arte mediante indicadores del recurso hídrico que permitieron exponer el estado real de la microcuenca y dar una visión holística de la situación de degradación en que se encuentra, identificando las causas y las fuerzas motrices que ejercen presión alterando su estado natural, permitiendo conocer la priorización de proyectos socioeconómicos y ambientales que mejoren la disponibilidad y gestión del recurso.

2.3. Base Conceptual

2.3.1. Cuenca hidrográfica.

Faustino *et al.* (2006). Define a la cuenca hidrográfica como un área territorial de drenaje natural donde todas las aguas pluviales confluyen hacia un colector común de descarga determinada por una línea Divortium Aquarum o divisorias de aguas; estas a su vez interactúan y se interrelacionan con variables biofísicas y socioeconómicas que funcionan como un todo, con entradas y salidas, límites definidas y estructuras internas de sistemas jerarquizados.

En este orden de ideas, esta configuración espacial, social y ambiental, establece que las cuencas son espacios socio-geográficos donde las personas y los organismos estatales hacen uso común del territorio de sus tradiciones y culturas, socializándose con los recursos naturales en pro de su utilización, detonando transformaciones incontroladas y propiciando desequilibrios, todo ello conforma una estructura hidroespacial y una unidad que conjuga medio físico y espacio social construido (Ovalles y Méndez, 2011).

A tal efecto, se tiene que debido a la influencia de factores antrópicos y naturales se desarrollan una serie de acciones y actividades sobre estos espacios como lo son la deforestación y el cultivo en zonas de alta pendiente que se realizan en las partes altas de la cuenca, hacen posible que se incrementen procesos de degradación

ambiental, alterando el régimen hídrico, trasladando sedimentos hacia la parte baja y acrecentando la vulnerabilidad ante otros fenómenos, entre los aspectos que podrían fomentar los focos de degradación ambiental, la deforestación, los cultivos inapropiados y las inadecuadas prácticas de riego (Moreno, 2006), estas actividades se realizan en las zonas altas con ausencia de las técnicas mínimas apropiadas que eviten, controlen o mitiguen los efectos de tal intervención (Márquez *et al.*, 2012).

2.3.2 Cuenca torrencial.

Las microcuencas torrenciales están constituidas por uno o varios cursos de agua que comienza siendo pequeños cauces clasificándose más adelante como un torrente debido a sus continuos avances de profundización respecto a su fisiografía en V, todo ello en la zona montañosa, posteriormente se transforman en un río torrencial que generalmente se ubican en los piedemontes (Suárez, 1993, 2001), todo ello favorece a los diversos procesos de degradación de suelo como fenómenos dinámicos y frecuentemente interactuantes causantes de los cambios del relieve y de los suelos propios de los torrentes, además en la degradación de otros recursos al funcionar como soporte y por dinámica ambiental.

Las acciones antrópicas se desarrollan en todas las áreas de la cuenca, dichos impactos son en su mayoría tan intensos que se crean situaciones intensas y extremas de urgente corrección, los torrentes se caracterizan por tener caudales importantes, se caracterizan por ser cursos de agua que discurren por zonas de montaña, caracterizados por fuerte pendiente lo que hacen que tengan un régimen hidráulico torrencial, lo que confiere a la cuenca cierta inercia torrencial (Diez, 2007).

2.3.3. Degradación ambiental en cuencas hidrográficas.

Los mayores impactos ambientales que causa el hombre por acciones antrópicas comprenden problemas de degradación de los recursos hídricos, forestales, de suelos, con implicaciones directas sobre la flora y fauna entre otros. Tales impactos generan

efectos sobre el territorio que en el mediano y largo plazo tienen altas incidencias sobre los recursos naturales.

Las cuenca hidrográfica se encuentra constantemente influenciada por múltiples factores naturales y antropogénicos, donde se desarrollan procesos de transformación ambiental bajo la denominación de degradación, a partir de ello se hace necesario conocer información más detallada con el fin de poder llevar a cabo óptimos planes de gestión, tomándose en cuenta términos inmersos en la investigación y el conocimiento, que giren en torno a la problemática de lo urbano y su expansión, el ambiente, los sistemas naturales, la degradación generalizada y el riesgo producto de esa degradación, tal cual como lo presenta las condiciones en el área de estudio.

Es así, como a partir de esta generalización, la degradación ambiental, se refiere a una reducción de grado o a un rango menor, o a cambios en un sistema, de tal forma que hay una reducción en su productividad y su calidad. De acuerdo a lo ambiental, o el medio ambiente urbano, se hace referencia no solamente a los elementos de la naturaleza, al medio ambiente natural o el ecosistema, sino a un medio producto de una compleja relación, a formas particulares de relación entre los elementos o factores del soporte ofrecido por la naturaleza (tierra, agua, aire, etc.) y el ambiente construido socialmente (la ciudad y sus estructuras físicas, patrones sociales y culturales, etc.). La degradación, en este caso, hace referencia a la totalidad ambiental: lo natural, lo físico y lo social, sirviendo para ubicar al ser humano y sus acciones como componente intrínsecos del ambiente y no disociarlo sino tratándolo como un elemento perturbador del equilibrio natural (Márquez *et al.*, 2012).

Para poder obtener resultados de como la degradación en las cuencas son un avance continuo, se deben tomar varios argumentos donde demuestran que las cuencas son entidades donde definidos por la naturaleza y el funcionamiento de los elementos naturales y socioeconómicos que la constituyen, permitiendo así valorar los grados de intervención y desarrollo de acciones negativas y positivas sobre el

sistema, dependiendo de la disponibilidad de recursos y de los asentamientos humanos de la zona, pues en resumen la degradación ambiental está referida a se ubican en algún espacio de la cuenca donde interactúan con los recursos naturales, generando efectos positivos (producción de alimentos, bienes y servicios en general) y efectos negativos (contaminación, uso inadecuado de la tierra y degradación) Lal (1998) citado por López, (2002).

2.3.4. Degradación Ambiental de las cuencas Hidrográficas en los Andes de Venezuela.

Muchos sectores de Venezuela son escenario de intensos procesos de degradación ambiental que, en las zonas montañosas, toman prácticamente todos los años características de desastres (Pacheco, 2002). Toda cuenca hidrográfica de alta montaña sometida a un fuerte y acelerado proceso de intervención (desmontes, incremento de la frontera agrícola, pastoreo excesivo y no controlado, explotación irracional del bosque), generan un alto impacto sobre los recursos naturales (López, 2002). Estos escenarios favorecen la transformación de extensas superficies, la desaparición continua de la cobertura boscosa, la degradación del suelo y alteración en la calidad de las aguas, propiciando impactos ambientales que comprometen tanto el equilibrio del medio físico-natural como el funcionamiento y vida útil de las infraestructuras urbanas (Márquez *et al.*, 2012).

En correspondencia con lo anterior expuesto Lal (1998) citado por López, (2002), toma en cuenta dos tipos principales de degradación de suelos, en primer lugar, referido a los procesos naturales y a la acción de los factores que influyen para la formación del suelo, y en segundo lugar a las acciones antropogénicas o inducidas por el hombre que se desarrollan en dichos espacios, de donde se derivan tres mecanismos principales para la degradación de suelos, definidas por la urbana, agrícola y la industrial, aunado a ello expone que la degradación de los suelos estará

definida por el uso de la tierra, el manejo y la susceptibilidad de los suelos a los demás procesos degradativos.

Estos espacios, es decir, las cuencas hidrográficas según el nivel de criterio dependiendo de los elementos intrínsecos que la sustentan, se toma en cuenta que no existe una única clasificación de cuencas, se utilizó el término microcuenca a partir de las consideraciones físico naturales y socioeconómicas que representen de manera más manejable la investigación (Faustino *et al.*, 2006), estas microcuencas altas de montaña la mayoría de las veces presentan en su configuración espacial degradaciones ambientales producto de acciones y actividades humanas que dañan la base de los recursos naturales afectando de manera adversa procesos naturales reduciendo la calidad y la productividad de los espacios, cuyos efectos son variados e incluyen la transformación de los recursos naturales en amenazas de tipo socio natural Lavell, A., *et al* (2003).

2.3.5. Uso y cobertura de la tierra.

El uso de la tierra, está dirigido a la identificación del conjunto de disposiciones y acciones que adopta una población o una comunidad determinada, íntimamente relacionada con la función social que cumple y con la funcionalidad que deberá cumplir la tierra para un momento y situación determinada. El uso de la tierra en Venezuela se ha llevado a cabo en la idea de procurar la satisfacción de necesidades básicas, en promover condiciones favorables para la producción agroalimentaria y actividades relacionadas, pero también causando efectos de connotaciones negativas (Salas *et al.*, 2008).

Es importante hacer mención que la falta de control y seguimiento del estado en las políticas públicas para la conservación ambiental, ha ocasionado un uso descontrolado de los recursos naturales, trayendo consigo una serie de problemáticas a nivel ambiental como deforestación en zonas de reserva forestal, erosión hídrica, degradación física y química de los suelos, contaminación del agua, sobreutilización

o subutilización de las tierras y deterioro del paisaje, definiéndose de esta manera la cobertura terrestre como aquel aspecto visible del uso de la tierra, el cual biofísicamente se encuentra sobre la superficie terrestre, y es el resultados de los usos específicos de la tierra.

2.3.6. Leyenda coberturas de la tierra con metodología CORINE Land Cover (Coordination of information on the enviroment).

El proyecto Corine Land Cover (CLC), desarrolló la creación de una serie de bases de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea, ayudados por los datos que proporcionan los sensores remotos, la metodología CLC se fundamenta en la adquisición de datos de manera numérico/geográfica de las coberturas que se encuentran distribuidas por el territorio, las cuales son captadas en imágenes satelitales recogidas por sensores Landsat y Spot respectivamente, esta metodología debido a su fructífera aplicación, fue adaptada por una serie de países americanos y latinoamericanos, en búsqueda de manejar criterios estándares a la hora de hacer clasificación de coberturas, así de esta forma se lineariza una sola forma de clasificación, permitiendo mantener información precedente de fácil actualización y de fácil resultado a la hora de analizar y verificar cambios de coberturas en las diversas áreas donde se implante (Perdigão y Annoni, 1997).

Esta metodología, tiene como propósito principal, la realización de un inventario homogéneo, de la cubierta biofísica (cobertura) de la superficie de la tierra a partir de la interpretación visual de imágenes de satélite, trabajadas, manejadas y procesadas por hardware y softwares de procesamientos digital de imágenes y sistemas de información geográfica, generándose así un conjunto de tablas, datos, geográficos y valores importantes que permiten crear una leyenda de las coberturas pertenecientes a las áreas seleccionadas a estudiar, éstas bases de datos geográficos fungen a la larga como agentes decisores para organismos, entes públicos y población

general en cuanto a la planificación y uso de las tierras, o de otra manera, aprovechando mejor la capacidad y las potencialidades de las áreas (IDEAM, 2010).

Adaptándose esta metodología europea permite que estas coberturas de la tierra proporcionen información fundamental para procesar mapas y en este caso observar cambios de cobertura a través del tiempo, definir estados de las cuencas, análisis de recursos, permitiendo obtener características temáticas (IDEAM, 2010). A continuación, las clases y los respectivos niveles que por escala se tomaron en cuenta:

1 TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS: Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas.

1.1 Zonas urbanizadas: Incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación

2 TERRITORIOS AGRICOLAS: Son terrenos dedicados principalmente a la producción de alimento, fibras y otras materias primas industriales, comprende áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y zonas agrícolas heterogéneas.

2.3 Pastos: Comprende tierras cubiertas por hierba densa de composición florística dominada principalmente por la familia *Poaceae* en esta cobertura gran parte de su presencia se debe a la acción antrópica referida a su plantación y a la introducción de especies nuevas no nativas.

3 BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES: Comprende coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceos desarrolladas sobre diferentes estratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos también por aquellos territorios construidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de los procesos de degradación.

3.1 Bosques: Comprende áreas naturales o semi naturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas.

3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación: Las coberturas vegetales que integran esta clase, no existe o es escasa compuesta principalmente por suelos desnudos y quemados, así como por coberturas arenosas y afloramientos rocosos.

3.3.3 *Tierras desnudas o degradadas*: Corresponde a superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema, se incluyen áreas que presentan intensos procesos de erosión identificadas principalmente por cárcavas.

2.3.7. Análisis de los cambios en el uso y cobertura de la tierra a través del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

En la última década, el uso de los SIG utilizados para el estudio del ambiente se ha expandido ampliamente obteniéndose información espacial no solo de la realidad absoluta del espacio sino a través de otras tecnologías para la cual se han desarrollado metodologías y técnicas netamente digitales. Los SIG, son un cuerpo tecnológico que se encuentra en continuo avance y evolución, ampliándose cada día sus alcances con el fin de desarrollar sus posibilidades de análisis y resolución de problemas espaciales, en búsqueda de situaciones coherentes que permitan tomar decisiones acordes y adecuadas a la solución o mitigación de la problemática ambiental (Barredo, 1996).

Son amplias las definiciones referentes a los SIG propuestas, pero en términos generales, se puede definir como un conjunto de herramientas, que permite introducir, reunir, almacenar, analizar, recuperar, transformar, y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para alcanzar ciertos objetivos (Burrough, 1988 citado por López, 2002; Barredo, 1996).

En este marco, se tienen los estudios de los procesos geodinámicos dentro de los cuales se puede observar las diversas investigaciones relacionadas con los procesos de cambios de coberturas y uso de la tierra, específicamente con los estudios multitemporales, cuya rama ha estado atenta a las actualizaciones y nuevos desarrollos tecnológicos, donde se han aplicado técnicas y metodologías basados en múltiples enfoques cuyo fin es la cuantificación y la simulación pre o pos de los

eventos ambientales que se deseen analizar, se toma en cuenta aspectos específicos como ubicación del proceso dentro de la configuración geomorfológica del espacio, tipo de proceso, origen, forma, grado de desarrollo, además de eso tomar en cuenta los factores y las causas naturales o inducidas que de ellos derivan.

Estas razones, permiten la introducción de la información con la finalidad de convertir la información geográfica recabada en campo y analógica, perteneciente al mundo real a un formato digital con un componente electrónico requerido por los ordenadores modernos como herramienta fundamental para su funcionamiento sabiéndose que pertenece a uno de los componentes de un SIG (Barredo, 1996); a partir de esa entrada de información, se obtiene como resultados representaciones gráficas e información cartográfica, como resultado de las operaciones analíticas que pueden ser visualizadas sobre papel, pantalla u otros dispositivos digitales o analógicos (Chuvienco, 2010).

Posterior a ello, esta información digerida, se gestiona para extraer, manipular y actualizar la información preexistente, aplicándose en este momento las funciones analíticas que poseen los SIG como función para los cuales fueron creados, siendo este el elemento más importante a la hora de utilizarlos pues hacen posible a partir de datos recabados, procesados, generados la simulación y la modelización de eventos, en este caso ambientales, creando nueva información, esclareciendo la existente y permitiendo observar, así como también de analizar de manera más profunda y clara las dinámicas de interés para una adecuada toma de decisiones, siendo esta una de las ventajas más prominentes al momento de su utilización (Imorox *et al.*, 1994 citado por López, 2002).

Sobre la base de las ideas expuestas se tiene que, la aplicación de los sistemas de información geográfica en los estudios multitemporal de cambios de cobertura y uso de los suelos se basa en generar mapas temáticos, pues se busca representar aspectos específicos, pero para ello debe existir una configuración que permitan

establecer óptimas representaciones que asuman el suelo y el agua como agentes activos del proceso, todo ello acentuado sobre procesos de interfaces o conexiones electrónicas que mejoren los resultados del modelo o la simulación del evento (Petersen *et al.*, 1998 citado por López, 2002).

Para tal efecto, esto es posible a partir de información extraída de fuentes compatibles y adaptados a los SIG, como la digitalización de mapas de suelos que aporten información general de los mismos, información previamente procesada a partir de mapas topográficos, Modelos de Elevación Digital (MED) y Modelos Digitales de Terreno (MDT), entre otras bases de datos que ofrecen características sobre relieve, pendientes, morfometría, cursos de agua, delimitación de cuencas entre otras, junto con ellas, las opciones de disponibilidad de información espacial como imágenes satelitales, mapas coberturas de uso, datos de sensores remotos que en su conjunto deriva la información de interés (López, 2002; Chuvieco, 2010).

De tal manera, que para poder obtener esta información se hace necesario la aplicación de una serie de métodos y procedimientos con el fin de poder realzar, extraer, discriminar o mejorar la información que se encuentra sobre las imágenes y otras fuentes de extracción de información tomadas en cuenta, esta función que prestan los SIG, hacen posible la utilización de técnicas de interpretación y procesamiento de imágenes, cuya aplicación va a depender del objetivo o los objetivos que se quieran lograr, siempre en búsqueda de las técnicas que sean más fructíferas para la comprensión de los fenómenos ambientales, este tratamiento digital de forma directa o indirecta dependerá de la disponibilidad y experiencia humana, además de la rapidez, precisión y tipo de superficie que se esté analizando Chuvieco, (2010).

Referido a este contexto, los métodos más importantes y que deben aplicarse para el manejo del análisis espacial y para el manejo de la información es columna vertebral de la teledetección, esta percepción remota hace posible que los SIG

cumplan sus funciones como lo es poder llevar a cabo y desarrollar sobre información espacial funciones de seguimientos a procesos ambientales dinámicos, detecciones de cambios, fenómenos multitemporales y nuevas configuraciones espaciales todo ello sobre imágenes captadas además de otras informaciones de sensores remotos, desarrollándose métodos como interpretaciones visuales de imágenes, análisis digitales de imágenes a través de ciertos realces, mejoras visuales, ajustando ciertos colores, contrastes, corrigiendo la imagen geométrica y radiométricamente (Chuvienco, 2010).

Para fines de nuestro argumento, los métodos supervisados y no supervisados son base fundamental para realización de estudios espaciales, donde las técnicas para la detección de cambios y las técnicas de análisis multitemporales juegan un rol importante, asumiendo el tiempo como punto importante para el seguimiento de los procesos dinámicos, constituyendo la información espacial una fuente valiosa para los estudios de los cambios que se producen sobre la superficie terrestre ya sea por alteraciones humanas-antrópicas o naturales (Chuvienco, 2010; Barredo, 1996).

2.3.8. Imágenes satelitales y su importancia de uso.

Las imágenes satelitales, constituyen un conjunto de datos pertenecientes a una de las fuentes de alimentación de los SIG de gran peso, pero debido a ciertas anomalías a la hora de detectarlas por parte del sensor, ameritan la aplicación de ciertos procesos correctores con el fin de eliminar, disminuir o mitigar alguna singularidad que hace que las imágenes pierdan calidad tanto visual como de la información espacial contenida, es decir, ya sea en su ubicación espacial o en los ND de los pixeles que la componen, todo ello con el fin de ubicar y disponer de los datos que pueden ser extraíbles de la imagen, de la forma más cercana posible, a una adquisición idónea del sensor, tanto en la ubicación de los pixeles como en la radiancia que compone a cada uno (Chuvienco, 2010; Nasarre y Badia, 2006).

Con respecto a la importancia que presentan estos tipos de herramientas, son realmente viables para evaluar los cambios de las masas forestales, de los cambios del nivel de mar, la dinámica de los cultivos, los incendios forestales, la evolución de los movimientos de masa y de los procesos de erosión, a partir de estudios multitemporales o bajo caracterizaciones en una determinada situación ambiental.

2.3.9. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado NDVI (Normalized differential Vegetation Index).

La vegetación es uno de los elementos que mayor atención a recibido a la hora de analizar imágenes satelitales, ya que es un factor indicativo de cambio y de transformación, que puede visualizarse fácilmente, por tal razón existen y se ponen en práctica numerosos procedimientos de tratamiento a imágenes que permiten obtener parámetros de información importantes sobre los estados de la vegetación (Franco, 2004).

Uno de los parámetros principales, según Olaya (2011), son los denominados índices de vegetación; estos índices permiten detectar la presencia de vegetación en una zona, así como su actividad, ya que sus valores están en relación con la misma. Para ello, utilizan los valores de reflectancia correspondientes a las distintas longitudes de onda, interpretando estas en relación a la actividad fotosintética que realiza la cobertura vegetal.

Es la radiación quien juega un papel importante a la hora de explicar este proceso de obtención de información, las plantas absorben radiación en las regiones visibles del espectro, en particular en la región del rojo, siendo esta radiación la que emplean para su obtención de energía (Cruz, 2011). Por el contrario, las radiaciones de menor frecuencia tales como las del infrarrojo no son útiles para el desarrollo de la actividad fotosintética y estas frecuencias son reflejadas en su mayor parte (reflectancia), es allí donde las bandas del sensor, en este caso del satélite Landsat, captan esta energía en sus bandas y la representa en altos valores de reflectancia en la

banda del rojo en caso de que exista vegetación, lo cual permite localizar ésta mediante la utilización de dichas imágenes (Olaya, 2011).

Para poder visualizar estos focos de vegetación que se encuentran activos fotosintéticamente, es necesario la utilización de un software que permita utilizar las bandas de la imagen satelital en composición de falso color, pudiéndose así localizar las zonas de vegetación por su coloración roja intensa, debido a la alta reflectancia que emite las plantas que es captada por el sensor y visualizada a través de su banda de infrarrojo cercano (Ariza, 2013).

Por ser el NDVI, el más utilizado, se hace necesario demostrar su expresión matemática;

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

La cual está representada por variables de R e IR , las reflectancias correspondientes al rojo e infrarrojo respectivamente, los valores de estos índices se encuentran en el intervalo de 1 y -1, identificándose las zonas sin vegetación más próximas a -1 y las de más abundante cobertura vegetal a 1. Este parámetro según Carvalho *et al.* (2014) expresa que a través de este se puede conocer los valores de reflectancia para cada imagen y para cada fecha, el cual es sensible a la cubierta vegetal del suelo, además que es sensible a otros niveles de reflectancia, donde se puedan discriminar visualmente y obtener valores que fundamente y validen los resultados obtenidos del desarrollo de la metodología multitemporal sobre las imágenes satelitales y la fotografía aérea, allí se podrá visualizar reflectancias que demuestran el avance o retroceso de ciertas coberturas a partir del análisis del comportamiento radiométrico, permitiendo la realización de valoración cualitativa por medio de la variación de los rangos del NDVI entre -1 y 1.

2.3.10. Modelo PFEIR como herramienta para el análisis.

Se caracteriza por presentarse como una potente herramienta para el análisis de las interrelaciones entre las dinámicas socioeconómicas y los impactos ambientales que repercuten en la sostenibilidad, en la medida que proporciona una visión de la degradación ambiental en relación con las causas directas e indirectas que la provocan, considerando el resultado de las fuerzas motrices que ejercen presión sobre el entorno, los recursos ambientales y naturales alterando en mayor o menor medida su estado inicial (AEMA, 1998).

El cambio se percibe como un impacto negativo cuando representa un deterioro de los ecosistemas, de los recursos y de los usos y servicios asociados, a través de este modelo se permite que socialmente se pueda activar una respuesta frente a estos impactos, tratando de corregir las tendencias negativas detectadas si es posible en origen, o sea reorientando las fuerzas motrices sin necesariamente renunciar a un desarrollo en términos de mejora de calidad ambiental reduciendo las presiones resultantes o mitigando o adaptándose a los impactos, para alcanzar el mayor equilibrio y mantener al máximo la funcionalidad del sistema con perspectivas de futuro Pulgarin , N (2011) adaptado por Parada, C. (2016).

El modelo se basa en una relación causal entre las presiones ejercidas por la actividad humana en el medio ambiente y las medidas establecidas como respuesta al impacto y al deterioro del estado del medio ambiente. Una variante del marco PER es el modelo FPEIR propuesto por la AEMA en 1998, que representa un sistema compuesto por indicadores de:

- *Fuerzas Motrices*: Describen los desarrollos sociales, demográficos y económicos que dan lugar a cambios en los modos de producción y consumo. La tendencia habitual al crecimiento poblacional, económico y del consumo presiona sobre el medio natural.

- *Presión*: Reflejan las causas de la degradación de la naturaleza como consecuencia de las fuerzas motrices descritas.
- *Estado*: Describen cómo se encuentran los elementos objeto de evaluación por acción de las presiones que se ejercen
- *Impacto*: Describen las modificaciones sobre el medio que producen las presiones
- *Respuesta*: Reflejan las acciones que se ponen en marcha por parte de determinados colectivos sociales (sobre todo instituciones administrativas) para frenar los problemas ocasionados por las fuerzas motrices, ya sea actuando en los factores de presión o de impacto o sobre el estado a través de la restauración.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El trabajo de investigación se constituyó de diversas técnicas y procedimientos que fueron aplicados para el desarrollo del presente trabajo, basados en el análisis preliminar en el estudio multitemporal de los procesos de cambio en el uso y cobertura de la tierra a través de sensores remotos durante el lapso 1991-2016.

3.1. Tipo de investigación

Se asumió una investigación de tipo descriptiva y utilizó un método de análisis multitemporal definido por la naturaleza del tema, ya que se llevó a cabo un análisis de la dinámica multitemporal de los cambios de uso y cobertura de la tierra a través de imágenes satelitales entre los años 1952 y 2016 en las microcuencas Torrenciales: La Charaveca – La Chivata (Municipio Cárdenas) y La Gurapa – La García (Municipio Andrés Bello), Estado Táchira.

La investigación es de tipo descriptiva y está compuesta con el apoyo de tipo documental y de campo, a fin de ampliar y profundizar el conocimiento. Atendiendo a ello, se considera que el presente estudio descriptivo, apoyo la investigación en un diseño documental y de campo, corroborándose en textos e investigaciones previas realizadas, artículos científicos de revistas, pero también en la recolección de datos directamente del área de estudio donde se realizó la investigación.

La metodología que se utilizó para llevar a cabo el estudio se subdivide en las siguientes fases:

3.2. FASE I: Caracterización físico-natural

3.2.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio está constituida por cuatro microcuencas torrenciales, que, según las toponimias asignadas, cartográficamente se denominan con el nombre de La Gurapa La García, La Charaveca y La Chivata, se encuentran ubicadas al noroeste de la ciudad de San Cristóbal, geográficamente se halla circunscritas entre las longitudes 72°07'42" y 72°12'57" O y entre las latitudes 7°49'30" y 7°49'18" N.

Según la configuración político administrativo del Estado Táchira, las mismas se encuentran ubicadas en los municipios Cárdenas y Andrés Bello. (Figura 3).

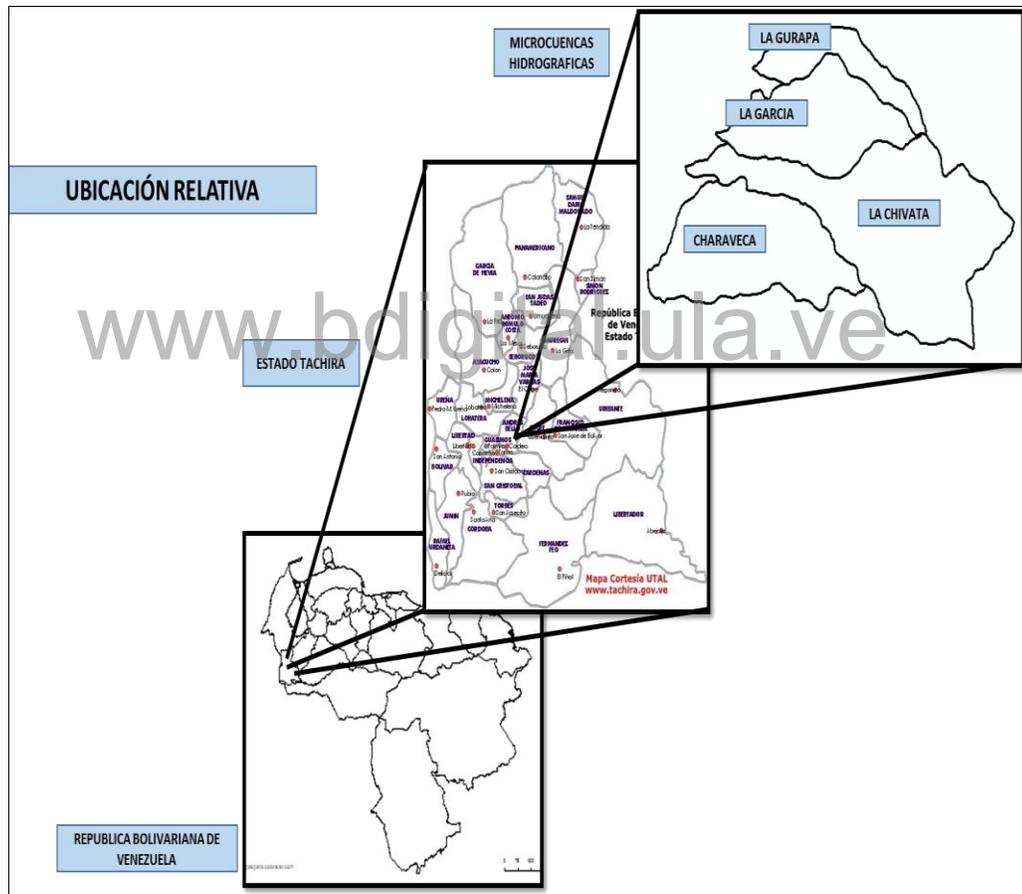


Figura 3. Ubicación práctica y relativa del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Clima.

3.2.2.1. Precipitación

Con respecto a los valores de precipitación, se tomó en cuenta las estaciones existentes en la cuenca media del río Torbes, pues las mismas ejercen influencia sobre la zona de estudio, por ser estas estaciones una de las más cercanas y las que podía ofrecer datos en variadas proporciones y para algunos años estudiados, estas estaciones fueron identificadas como:

Tabla 1.

Estaciones hidroclimáticas próximas al área de estudio.

ESTACION	LATITUD (N)	LONGITUD (W)	SERIAL	ALTITUD	PRECIPITACION PROMEDIO
LOS LAURELES	07°55	72°8	4018	1780	1231,62
PALMIRA	07°50	72°13	4027	1100	909,40
SAN CRISTOBAL	07°47	72°14	4038	830	1223,22
CORDERO	07°51	72°11	4016	1100	1196,98

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

A partir de los registros meteorológicos que se tiene disponibles para cada uno de los años, se evidencia una caracterización general del comportamiento de la lluvia y de los niveles de precipitación de la zona, estos muestran valores que indican que son altos y se mantienen durante una parte importante del año, y que por ser parte de un sistema incide sobre otro factores biogeoclimáticos susceptibles detonando una cadena de eventos que sumado con la incidencia antrópica han hecho que las áreas tomadas para la presente investigación se encuentren en un estado afectado, los valores de precipitación se especifican a continuación:

Tabla 2.

Valores de precipitación en mm para diversos años por estación hidroclimática que abarca las microcuencas objeto de estudio.

ESTACIONES PROXIMAS A LAS MICROCUENCAS										
MES	PALMIRA		LOS LAURELES			SAN CRISTOBAL				CORDERO
	1991	2016	1991	1997	2016	1991	1997	2004	2016	1983
ENE	*	*	1,3	93,1	1	2,8	73,4	4,6	0,4	17,6
FEB	3,5	*	3,3	41	150,8	25,6	52,6	24,4	0,8	77
MAR	28	*	134,9	44,3	112,2	35,6	13,6	19,4	1,8	170,8
ABR	53	*	150,1	46	150,8	68,2	81,6	106,8	93,4	84,9
MAY	66	*	57,9	48,8	89,6	121,4	62,2	179	144	164,9
JUN	61,8	*	106,9	120,1	154,6	101,2	204,8	*	199,8	115,4
JUL	120,8	112,2	156,2	188,8	132,2	285,1	106,4	*	231,4	270,4
AGO	80,9	79,4	161,1	145,1	91,6	190	256,4	*	200,6	270,5
SEP	152,5	60,4	80,3	59,1	78,2	157	249,4	*	110,6	345,5
OCT	40,4	109	108,3	51,1	156,6	136,6	165,6	*	142,6	495,4
NOV	52,9	130,6	133,4	40,4	166,2	*	106,4	*	135,6	6,4
DIC	27,7	93	39,5	31,8	100,8	*	34	*	113,2	148,1

Fuente: Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

En las microcuencas torrenciales de acuerdo al área de estudio, el (MINEA) Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas, indica que la precipitación media anual oscila alrededor de los 1100 mm a 1500 mm.

Ferrer (1977), establece que las precipitaciones en la zona tiende a disminuir debido a la orografía de los terrenos, teniendo su origen en la orientación de la cuenca mayor del río Torbes, lo que permite que las masas de aire cargadas de humedad provenientes de los llanos, se condensan y descarguen a lo largo de la zona de manera desproporcionada (Ministerio de Agricultura y Cría, 1974).

3.2.2.2. Temperatura

En cuanto a la temperatura, se tiene que las mismas varían en función de la altura, pues a mayor altura menor temperatura, oscilándose entre los 16 °C a los 24 °C, con una temperatura media anual de 21 °C, se corresponde con el piso climático mesotérmico, según la clasificación de H. Pittier (Ministerio de Agricultura y Cría, 1974).

3.2.2.3. Clasificación Bioclimática.

Las agrupaciones vegetales existentes, son el producto de la incidencia de condiciones climáticas y edáficas particulares, modificadas altamente por la incidencia del ser humano, sobre espacios naturales preexistentes, a lo largo de la cuenca del Río Torbes, y por ende en la zona de estudio perteneciente a la cuenca media del mencionado río, se pueden distinguir un conjunto de asociaciones vegetales que funcionan como las principales zonas de vida en el sector (Ministerio de Agricultura y Cría, 1974).

A partir de datos climáticos, precipitación, temperatura, humedad y altitud se determinó según Henry Pittier un piso Climático Macromesotérmico con un tipo de vegetación hidrofítica con un bosque ubicado entre Pluvial Nublado y Pluvial Montano, según las zonas de vida de la clasificación de holdridge (Ferrer, 1977) se encuentran en la zona de estudio:

- **Bosque húmedo premontano bajo (bhP)**, establecidos en altitudes que rodean lo 1300 msnm, se encuentra esta asociación vegetal, en condiciones naturales la vegetación es abundante y sus especies más comunes son: el mijao (*Anacardium Exselsum*), Apamate (*Tabebuia pentaphylla*), Bucare (*Erithrina poeppigiana*) y como vegetación secundaria predominan los Yagrumos (*Cecropia spp*).

- **Bosque húmedo Montano Bajo (bhMB)**, se encuentra establecido a una altitud aproximada mayor a 1300 msnm, abarca superficies importantes a lo largo de la cuenca y se caracteriza por estar presente en pendiente de alto porcentaje.
- **Bosque muy húmedo Montano (bmhM)**, este último para las partes mal altas del área objeto de estudio, son bosques muy frágiles a la intervención y su remoción desencadena procesos erosivos.

3.2.3. Hidrografía.

Las microcuencas torrenciales La Charaveca, La Chivata, La García y La Gurapa, forma parte de la Cuenca Hidrográfica del río Torbes (Ferrer, 1977), siendo este río a su vez afluente del río Uribante. Estas microcuencas vierten sus aguas al río Torbes en las cercanías a la ciudad de San Cristóbal, Cordero y Táriba, a una altura de 887 msnm aproximadamente. (Ministerio de Agricultura y Cría, 1974).

Las microcuencas en estudio (Figura 4), cuenta con una extensión total de 3.138,204 Ha, distribuidas: La García con 621,28 Ha, La Charaveca con 842,15 Ha, La Gurapa con 281,46 Ha y La Chivata con 1393,29 Ha; su altitud varía entre los 788 m.s.n.m. en la parte más baja o desembocadura de las microcuencas y sus mayores alturas son de 2503 msnm, correspondiente a las nacientes de los cuerpos de agua que conforman las microcuencas, entre estas altitudes presenta una diferencia altitudinal de 1597 m, lo cual juega un papel determinante en el comportamiento hidrogeomorfológico y morfométrico de la cuenca, lo que ha ayudado a determinar los cambios de uso y cobertura de la tierra a través del tiempo desencadenado la dinámica de los procesos de degradación ambiental.

La microcuenca de la quebrada La Gurapa presenta una altitud máxima de 1860 msnm y una mínima de 862 msnm lo que representa un desnivel de 862 msnm, la microcuenca de la quebrada La García presenta una altitud máxima de 1850 msnm y una mínima de 922 msnm lo que representa un desnivel de 928 msnm, con relación a

la microcuenca de la quebrada La Chivata presenta una altitud máxima de 2503 msnm y una mínima de 890 msnm lo que representa un desnivel de 1613 msnm siendo esta la microcuenca con mayor desnivel de la zona de estudio y por último en orden de ubicación la microcuenca de la quebrada La Charaveca con una altitud máxima de 1628 msnm y una mínima de 840 msnm con un desnivel de 788 msnm

A partir de la configuración de la Red hidrográfica, el comportamiento hidrológico de las microcuencas, varía ya que las cuatro microcuencas presentan una forma alargada irregular con un drenaje de forma de red dendrítico que especifican y reafirman su carácter torrencial, poseen y predominan las pendientes fuertes además de tener un almacenaje reducido, son sensibles a las lluvias de alta intensidad y de corta duración, que ocasionan crecidas torrenciales y por ende daños ambientales, económicos y humanos (Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Hidraulica, 2014 adaptado por Parada, C, 2015).

www.bdigital.ula.ve

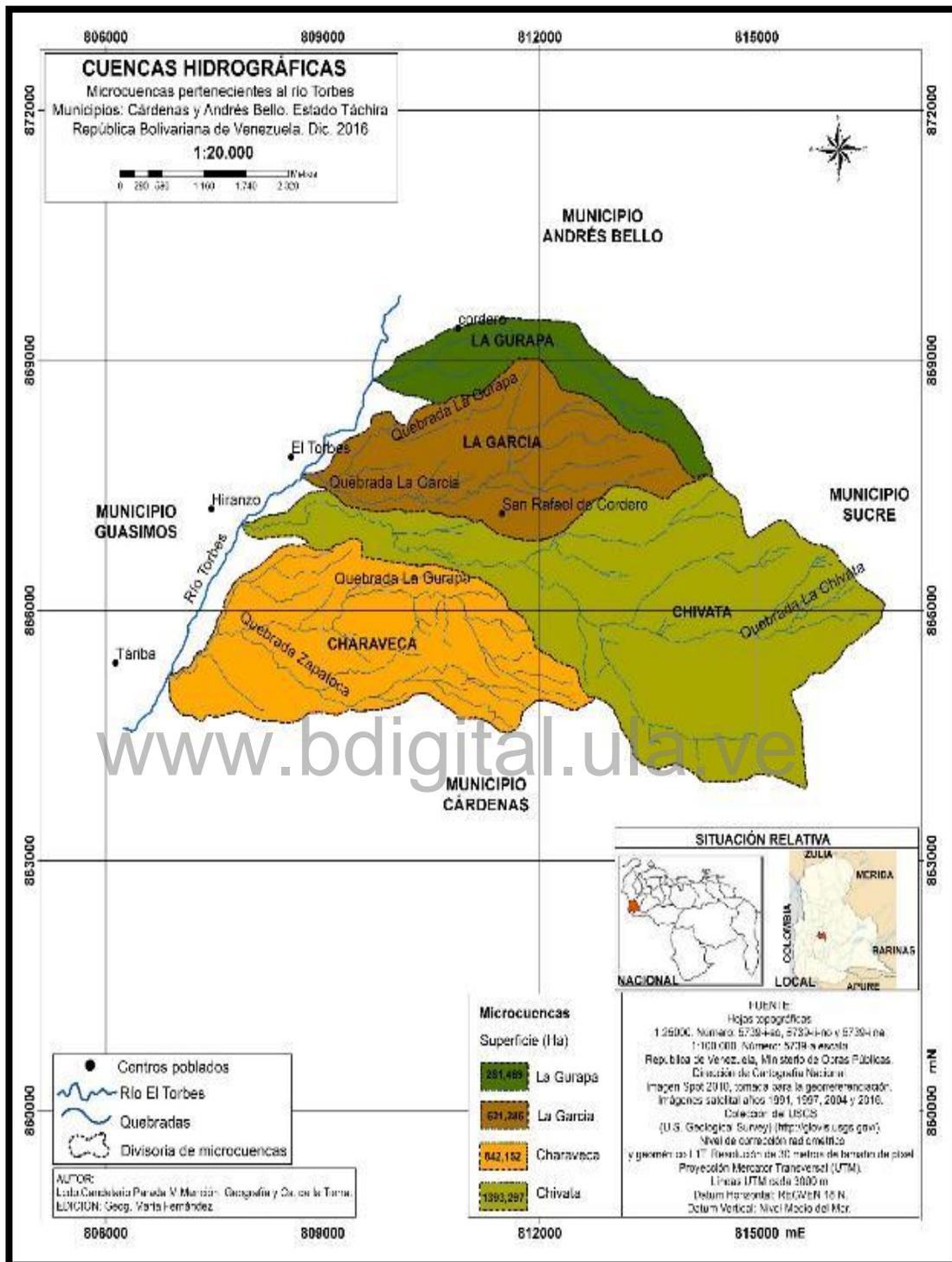


Figura 4. Mapa de Hidrografía de las micro cuencas La Guarapa, La García, Charaveca y Chivata 2016. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Geología.

Estas microcuencas de la cuenca hidrográfica del río Torbes (Figura 5), tiene su origen en el terciario superior, predominando un fallamiento vertical a lo largo de la cuenca. En la zona de estudio objeto de la presente investigación se encuentran una serie de formaciones entre las que se encuentran Formación la Quinta, Mucuchachi, Aguardiente Río Negro, Cuaternario y Luna, cada una con características y comportamientos propios que le dan ciertas condiciones de fragilidad a la zona (Ministerio de Agricultura y Cría, 1974).

En el área de estudio predomina la presencia de la formación la Quinta que abarca un 45% de la zona de estudio, consiste en una frecuencia interestratificada de materiales, que en la parte superior presente concentraciones de limolita y arenisca, intercalada con un material tobáceo de color rojo ladrillo y marrón chocolate (PDVSA, 2009), corresponden a sedimentos depositados al final del paleozoico, formándose un ambiente continental, acumulándose en surcos y fallas preexistentes, debido a su concentración en la parte superior presenta una característica plástica, ósea con altos porcentajes de lutitas, limolitas y areniscas y en algunas ocasiones calizas (Ferrer,1977).

Esta formación presenta altos contenidos de arcillas en forma de lutitas lo que las hace muy friable en seco y blandas al humedecer, esto hace que se fracturen al menor esfuerzo y permita sus movilizaciones sobre las vertientes, formando masas plásticas cuando presentan alta humedad y son muy sensibles a la erosión vertical de las corrientes de agua (Ministerio de Agricultura y Cría, 1974).

Con relación a la formación Mucuchachi, está compuesta por una secuencia de pizarras laminadas y pizarras limosas color negro a gris verdoso y representan aproximadamente un 10% del total del área de estudio, de igual manera se encuentran presentes las formaciones Río Negro y Aguardiente, constituidas por areniscas blancas, conglomerados de arcillas y lutitas con coloraciones que varían en amarillo,

rojo y morado en ocasiones puede confundirse con la Quinta debido a la suprayascencia de esta formación. La Luna cuenta con presencia de calizas y lutitas calcáreas fértidas con abundante materia orgánica (PDVSA, 2009).

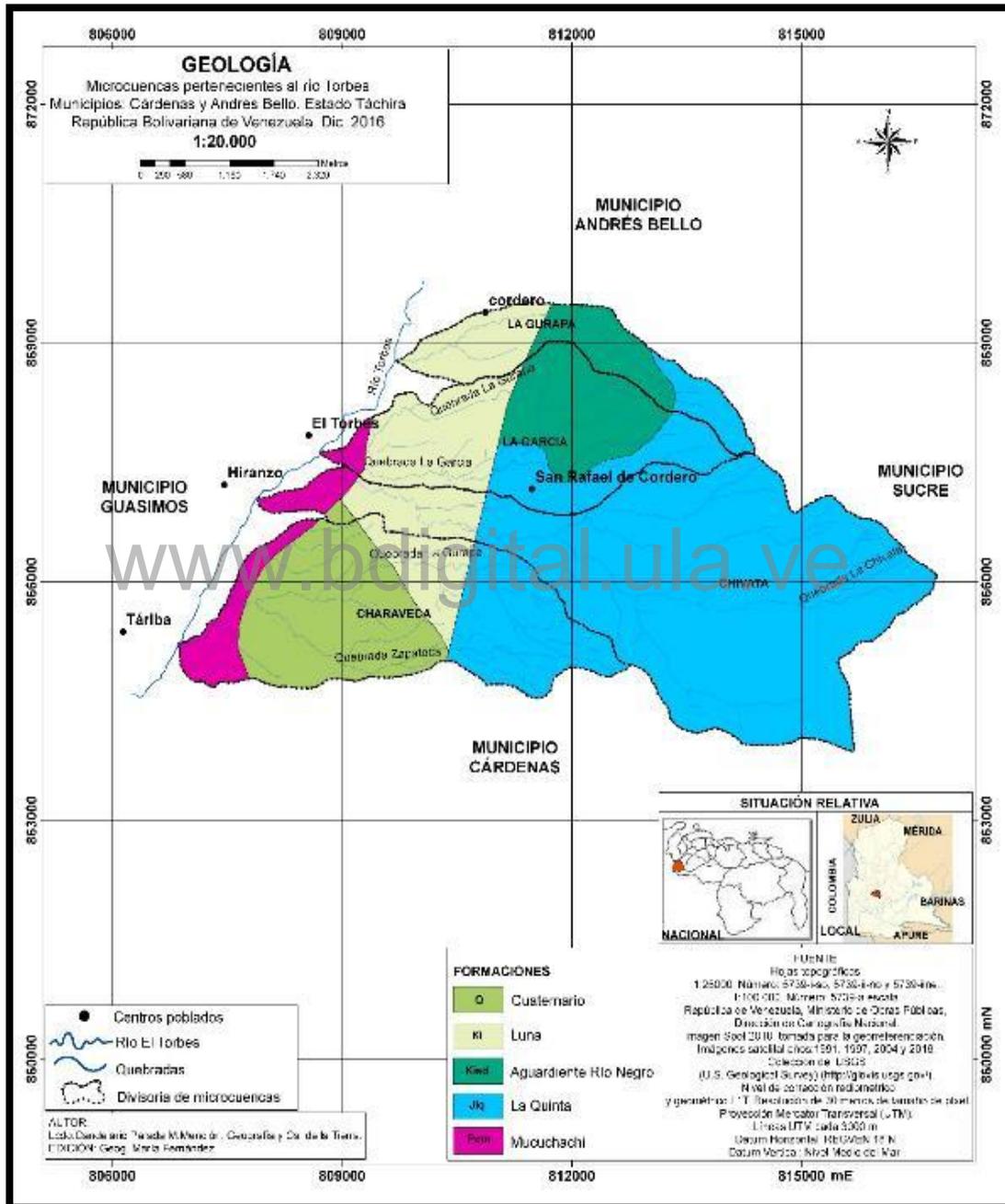


Figura 5. Mapa de Geología 2016. Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Geomorfología

Los procesos geomorfológicos que se encuentra presentes en el área de estudio están condicionados por una serie de factores entre los que se encuentran el relieve, la litología, condiciones climáticas y edáficas, cubierta vegetal y acción antrópica imprescindibles para poder comprender la dinámica geomorfológica, pues son factores que hacen favorables la ocurrencia de procesos erosivos importantes ya sea por movimientos de masa o escurrimientos concentrados (Ministerio de Agricultura y Cría, 1974).

Se toma como referencia la dinámica geomorfología existente en la cuenca media del río Torbes, por ser el área objeto de estudio parte de la misma se establece que esta zona está definida por la presencia de dos conjuntos montañosos que se encuentran paralelamente entre sí con una orientación norte a sur, estableciendo una relación en dos realidades comunes en las microcuencas de montaña, el sistema de vertiente y el sistema aluvial, existe una asimetría bastante pronunciada entre las vertientes y sus pendientes, característica que aumenta con la disminución de subcota, y esto aunado a la dirección que toma la cuenca y a su forma determinan las diversas concentraciones de humedad para las áreas Oeste más secas y para las Este más húmedas condiciones que influyen en los procesos geomorfológicos del sector (Ferrer, 1977).

De acuerdo a la dinámica aluvial, se evidencian procesos de acumulación, aporte y relleno de sedimentos en los fondos de valle, a partir de materiales que son aportados por medio de las vertientes donde ocurren desprendimientos de rocas y otros sedimentos en las laderas de las microcuencas, además del aporte de otros cuerpos hídricos afluentes de menor importancia, esto desencadena una activa dinámica de procesos de movimientos de masa característico de la zona a lo largo de las microcuencas (Ferrer, 1977).

Más del 50% del área total objeto de estudio, predomina vertientes de diversos grados de pendientes cuyo promedio se basa en 30% aproximadamente, sobre estas vertientes actúan una gama de procesos geomórficos, de acuerdo a los fondos de valle, se pueden visualizar claramente, configurados por restos de acumulaciones, la morfología de estos depósitos no son uniformes visualizándose entalles e irregularidades (Ferrer, 1977).

3.2.6. Suelos

Los suelos de la zona de estudio, se caracterizan por presentar procesos de levantamientos activos desde el cenozoico, configurando las cordilleras y las montañas en medias y altas, los suelos del sector son provenientes de materiales parentales como gneis, esquistos, granitos y diversas rocas sedimentarias, así como sedimentos coluviales, además los suelos de la zona de estudio se originaron a partir de la alteración de las rocas pertenecientes a la formación La Quinta, principalmente de limolitas que le da al suelo una coloración marrón rojiza (2.5 YR 4/4) (Ferrer, 1977).

Son suelos con referencia de una moderada profundidad, con contenidos medios a altos en las zonas más bajas de acumulación de materia orgánica, son moderadamente drenados por su litología y carácter formador, son continuamente sometidos al predominio de pérdidas por erosión y lixiviación, propio de los suelos de cuencas andinas altas, hidrográficamente son suelos que se encuentran en zonas subhúmedas, disponen de agua por más de tres meses pero menos de 9 meses lo que hace que presenten opción a ser cultivables en zonas de valles intramontanos con rellenos de sedimentos en las terrazas aluviales (Elizalde, Vilorio y Rosales, 2004).

De manera general, los suelos presentes a lo largo del Estado Táchira se caracterizan por estar en primer lugar dentro del orden de los Inceptisoles, pues presentan bajo grado de desarrollo y se caracterizan por ser bastante jóvenes en

evolución; en segundo lugar encontramos los Entisoles, caracterizados por ser los suelos más jóvenes según la Soil Taxonomy, con evidencias de desarrollo de horizontes pedogenéticos, se desarrollaron sobre material parental no consolidado, ambos ordenes de suelo pueden ser clasificado en subórdenes según la temperatura y humedad (Claves para la taxonomía de suelos, 2006).

Los suelos pertenecientes a la cuenca del Torbes y por ende a la zona de estudio, son bastante complejos se caracterizan por ser suelos pedregosos, bastante superficiales donde predominan las pendientes fuertes, sus texturas son muy variables desde arenosas a arcillosas, los colores predominantes son pardo oscuro, pardo amarillento, pardo, grises, amarillos y rojos, el pH varía desde ácido alcalino con estructuras débiles y fuertes producto de su geología, la zona objeto de estudio, está sujeta a graves riesgos de desmejoramiento y a muy severas limitaciones permanentes entre las que se incluyen pendientes pronunciadas, suelos superficiales y pedregosidad (CORPOANDES, 1974).

www.bdigital.ula.ve

3.3. FASE II: Materiales Requeridos

3.3.1. Imagen satelital SPOT-5 (Imagen de soporte Cartográfico)

Imagen satelital, multiespectral con un nivel de pre-procesamiento y corrección 1A, el cual presenta una corrección de los errores radiométricos, donde se modificaron los ND originales de la toma, (SPOT Image, 2005B), esta imagen fue referencia geométrica para la georreferenciación de los demás materiales requeridos.

Su fecha de toma, se estableció el 10 de enero de 2010, de referencia K=649 y J=334, es una imagen de medio digital que cuenta con cuatro bandas (Tabla 3). Cada banda posee 28721 filas y 29461 columnas. La imagen SPOT 5, fue cedida por el MSc Christopher Camargo, profesor adscrito a la Universidad Nacional Experimental del Táchira UNET.

Tabla 3.

Resolución espectral de imagen SPOT 5 (SPOT IMAGE, 2005). Fuente: Chuvieco, 2010.

BANDAS	SENSIBILIDAD ESPECTRAL
B1	VERDE: 0,50-0,59 μm
B2	ROJO: 0,61-0,68 μm
B3	INFRARROJO CERCANO: 0,78-0,89 μm
PANCROMATICA	0,48-0,71 μm

3.3.2. Cartas Cartográficas.

El material cartográfico utilizado, consta de 3 mapas topográficos emitidos por la dirección de Cartografía Nacional referidas a las hojas 5739-I-SO; 5739-II-No y 5739-II-NE a escala 1:25000, además de los mapas topográficos pertenecientes a la hoja 5739 a escala 1:100000, con las cuales se corroboraron las ubicaciones y las características espaciales del área de estudio.

3.3.3. Imágenes Landsat y uso del MDE

La necesidad de seleccionar un determinado tipo de sensor viene impuesta por las necesidades intrínsecas de los objetivos del proyecto, cumpliendo con ciertos parámetros de resolución espacial, temporal y espectral que permitan con el mismo alcanzar los niveles de las leyendas de las coberturas identificadas. A partir de ello se obtuvo el modelo digital elevación (SRTM), así como las imágenes satelitales de los diversos años (1991, 1997, 2004, 2010 y 2016) desde la colección del USGS (U.S. Geological Survey) (<http://glovis.usgs.gov/>) de distribución libre posee un nivel de corrección radiométrico y geométrico L1T, suficiente para este estudio, esta información espacial cuenta con una resolución de 30m de tamaño de píxel, todo ello aceptable para realizar la reclasificación de valores de pendiente, donde debido a sus

cualidades de exactitud y detalle digital permiten utilizarlo para la extracción de valores paramétricos.

Con relación a la Imágenes satelitales Landsat y debido a la necesidad de datos pertenecientes a diversas fechas, se manejó el uso de 7 imágenes para cinco fechas en específico, bajo diversos identificadores, las cuales se especifican en:

Tabla 4.

Especificaciones de los recursos digitales utilizados. Fuente: Elaboración propia.

PATH	ROW	LAT	LONG	SENSOR	AÑO DE REFERENCIA	FECHA DE ADQUISICION	TIPO DE IMAGEN	IDENTIFICADOR
007	055	8.18	-73,3	TM	1991	01-04-1991	Landsat 5	LT50070551991091CPE04
007	055	8.17	-73,4	TM	1991	03-05-1991	Landsat 5	LT50070551991123CPE00
007	055	8,16	-73,3	TM	1997	13-12-1997	Landsat 5	LT50070551997347CPE00
007	055	8,18	-73,3	ETM	2004	08-02-2004	Landsat 7	LE70070552004039EDC01
007	055	7,41	-72,16	HRVIR y VEGETATION	2010	10-01-2010	Spot 5	649-334/6.
007	054	9,7	-73,0	ETM+	2016	16-01.2016	Landsat 8	LC80070542016016LGN00

- Imagen Landsat 8 (2016), como imagen cortesía de Image Courtesy of the U.S. Geological Survey, es una imagen Productos de Nivel 1 Sistemático (L1G), productos de datos del tipo L1R con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas y muestreos para el registro en una proyección cartográfica, estos datos se encuentran referenciados al Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84).
- Imagen de la plataforma WEB de Imagen Landsat7 (1997), como imagen cortesía de Image Courtesy of the U.S. Geological Survey, es una imagen

Productos de Nivel 1 Terrain (L1T), Los productos de datos L1T consisten en productos de datos L1R con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas, utilizando para ello puntos de control terrestre (GCP) o información de posición integrada a bordo para obtener una proyección cartográfica, referenciada a WGS84, G873. Adicionalmente los datos también contienen una corrección topográfica por el desplazamiento del terreno debido al relieve.

- Imagen Landsat5 (1991), como imagen cortesía de Image Courtesy of the U.S. Geological Survey, es una imagen Productos de Nivel 1 Systematic (L1T), productos de datos del tipo L1R con correcciones geométricas sistemáticas aplicadas y muestreos para el registro en una proyección cartográfica, estos datos se encuentran referenciados al Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84), G873, o a su versión actual, Adicionalmente los datos también contienen una corrección topográfica por el desplazamiento del terreno debido al relieve.

Es importante hacer mención, que se utilizaron dos imágenes Landsat 5 para la fecha de 1991, debido a la cantidad de nube que poseía una y la otra, por lo que se hizo necesario poder interpretar y analizarlas por separado, en vista de que ambas son del mismo año, se presume que el cambio de las coberturas y el cambio general de la superficie del área no era significativo.

3.3.4. Otra información materiales y equipos

Los siguientes fueron los programas, equipos y otra información empleada.

SOFTWARES:

1. ArcGis10.3.
2. ENVI5.3.
3. SAGA Gis.

HARDWARE:

1. Computador portátil Lenovo G-450.

2. Procesador: Intel Pentium T4400 (2200 MHz).
3. RAM: 2GB DDR2 (800 MHz).
4. Pantalla: LED 14.0" (1366x768).

3.4. FASE III: Procedimiento

3.4.1. Creación de poligonales referentes a las microcuencas y posterior validación topológica.

A partir de la utilización de los mapas topográficos, y su respectivo proceso de georreferenciación realizado a ambos a través del Software Argis10.3, se realizó un solapamiento con el DEM Raster donde se pudo verificar las divisorias de aguas que componen cada una de las microcuencas torrenciales, de igual manera se utilizó como herramienta guía la imagen SPOT5, ya que debido a su resolución espacial y su optima apariencia visual permitió la verificación de las divisorias, luego de hacer la respectiva ubicación y localización espacial, además de la división de las 4 microcuencas torrenciales objeto de estudio, se procedió al levantamiento de los cuerpos de agua, a cuyos polígonos y líneas se les realizó una validación topológica.

Esta validación, es una aplicación de Geodatabase perteneciente al software ArcGis10.3 que permite realizar a las redes vectoriales creadas verificaciones de fallos, emitiendo una serie de errores para que puedan ser corregidos individualmente, tomando las decisiones de corrección según sea el tipo de error y el caso, todo ello con el fin de poder realizar análisis más precisos y exactos sin encontrar ningún tipo de error ya sea de punto, de línea o de polígono, evitándose de esta manera mediante las reglas topológicas que los polígonos no se superpongan aunque tengan limites compartidos y que las líneas no se superpongan debiendo estar conectadas en sus extremos según sea el caso, anidación de los polígonos dentro de sus estados (Navarro y Morte , 2013).

3.4.2. Corrección radiométrica de imágenes satelitales

Se observó un conjunto de alteraciones radiométricas que son debido a una variada serie de factores que hacen que los tonos y los colores de los objetos no sean las más idóneas para poder realizar los diversos procesamientos que amerita la imagen, por tal razón este tipo de proceso se llevó a cabo y se aplicó a las 5 imágenes Landsat utilizadas en la presente investigación componentes de la atmosfera producen un efecto de absorción y dispersión que modifican la señal procedente de la cubierta.

Así lo establece Evencio y López, (1997) en su metodología para imágenes Landsat, todo ello con el fin de acercarlo a una imagen tomada en condiciones ideales, bajo una recepción ideal, en ella se eliminaron las distorsiones atmosféricas así como los problemas radiométricos del mal funcionamiento del sensor (Hantson, *et al.*, 2011), este es originado a partir de la diferencia de sensibilidad entre los detectores elementales del instrumento de captura de imagen (igualación radiométrica), de igual forma es favorable para aumentar considerablemente las imágenes que pasan a 30 m.

La corrección Radiométrica/Atmosférica se realizó a través del Software ENVI 5.3, en el cual se ingresaron las diversas imágenes aplicándoles una serie de herramientas, como lo es el módulo FLAASH atmospheric correction model input parameters, el cual compensa los efectos atmosféricos, las propiedades tales como la cantidad de vapor de agua, distribución de aerosoles y visibilidad de la escena, luego con la herramienta BandMath se le asignó variables a la bandas de archivos $(b1 \leq 0) * 0 + (b1 \geq 10000) * 1 + (b1 > 0 \text{ and } b1 < 10000) * \text{float}(b1) / 10000$ con ella poder obtener un nuevo archivo de imagen, evidenciándose el cambio de los valores ND mayores que uno, llevándolos a valores entre 0 y 1 en niveles de reflectividad (Chuvieco, 2010).

Este tratamiento, consistió básicamente en la aplicación de algoritmos, tendentes a conseguir una mejora visual y general de la imagen a partir del análisis de las respuestas espectrales, a través de sus valores digitales de las diferentes coberturas territoriales existentes, lo que facilitó de gran manera el proceso de fotointerpretación, pues se discriminan mejor los contornos de las coberturas a interpretar. Luego de obtener el soporte cartográfico necesario se comenzó con la labor de fotointerpretación para las 5 fechas planteadas, pues la información espacial ya se encuentra corregida radiométricamente, corroborada geoméricamente y potenciada de manera visual se debió traspasar los valores de radiancia a reflectancias.

Para la aplicación de las correcciones se utilizó el programa ENVI versión 5.3 mediante los comandos Basic Tools, Band Math, a través de la entrada de expresiones matemáticas. El traspaso de los valores a reflectancias queda expresado por la siguiente ecuación (Sanhuesa, *et al.*, 2002)

$$p_{i,k} = \frac{B_n \times \pi \times d^2}{E \lambda_n (\cos \theta_i)}$$

Dónde: $p_{i,k}$ es la reflectividad del pixel i para la banda k

B_n = Banda corregida radiométrica y atmosféricamente.

$\pi = 3,1416$

d = es un factor que tiene en cuenta la variación de la distancia Tierra-Sol, y se calcula a partir del día juliano (J)

$E \lambda_n$ = es la irradiación solar en el techo de la atmosférica (exo-atmosférica)

θ_i = ángulo cenital solar.

Referente a la imagen Spot, no se le realizó ningún tipo de procesamiento ya que la misma fue procesada geométrica y visualmente en el Instituto Geográfico Simón Bolívar, allí se le aplicó un modelo de coeficientes de polinomios racionales RPC, utilizando las coordenadas geográficas del centro de la imagen, ondulación

geoidal, modelo digital de elevación. La imagen presentó un desplazamiento de aproximadamente medio milímetro, luego de ser ortorectificada con Envi, el cual fue corregido con la herramienta georeferencing de ArcGis, utilizando imagen pancromática 649-334 de 2.5 el tamaño del píxel, lográndose un mejoramiento de la imagen a la hora de realizar la interpretación visual de la misma. La imagen SPOT5 se utilizó para verificar igualmente que la posición espacial de las imágenes Landsat a partir de la ubicación de ciertos puntos, se encontraban geométricamente localizadas dentro de los parámetros espaciales requeridos.

3.4.3. Interpretación visual de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales, son en su mayor parte adquiridas en formato digital por lo que sus valores digitales pueden convertirse en intensidades de brillo o color con las cuales pueden generarse productos susceptibles a interpretación visual, igualmente requiere de un sistema informático para acceder a los datos, los cuales pueden ser visualizados en un monitor (Barredo, 1996).

Se utilizó esta técnica, con un entrenamiento previo, para que se pudiese analizar mental y visualmente las imágenes, se tomó en cuenta las claves de identificación representadas por tonos, texturas, tamaño, localización entre otras, haciendo posible una mayor exactitud más que la clasificación y análisis digital pues la técnica visual permite discriminar coberturas similares o con niveles de reflectancia iguales o similares (Chuvieco, 2010).

Para la realización de esta metodología se tomó en cuenta ciertos criterios con el fin de poder discriminar de manera más precisa las clases a utilizar, entre ellos se tomó: textura, estructura, emplazamiento, tono, sombras y contexto geoespacial, propias de los estudios bajos dimensión multispectral y Multitemporal.

Para llevar a cabo esta metodología se hizo necesario los siguientes pasos:

1. Definición dentro del objetivo.

2. Revisión bibliográfica de la metodología.
3. Trabajo de campo y acopio de información cartográfica y auxiliar.
4. Selección de la información de partida como sensor, fecha y planteamiento de la leyenda adecuada en este caso la metodología de clasificación de coberturas CLC.
5. Definición de las categorías a discriminarse a partir de la leyenda y el objeto de estudio.
6. Trabajo de Campo, familiarización con la imagen.
7. Interpretación de las cubiertas y demás coberturas tomadas en cuenta.
8. Revisión de Campo para la verificación de los resultados de interpretación.
9. Restablecimiento de la información a partir de la visita de campo.
10. Integración con el SIG, al momento de la digitalización y del tratamiento que se le aplique a la imagen.
11. Inventario de la extensión superficial de cada una de las categorías una vez se hallen representadas en un mapa de escala conocida.
12. Interpretación de la Cartografía resultante.

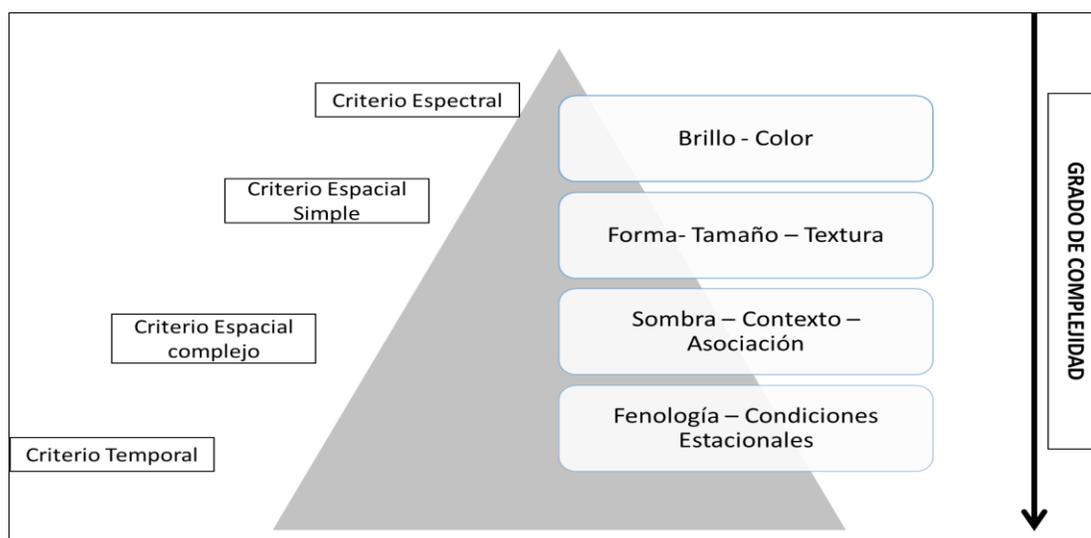


Figura 6. Organización jerárquica de los criterios de interpretación Visual. Fuente: Chuvieco 2010.

3.4.4. Metodología de análisis multitemporal

Se utilizaron procesos sistemáticos espaciales, ya que cumplen un papel esencial debido a su capacidad para el determinado estudio espacial que se realizó, y constituyó una fuente de valiosa importancia, para estudiar los cambios que se produjeron en la superficie terrestre, siguiendo indeterminadamente un fenómeno natural, para distinguir dos aspectos, tomando en cuenta la rapidez con que el fenómeno se produjo y otra, el cambio que implica; se tomó en cuenta la duración del fenómeno en el tiempo y un segundo aspecto se corresponde con la permanencia del fenómeno y los efectos de esta perturbación, que pueden variar desde pocos días a muchos años, es por ello que para desarrollar este proceso se buscó hacer diversas comparaciones de varios años (1991-2016) bajo diversas condiciones y así poder observar, en que condición se discrimina más un fenómeno o una determinada categoría de otra (Chuvienco, 1990).

El análisis multitemporal, que se lleva a cabo con las imágenes satelitales, se realizó, comparando las coberturas existentes, así como también los ND de las distintas fechas para el posterior desarrollo del proceso de fotointerpretación visual, atendiendo al cumplimiento de los objetivos planteados, el poder alcanzar un soporte cartográfico y lograr fuentes de información para la interpretación.

- Se seleccionaron las imágenes conforme a fechas tentativamente que abarcaran tiempos iguales, con uno o dos años de diferencia lo que facilitó la observación de las imágenes y permitió visualizar la existencia de cambios ocurridos en periodos relativamente iguales, de igual manera se hizo necesaria la aplicación de un serie de tratamientos de informáticos para conseguir de una parte la mejora de calidad visual de las mismas, fundamental para la discriminación de la unidades de información, en otra parte corroborar la geometría necesaria para convertirlas en una base de referencia cartográfica, todo ello a partir de la utilización de la imagen SPOT5.

- Luego de definir el área de trabajo, se procedió a rectificar los periodos intertemporales a ser evaluados, los cuales se determinaron en periodos de tiempo no mayores a 7 años, 1991-1997; 1997-2004; 2004-2010; 2010-2016 respectivamente.
- Una vez definido el material se procedió a la interpretación para la identificación, delineación y análisis de la cobertura de la tierra, a través del software ArcGis 9.3. La interpretación realizada como método de clasificación se realizó en primera instancia para la imagen del año 1991, allí se verificaron características visuales claves como patrón, tono, textura, forma y asociación, siguiendo las clases metodológicas que ofrece la CLC, facilitando de esta manera la extracción de la información espacial.
- La interpretación visual, se desarrolló para cada uno de los años obteniéndose así un mapa de coberturas en cada uno de ellos, los cuales fueron validados a través de un proceso de puntos experto a través del Software ENVI5.3. En este método de validación, se hizo necesario un recorrido de campo de la zona de estudio, a través de un marco de muestreo que contempla la significancia y la dificultad de interpretación de las clases, igualmente se hizo necesaria la importancia de un valor de índice de confiabilidad de los datos y de la interpretación visual de coberturas del presente trabajo, permitió generar medidas de fiabilidad de las mismas, siendo esta la medida en que la información recogida y procesada se corresponde con la realidad, o más exactamente con la metodología planteada a través de la clasificación de usos y coberturas que representa la leyenda.

3.4.5. Aplicación de la metodología Corine Land Cover

De acuerdo a la Leyenda que posee dicha metodología, y en correspondencia a la escala en que se trabajaron las imágenes satelitales, adecuado a 1:25000, tamaño que permitió una interpretación visual en pantalla aceptable, a partir de la aplicación

de técnicas de interpretación visual, se identificaron dos niveles de clasificación de dicha metodología, de acuerdo al nivel número 1 se identificaron los territorios artificializados, las zonas de territorios agrícolas y los bosques, las mismas fueron observables fácilmente al momento del análisis visual.

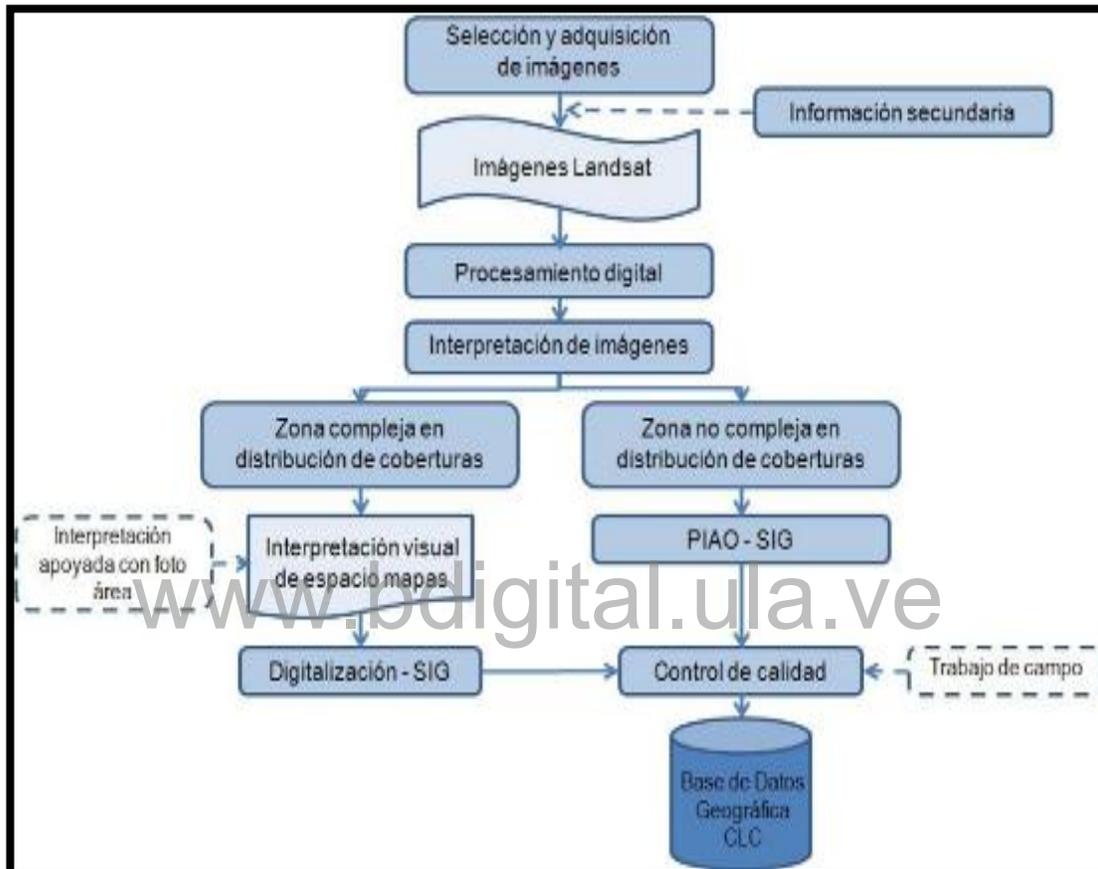


Figura 7. Metodología leyenda Corin Land Cover, (CLC). Fuente: IDEAM Colombia.

Con relación al nivel dos de la metodología Corine Land Cover, se identificaron 4 clases que son las zonas urbanizadas, pastos, bosques y áreas abiertas con poca o sin ninguna vegetación, donde se encuentran incluidas las áreas con altos índices de erosión, pudiéndose identificar por los niveles de reflectancia que emiten, forma, color y ubicación dentro de la cuenca, al igual que las clases anteriores, al momento de realizar el mapa de coberturas de uso se utilizó el software ArcGis 10.3.

Luego de tener este formato vectorial, a cada uno de los polígonos, se extrajo la información de esas mismas coberturas para cada una de las fechas que se están trabajando, obteniendo de ellas información importante de expansión o retroceso de los procesos de erosión en cuanto a áreas se refiere.

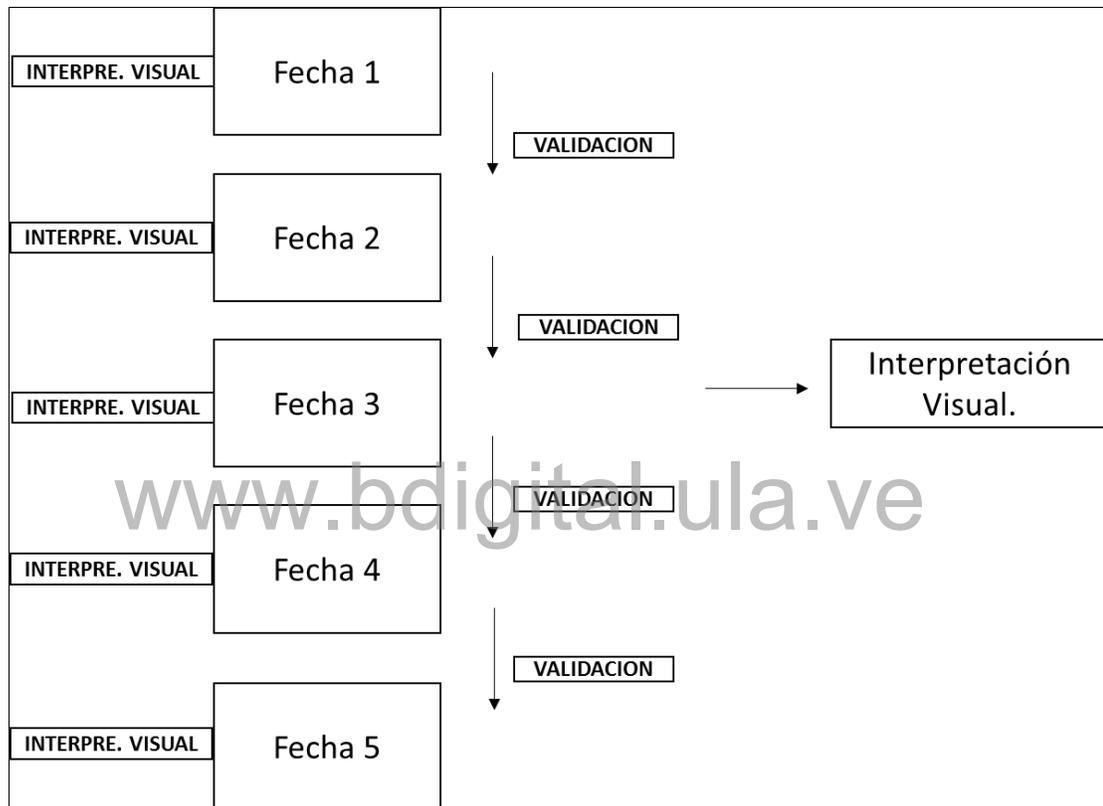


Figura 8. Procesos de interpretación visual y multitemporal para la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Precisión y validación de concordancias de la cartografía de las coberturas pertenecientes a la metodología CLC

A partir de la reclasificación de coberturas en la imagen satelital, a través de la aplicación de la técnica de interpretación visual se hizo necesario conocer los parámetros cuantificables y su exactitud en las coberturas generadas e identificadas

por medio de CLC a partir de la cual se obtuvieron los valores de la precisión global (Chuvienco, 2008; Congalton y Green, 2009).

Por ello, se obtuvo el estadístico K (Cohen, 1960), que permitió medir la precisión o acuerdo basado en la diferencia entre el error de la matriz y acuerdo en los cambios (Rosenfield y Fitzpatrick-Lins, 1986; Lacruz y Rojas, 2014 citados por Pacheco y Vilanova, 2015).

Luego, para poder clasificar un conjunto de capas en clases (coberturas de la tierra que fueron interpretadas visualmente) se contrastó el resultado obtenido, si disponemos de zonas conocidas de antemano a partir de la visita de campo para su comprobación. Comparando los valores de clase de estas zonas de comprobación y los obtenidos mediante la clasificación podemos obtener índices de concordancia que permitan juzgar la corrección de dicha clasificación, es por ello que, al validar una clasificación, comparamos la capa resultante de dicha clasificación con una segunda de valores correctos de clases.

Suele utilizarse estos métodos para comprobar la variación de clases a lo largo de un periodo, comparando mediante estas técnicas la capa correspondiente al inicio del periodo con la del final de este, en la cual puede describirse y cuantificarse el cambio sufrido por las clases. Este mecanismo es muy útil, para analizar el cambio en los usos de suelo de una zona y verificar que entre clases se dan los mayores cambios (los mayores errores de clasificación) o cuáles son las que presentan una clasificación más robusta, utilizando estos índices complejos que pueden calcularse a partir de los valores de la matriz de contingencias, se obtuvo el *Índice Kappa* de concordancia, cuya expresión es:

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

Este índice no presenta sesgo por una posible coincidencia casual de clases, ya que tiene en cuenta la posibilidad de que exista concordancia por azar, el índice

Kappa puede tomar valores desde -1 a 1, el valor 1 indica una concordancia completa, mientras que el -1 define una correlación de signo negativa, valores alrededor de 0 indican que no existe correlación entre las capas, valores por encima de 0.75 indican en general una muy buena correlación (Olaya, 2011).

3.4.7. Clasificación de las imágenes Landsat a partir del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI)

A través del software ENVI5.3, se realizó el proceso de cálculo del NDVI para toda el área que conforman las 4 microcuencas torrenciales, y para cada una de las imágenes satelitales con las fechas anteriormente planteadas, con el fin de poder obtener de la vegetación existente a lo largo de todo el área, parámetros y valores de vegetación en cuanto a su densidad, disminución o avance en algunos casos, y certificar por medio de esta el presunto retroceso de los bosques.

En términos generales, para cada imagen se realizó una reclasificación a partir de los datos del NDVI obtenidos luego de su procesamiento, detectándose la presencia de vegetación, a partir de las diferentes longitudes de onda, permitiendo interpretar estos resultados y reclasificando así el área objeto de estudio, verificándose y comparándose cada uno de los tres años con el fin de observar los diversos cambios que ha sufrido la cobertura boscosa en el lugar, representándose en mapas.

3.4.8. Análisis morfométrico a partir del DEM SRTM – 30

El análisis morfométrico del (DEM) Modelo Digital de Elevaciones estudia el relieve y la orografía de la superficie por esta definida, caracterizándolo a través de parámetros adicionales, cuyos resultados de los análisis sugieren la amplia aceptabilidad y aplicabilidad de la fuente de datos en la caracterización del terreno (Felicísimo, 2002).

Luego de la obtención del DEM se realizó, un análisis morfométrico de las microcuencas, permitiendo el estudio del relieve y la orografía de la superficie definida con antelación, a través del algebras de mapas se pueden determinar parámetros que se basan en análisis focales caracterizando el comportamiento del área, estos valores fueron calculados a través del proceso del Software SAGA Gis a través de la ejecución de sus módulos, lo que permite conocer los valores y las representaciones de las diferentes variables topográficas, entre los que destacan:

3.4.8.1. La Pendiente (Slope)

La pendiente se concibió como un punto del terreno y se definió como el ángulo existente entre el vector gradiente en ese punto, \mathbf{P} y el eje \mathbf{Z} (vertical). Este último se representa mediante el vector $[1\ 0\ 0] = \mathbf{H}$ (las componentes de los ejes X e Y son nulas). El ángulo α entre dos vectores, $[a_1\ a_2\ a_3] = \mathbf{A}$ y $[b_1\ b_2\ b_3] = \mathbf{B}$ (Felicísimo, 2002).

Se calculó este valor medio del declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de la vertiente sobre la cual se ubica la cuenca verificándose a través histograma de pendientes el cual permite conocer la distribución el porcentaje asociado a cada tipo de pendientes, establecidos en la Tabla de clasificación de pendientes (Pinherio y Tabora, 2014).

3.4.8.2. La Orientación (Aspect)

La orientación se determina de acuerdo a la orientación del río principal de la cuenca en relación al Norte y se considera su influencia especialmente en las zonas de ladera en donde la inclinación de las vertientes afectará la influencia solar. La orientación de la cuenca con respecto al movimiento del sol y a la interposición de las

cadena montañosas con respecto a las corrientes de aire, es un factor que influye en su comportamiento hidro-meteorológico (Felicísimo, 2002).

La forma en que las distintas orientaciones se congregan entorno a la media, relacionada directamente con la dispersión, puede servir para inferir la existencia de una dirección predominante o bien que los valores angulares se hallan uniformemente distribuidos. La comprobación de que existe una tendencia direccional es de interés para el estudio de muchos procesos tales como el estudio de la cantidad de humedad de las vertientes y fondos de valle, su orientación revela la presencia de algún factor que causa dicha predominancia en las direcciones, corresponde a la dirección o azimuth de la gradiente máxima. Se proyecta el vector de la gradiente máxima en el plano horizontal y el valor del azimuth de esta proyección constituye el valor del “aspect”. El valor del aspect varia de 0° a $+180^\circ$ cuando se va del Oeste al Norte y al Este. El valor del aspect varia de 0° a -180° cuando se va del Oeste al Sur y al Este (Olaya, 2011).

www.bdigital.ula.ve

3.4.8.3. La Curvatura (Classification of curvature)

La clasificación de los elementos de la forma de la tierra (Dikau, 1988) es probablemente uno de los métodos más simples, utiliza valores de umbral de curvatura que van de 0 a 8 respectivamente, derivados del DEM local resultante, se simplifican píxeles de vecindario. El umbral de curvatura establece, el límite entre las formas curvas y las planas. El método se aplicó dentro del SIG SAGA Gis, estas medidas geométricas de segundo orden, corroboran y aportan información referente a la concavidad y convexidad de la superficie en un punto dado, es así como en la imagen resultante se evidencian valores, que según Olaya, (2011), especifican que la curvatura es el inverso del radio ($1/R$) del círculo que ajusta a la curva en un punto dado. Por convención, es positiva en el caso convexo ($R > 0$) y negativa en el cóncavo ($R < 0$) Sarria.

3.4.8.4. Convexidad (Convexity)

Las medidas geométricas basadas en derivadas de segundo grado aportan información sobre la concavidad o convexidad de la superficie en un punto dado (Olaya, 2011); de igual manera este módulo indica el grado de convexidad/concavidad de la superficie del terreno en la dirección de la pendiente (longitudinal). Se determina mediante el radio de curvatura de la celda según un plano vertical. Se define como la tasa de cambio de la pendiente y depende de las derivadas de segundo grado de la altitud (Iwahashi y Pike, 2007).

3.4.8.5. Área Real (Surface Real)

Este algoritmo calcula la superficie real de la celda, en base a la superficie de la celda o área planimétrica (tamaño_celda X tamaño_celda) y la pendiente en cada celda. En términos sencillos no es la misma área medida en vista vertical de una celda en zonas planas y zonas con pendiente, entre más pendiente más aumenta el área en la celda (Camargo, 2012).

3.4.8.6. Índice de posición Topográfica (Topographic Position Index)

Se utilizó una clasificación de la forma del relieve se basa en un método animado, no supervisado y en algoritmos que demuestran cálculos dentro de un determinado tamaño de ventana, clasificado a partir de las propiedades de los datos del DEM, es así como se hace posible estimar el Índice de Posición Topográfica (TPI), el cual clasifica el paisaje de acuerdo a datos de pendiente, obteniéndose valoraciones numéricas que demuestran las áreas donde se ubican las cumbres, los fondos de valle, pendiente medias, valles estrechos y empinados, valles suaves, llanuras y pendientes abiertas.(Jennes, 2006; Genchi *et al.*, 2010).

Al momento de realizar la aplicación del módulo, se tomó como referencia la clasificación de los valores dados de la forma del terreno a partir de la clasificación morfológica del relieve de Uruguay basados en modelos digitales de elevación y técnicas geomorfométricas (Pinheiro, 2104).

Desde el punto de visualización aplicado, la salida de la herramienta se puede utilizar para describir las características físicas de una cuenca de drenaje para intentar entender los procesos de erosión y escorrentía. La pendiente afecta la tasa general de movimiento descendente. La orientación define la dirección del flujo. La curvatura del perfil afecta la aceleración y desaceleración del flujo, por lo tanto, influye en la erosión y la sedimentación, además influye en la convergencia y divergencia del flujo.

3.4.9. Modelo FPEIR (Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta) propuesto por la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente)

Para el caso de estudio luego de obtener resultados de lo antes descrito, y con el fin de obtener un análisis preliminar de la situación ambiental de las microcuencas en estudio, se empleó la metodología de la Agencia AEMA, ordenados según el esquema causa efecto - respuesta denominado FPEIR (Fuerzas Motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta).

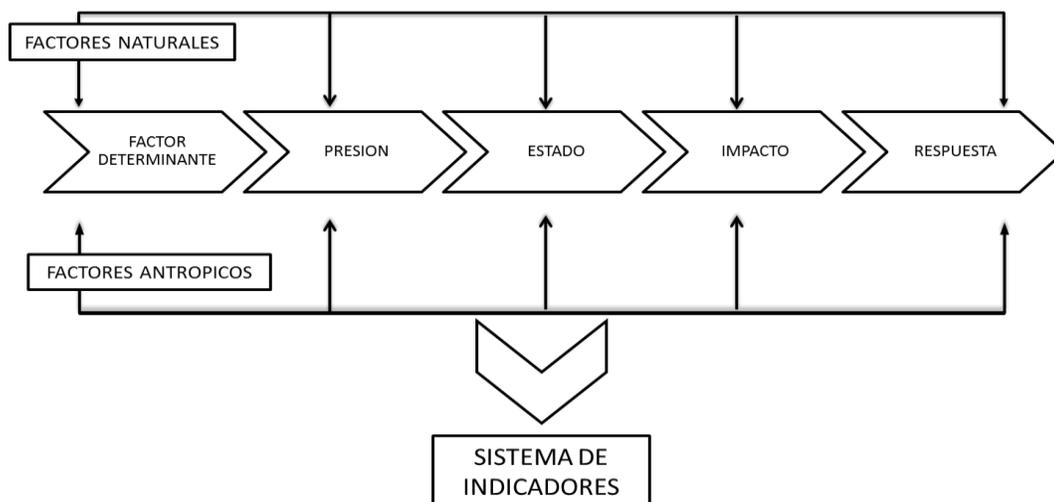


Figura 9. Modelo FPEIR. Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente, 2000.

Esta herramienta permite interrelacionar entre las dinámicas socioeconómicas y los impactos ambientales que repercuten en la sostenibilidad, en la medida que proporciona una visión de la degradación ambiental en relación con las causas directas e indirectas que la provocan, considerando el resultado de las fuerzas motrices que ejercen presión sobre el entorno y los recursos ambientales y naturales alterando en mayor o menor medida su estado inicial. (Pulgarin, N. 2011).

Una vez procesada la información, se desarrolla un modelo diagnóstico por medio de indicadores cualitativos y cuantitativos que permitan dimensionar la problemática en las microcuencas torrenciales La Charaveca, La Chivata, La García y La Gurapa, además del grado de influencia de cada uno de los ámbitos involucrados. Finalmente, se pueden proponer unas directrices para la gestión sostenible, que permitan un desarrollo continuo, integral y armónico ante la fragilidad del territorio buscando el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y mitigar problemas ambientales que se pudiesen presentar por movimientos en masa, crecidas torrenciales, entre otros. Pulgarin , N (2011) adaptado por Parada, C. (2016).

Finalmente, se pueden proponer estrategias y/o directrices para la gestión sostenible de la microcuencas, objetivo mundial al que ahora se apegan prácticamente todos los países, teniendo en cuenta la crisis ambiental y las desigualdades económicas existentes, entendiéndose la sostenibilidad desde su manera más amplio como la sostenibilidad ecológica, referida a la estabilidad de los sistemas físicos y biológicos; sostenibilidad social la cual supone la estabilidad de los sistemas sociales y culturales, en especial la preservación de la diversidad cultural en la tierra y en el uso de las prácticas de sostenibilidad y por último, y no menos importante la sostenibilidad económica que se basa en el máximo flujo de beneficios que pueden generarse con la misma cantidad de recursos en el desarrollo de la economía con restricciones ecológicas de los recursos naturales.

Una de las principales virtudes de esta metodología es la claridad con la que se puede exponer la información, para obtener una visión general de la situación, por lo que los resultados del análisis ambiental se sintetizará en fichas técnicas por indicador seleccionados para las microcuencas en estudio.

Esta concepción permite de esta forma, un desarrollo continuo, integral y armónico ante la fragilidad del territorio en búsqueda del mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes así como también, poder mitigar problemas ambientales que se pudiesen presentar como movimientos en masa, crecidas torrenciales, eventos extraordinarios, degradación de los suelos Pulgarin, N. (2011) adaptado por Parada, C. (2016).

CAPITULO IV

4. RESULTADOS.

4.1. Aplicación y resultado de la validación topológica

En todo caso, el interés académico desde una perspectiva cartográfica es evidente, puesto que se realizó el proceso de un modelo de validación topológica que constituye el marco regulador y de cálculo que garantizó el ajuste entre la realidad, el levantamiento o replanteo propuesto en la investigación y medición de campo corroborándose además la cartografía que se usó como referencia.

Se destaca en la investigación la necesidad de la información cartográfica o geográfica en estos estudios preliminares en el estudio multitemporal de los procesos de cambio en el uso y cobertura de la tierra a través de sensores remotos, cuyos procesos de alteración de datos, se evidenció una serie de errores por nodos, truncamiento de puntos, intercepción de líneas, superposición de polígonos, entre otros, los cuales se corrigieron a partir de las reglas aplicadas según sea el caso de líneas o polígonos, se buscó una dimensión de bases de datos SIG, donde se demostró la importancia de trabajar con criterios topológicos que permitan obtener geometrías de calidad y cotejar la información de campo con las bases de datos geográficas utilizadas obteniéndose así garantías de seguridad técnica (Hantson, *et al.*, 2011).

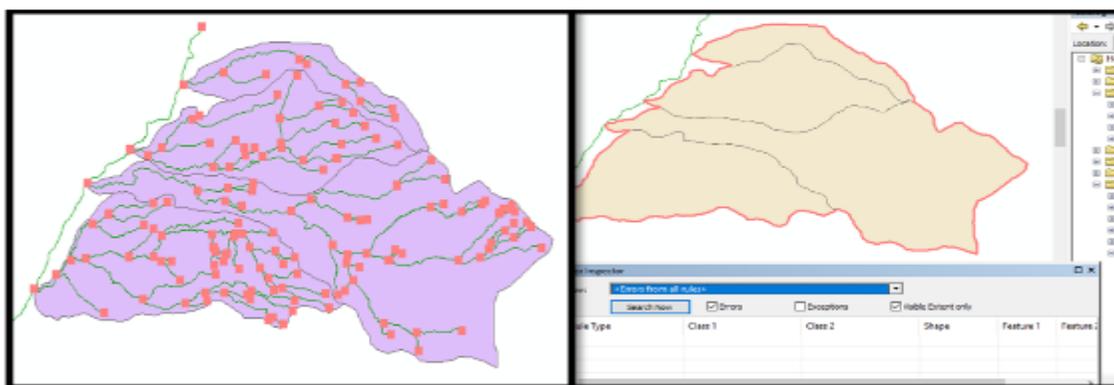


Figura 10. Resultados de la validación topológica de las líneas y polígonos.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Corrección radiométrica de las imágenes satelitales

En la corrección geométrica después de su procesado, y a partir de la aplicación del módulo respectivo se evidenció la obtención para cada fecha de los siguientes resultados:

Tabla 6.

Resultados del módulo flash de la corrección radiométrica. Fuente: Elaboración propia.

Resultados de El Módulo FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)		
Imagen y año	Visibilidad	Cantidad Promedio de agua
Landsat8 2016	96,6042 Km	1,82 cm
Landsat 7 2010	40,0949 Km	1,93 cm
Landsat7 2004	75, 6257 Km	1,93 cm
Landsat5 1997	45, 6257 Km	1,93 cm
Landsat5 1991	31, 2092 Km	1,93 cm
Landsat5 1991	12, 9490 Km	1,93 cm

A partir de la aplicación del proceso se evidenció valores espectrales que se obtuvo en el perfil espectral, los cambios de los ND, cuyos valores se transformaron, desde valores de radiancia a reflectancia, esto se realizó a cada una de las imágenes satelitales con las que se trabajó, cabe destacar que luego de la aplicación del módulo Flash, se obtuvieron los resultados que se pueden observar en la Tabla 7, allí se observa la cantidad de agua que se encuentra suspendida en la atmósfera para los años tomados en consideración observándose muy poca variación según la cantidad promedio de agua, posiblemente determinado a que se utilizó un mismo tipo de sensor, además de pertenecer a una misma zona de estudio y a una temporada del año relativamente parecida.

De igual manera, se puede observar que para cada una de las correcciones se obtuvo valores de reflectancia en un primer momento verificados por el perfil espectral, donde se evidencian valores que van desde 0 a 10000, allí se le aplicó el

proceso de BandMath, para transformar dichos valores a 0 y 1, donde 0 representa las zonas que emiten menor reflectancia y 1 las zonas con mayor reflectancia, encontrándose entre estos valores los siguientes.

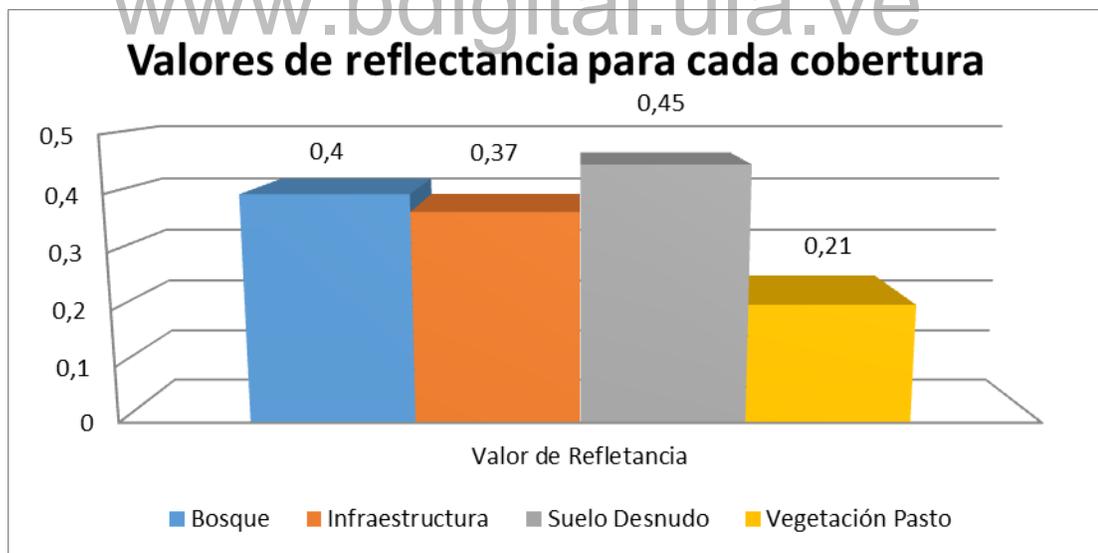
Tabla 7.

Resultados de la aplicación BandMath y transformación de valores de reflectancia para cada cobertura.

Cobertura	Valor de Refletancia
Bosque	0,40
Infraestructura	0,37
Suelo Desnudo	0,45
Vegetación Pasto	0,21

Gráfico 1.

Resultados de la aplicación BandMath y transformación de valores de reflectancia para cada cobertura en forma gráfica.



Estos valores se visualizaron bajo la representación gráfica del perfil espectral, que se evidencia en la figura 12 correspondiente al año 2016, para una misma cobertura de bosque medio antes (4a) y después (4b) de la aplicación del Ítem BandMath para la transformación de los valores de reflectancia a valores de

radiancia, todo ello en búsqueda de disminuir valores muy grandes de procesar y para ser leídos por la memoria del computador.

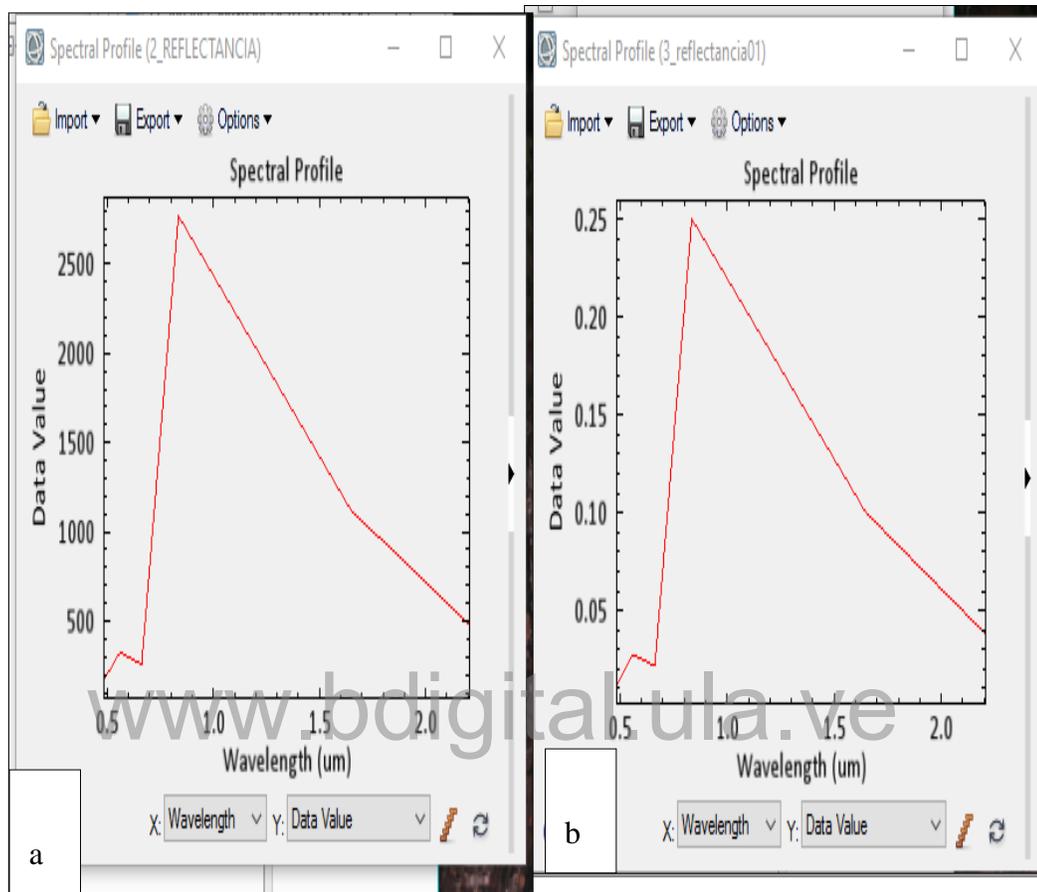


Figura 11. Transformación de valores de reflectancia a radiancia en la corrección radiométrica. (4a) y (4b). Fuente: Elaboración propia.



Figura 12. Mejoramiento visual a imagen Landsat a partir de corrección radiométrica del año 2010. Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey).

4.3. Interpretación visual de imágenes Satelitales y su validación respectiva

Posterior a la corrección Radiométrica hecha a las imágenes de los diversos años se procedió a realizar visualmente la clasificación de las coberturas tomando en cuenta la clasificación de la metodología CLC, de acuerdo al nivel de detalle y en vista de la escala de trabajo se hizo énfasis en 4 clases importantes, como lo son:

1. Zonas Urbanizadas.
2. Pastos.
3. Bosques.
4. Áreas abiertas sin o con poca vegetación.

Cabe destacar que se seleccionaron estas clases ya que se pueden discriminar claramente sobre las imágenes Landsat, debido a los ND de reflectancia que ella presenta, determinándose así una serie de cambios para cada una de las clases año por año, es decir se evidencia a partir de la visualización y análisis de las imágenes satelitales de Landsat observándose los avances y los retrocesos de dichas clases y como son sustituidas entre sí unas con otras producto de la intervención y avance socioeconómico para cada microcuenca y para cada área tomada en la presente investigación.

4.3.1. Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 1991

Se tomó la imagen Landsat 5 de fecha 1991, con el procesamiento respectivo y la corrección radiométrica de la cuenca, allí tomando las características, visuales anteriormente mencionadas se identificaron las coberturas obtenidas; es importante hacer mención que para poder llevar a cabo la interpretación visual de las microcuencas, se debió utilizar dos imágenes satelitales ya que por motivo de existencias de nubes se hacía imposible la verificación y categorización de dichas coberturas de acuerdo a la imagen interpretada, se tiene la existencia de las siguientes áreas:

Tabla 8.

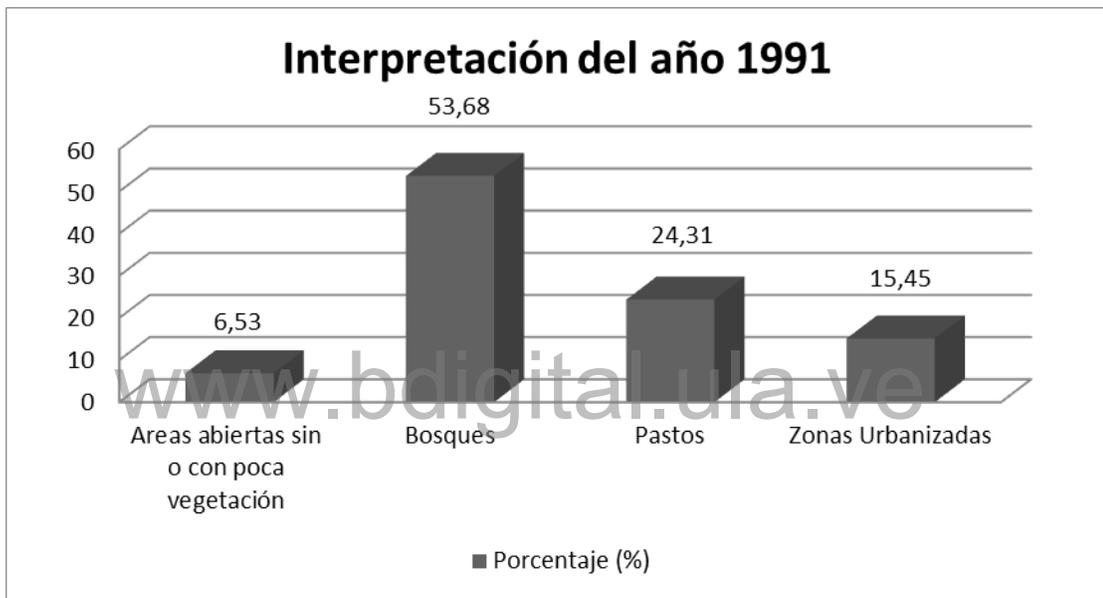
Categorías y superficies de terreno para el año 1991.

Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 1991.		
Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Zonas Urbanizadas	738,81	15,45
Pastos	1163,50	24,31
Bosque	2566,97	53,68
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	312,26	6,53
TOTAL	4782	100

Existiendo mayor cantidad de porcentaje, para la categoría de Bosques, representando un **53,68%**, mientras que los valores más bajos están representados por un **6,53%** correspondiente a áreas sin o con poca vegetación, siendo esta clase la que alberga las áreas erosionadas y de acuerdo a la Zonas Urbanizadas se tiene un **15,45%** del área total.

Gráfico 2.

Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 1991.



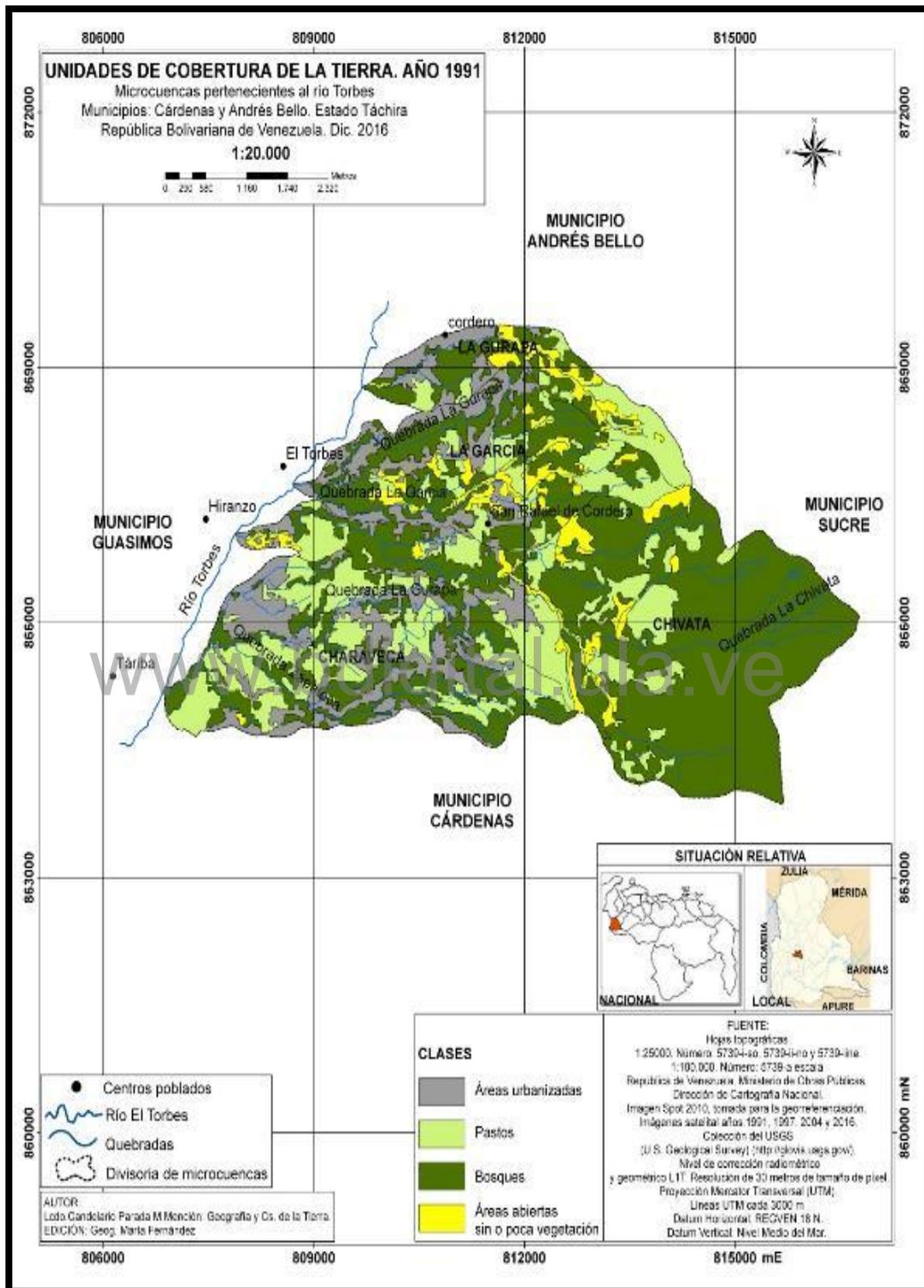


Figura 13. Mapa Unidades de cobertura de tierra año 1991. Fuente: Elaboración propia.

De igual manera es importante recalcar que a dichas interpretaciones se le aplicó un proceso de validación, con el fin de corroborar que las coberturas interpretadas son las existentes, utilizándose el software SAGAGis, se realizó un proceso con el fin de conocer los valores de clase de estas zonas de comprobación y los resultados obtenidos mediante la clasificación podemos obtener índices de concordancia que permitan juzgar la corrección de dicha clasificación, donde autores recomiendan al menos valores de 0.85 para considerar que la capa clasificada es operativa a efectos prácticos.

Se tomaron las capas vectoriales creadas con el fin de poder procesarlas por medio del módulo Imagery- Classification- Confution Matrix Two, obteniéndose una serie de valores de alta confiabilidad mayores a un 80%, demostrándose a través del resultado de índice de Kappa que las capas estaban totalmente correlacionadas, ya que el índice Kappa puede tomar valores desde -1 a 1. El valor 1 indica una concordancia completa, mientras que el -1 define una correlación de signo negativa. Valores alrededor de 0 indican que no existe correlación entre las capas y valores por encima de 0.75 indican en general una muy buena correlación (Olaya, 2011)

Tabla 9.

Índices de Kappa para cada año estudiado.

Año Interpretado	Índice de Kappa
1991-1997	0,9211
1997-2004	0,8864
2004- 2010	0,9305
2010- 2016	0,9456

4.3.2. Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 1997

Para la realización de esta interpretación se tomó en cuenta la imagen Landsat 7, con el fin de identificar las coberturas que existían para la fecha su distribución y su extensión.

Tabla 10.

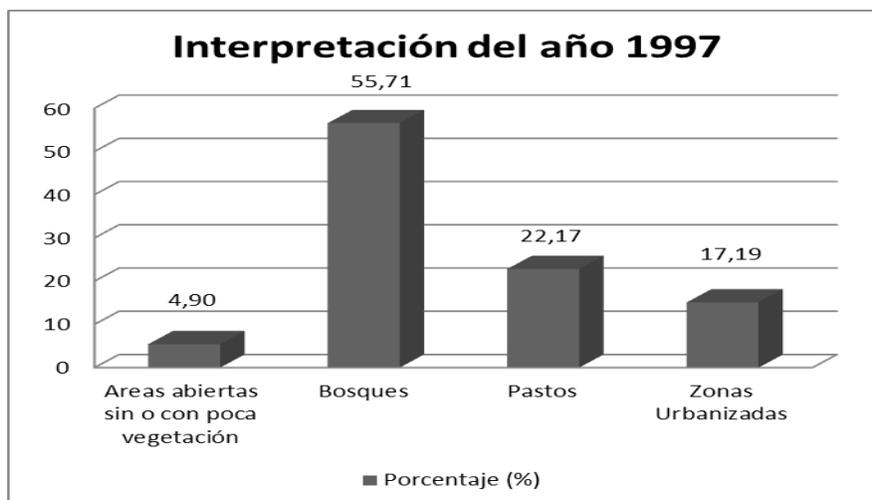
Categorías y superficies de terreno para el año 1997.

Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 1997.		
Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Zonas Urbanizadas	822,02	17,19
Pastos	1060,16	22,17
Bosque	2664,05	55,71
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	234,31	4,90
TOTAL	4782	100

A partir de los resultados obtenidos, se logra identificar que, de acuerdo a las clases utilizadas, un **55,71%** está representado por bosques, mientras que el valor más bajo correspondiente a un **4,90%** está representado por la clase de áreas sin o con poca vegetación y para las zonas urbanizadas se tiene que ocupa un **17,19%** todo ello a partir del área total, donde se especifican los valores por clase para la fecha.

Gráfico 3.

Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 1997.



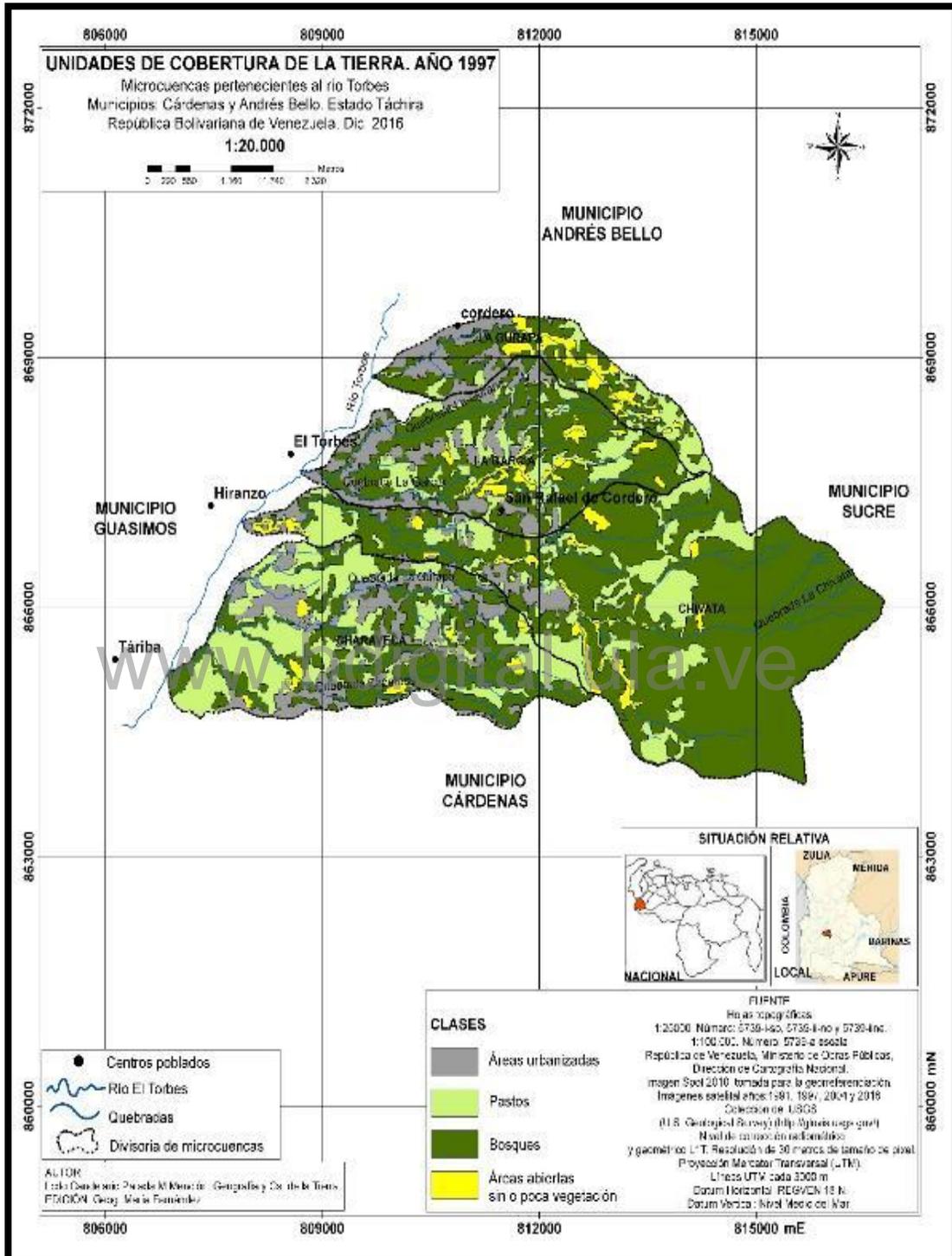


Figura 14. Mapa unidades de cobertura de tierra año 1997. Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2004

De acuerdo a la interpretación de la imagen Landsat para la fecha, se logra constatar la ocupación de las coberturas tomadas en cuenta e interpretadas visualmente, teniéndose que el mayor porcentaje igualmente lo cubre las áreas boscosas con un **48,83%**, seguido de la cobertura de pastos con un **22,77%**, recordando que las áreas boscosas son las áreas que se encuentran en las partes altas de las microcuencas, que debido a su pendiente y su características biofísicas en algunas situaciones no ha permitido el avance de la intervención socio económica, para esta clase de Zonas Urbanizadas se tiene un **21,73%** de ocupación del área total.

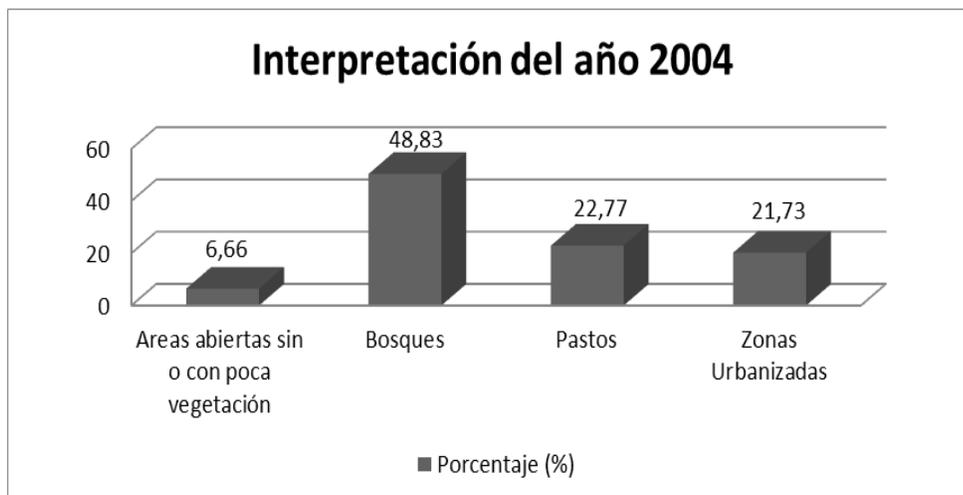
Tabla 11.

Categorías y superficies de terreno para el año 2004.

Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 2004.		
Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Zonas Urbanizadas	1039,12	21,73
Pastos	1038,86	22,77
Bosque	2335,05	48,83
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	318,48	6,66
TOTAL	4782	100

Grafico 4.

Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2004.



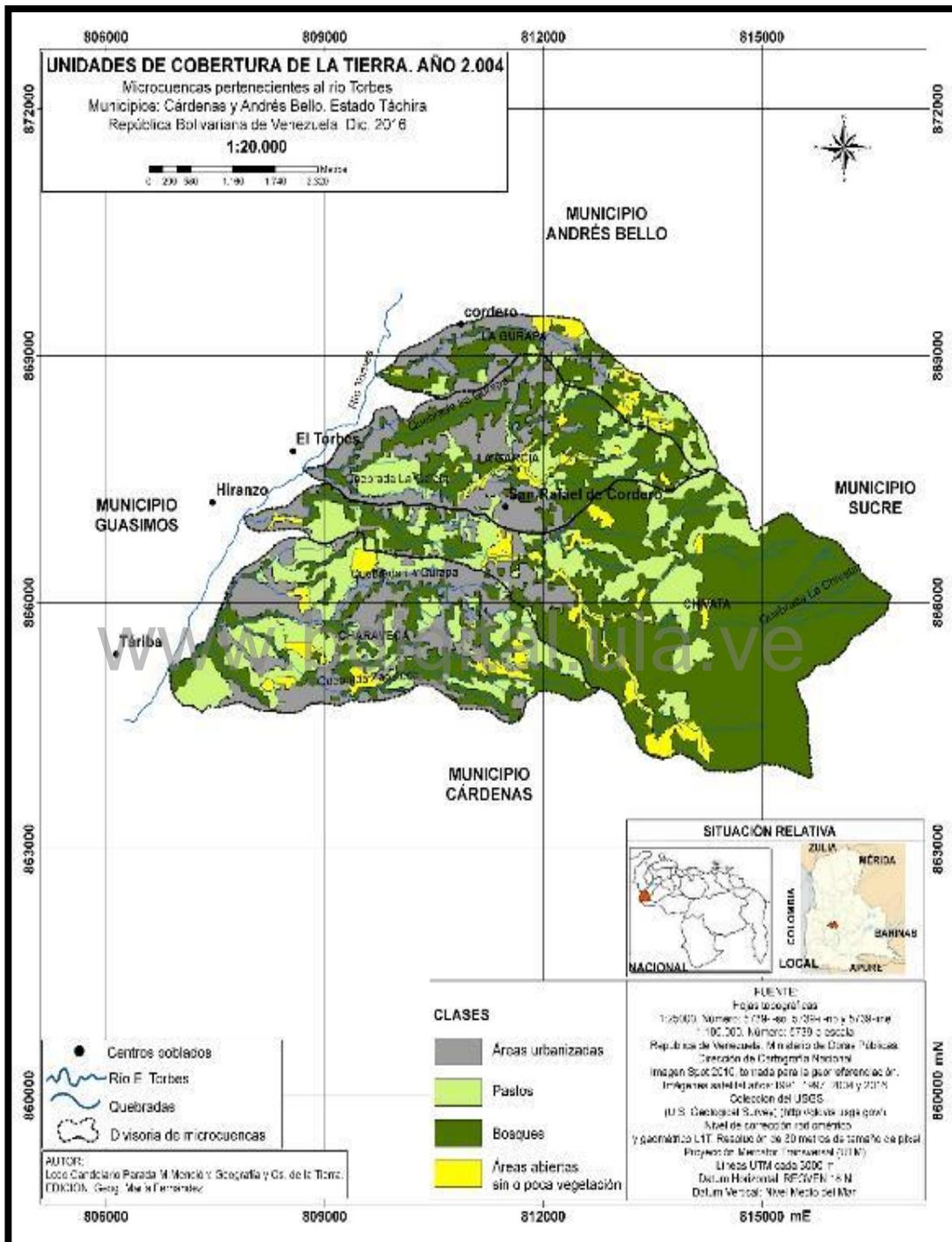


Figura 15. Mapa Unidades de cobertura de tierra año 2004. Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2010

De acuerdo a la interpretación realizada a esta imagen, se evidencio que el área boscosa predomina en la zona con un **44,14%** con el porcentaje más alto de ocupación, mientras que la cobertura de áreas abiertas con o sin poca vegetación ocupa el mínimos porcentaje con un **4,35%** existiendo desde la primera fecha de la investigación, variaciones espaciales de áreas y sus coberturas, mostrando ciertos cambios de avance o retroceso, a partir de dichas superficies, evidenciándose igualmente en la cobertura de áreas urbanizadas que para la fecha ocupaban un **24,23%**. (Tabla 12).

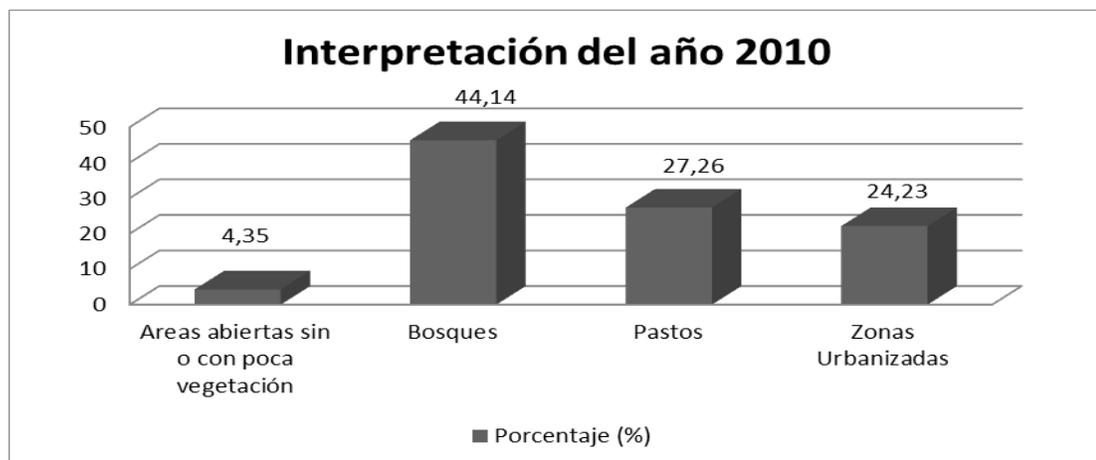
Tabla 12.

Categorías y superficies de terreno para el año 2010.

Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 2010.		
Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Zonas Urbanizadas	1158,67	24,23
Pastos	1303,57	27,26
Bosque	2110,77	44,14
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	208,01	4,35
TOTAL	4782	100

Gráfico 5.

Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2010.



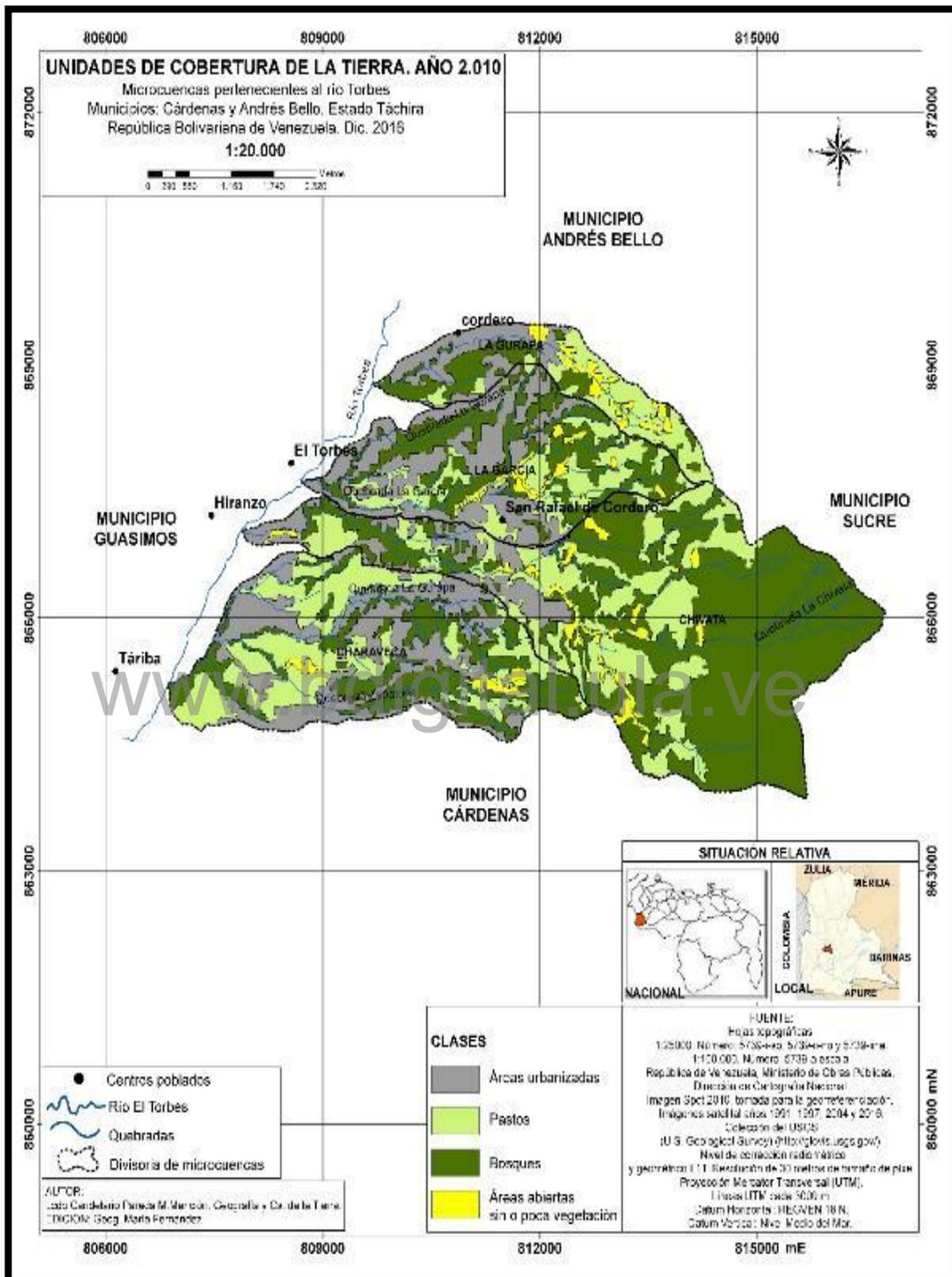


Figura 16. Mapa Unidades de cobertura de tierra año 2010. Fuente: Elaboración propia.

4.3.5. Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2016.

Se observa en la presente interpretación para el último año que permanecen los porcentajes mínimos y máximos para las mismas coberturas que se han tomado en cuenta en las demás fechas anteriores, para la clase de áreas abiertas sin o con poca vegetación ocupa un **4,98%**, mientras que para las áreas cubiertas con bosque ocupan un **43,29%**, lo que quiere decir que se mantienen las coberturas pero con variaciones entre sí y con distribución diferente, igualmente observable en las Zonas urbanizadas con un **25,49%** de ocupación, así se evidencia en el mapa correspondiente a la fecha.

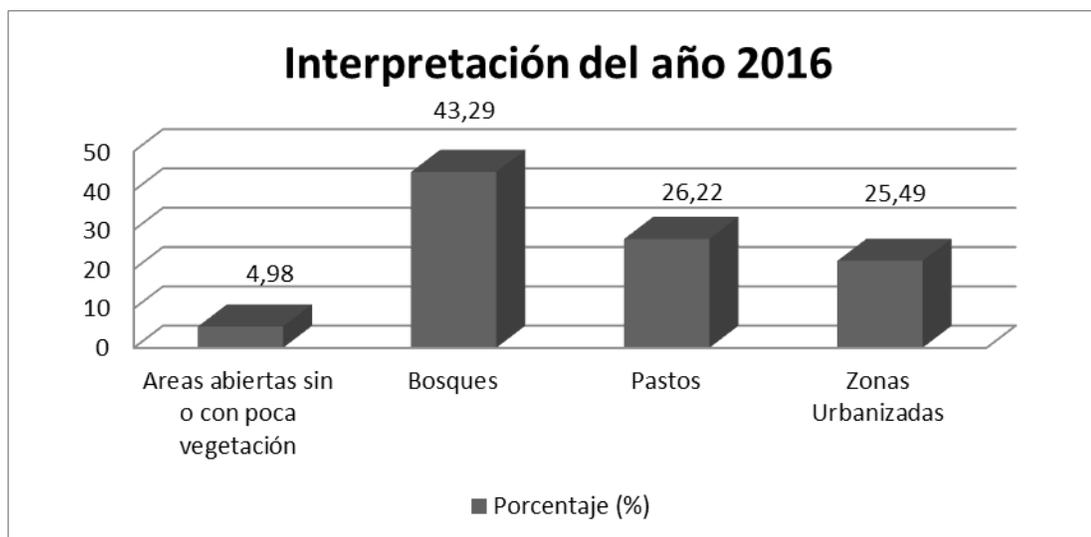
Tabla 13.

Categorías y superficies de terreno para el año 2016.

Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 2016.		
Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Zonas Urbanizadas	1218,93	25,49
Pastos	1253,84	26,22
Bosque	20170,12	43,29
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	238,14	4,98
TOTAL	4782	100

Gráfico 6.

Interpretación visual de coberturas para imagen Landsat año 2016.



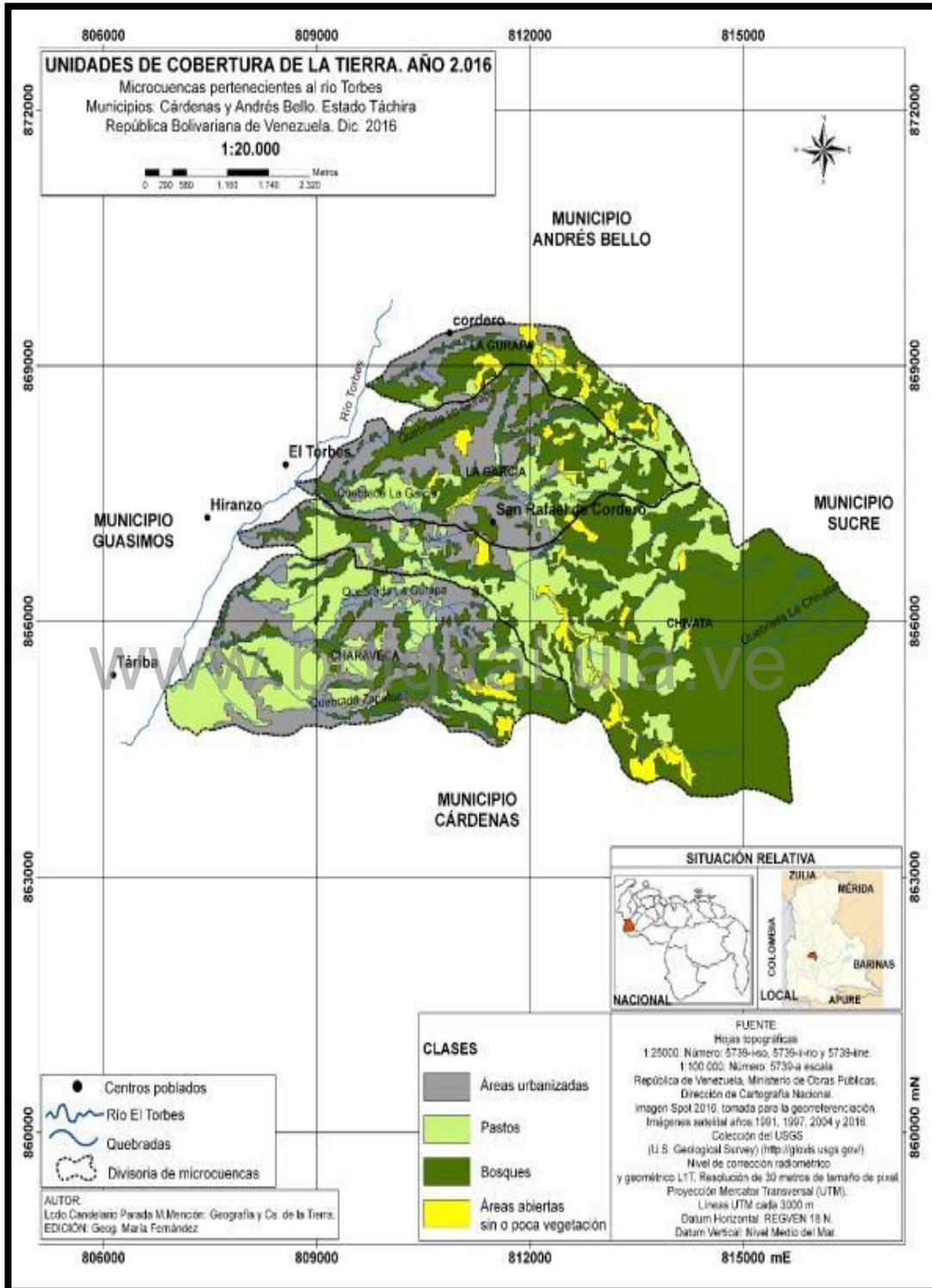


Figura 17. Mapa Unidades de cobertura de tierra año 2016. Fuente: Elaboración propia.

4.4. Matrices de cambio a partir de la interpretación de capas vectoriales de interpretación entre 1991-1997; 1997-2004; 2004-2010; 2010-2016

Luego de realizada la interpretación visual en pantalla con fundamento de campo sobre las imágenes Landsat, se procedió a crear las matrices de cambio con el fin de poder mostrar los cambios del uso del suelo para las cinco fechas, se realizó un proceso computarizado de comparación entre las imágenes utilizadas (capa vectorial de 1991 con capa vectorial de 1997, capa vectorial de 1997 con capa vectorial del 2004, capa vectorial del 2004 con capa vectorial del 2010, capa vectorial del 2010 con capa vectorial del 2016), todo ello con el fin de generar una unión de polígonos de ambas capas a las cuales se les calculo el área correspondiente. El cruce de datos permite ubicar con gran precisión las permanencias y transformaciones de las coberturas a lo largo de las fechas. A fin de mostrar los datos de manera comprensiva se construyó una “matriz de cambios” que permite saber hacia dónde se orientaron los cambios de usos del suelo.

Al realizar la intercepción de datos, la respectiva tabla de atributos resultantes nos muestra los cambios de coberturas que existieron y cuales coberturas se transformaron unas a partir de otras, como se visualiza en la figura. (ver figura), se le practico otros procesos por medio del software SAGAGis con el fin de disolver sus polígonos resultantes, luego de ello se interceptan nuevamente esas tablas resultantes y se obtuvo los cambios desde el punto de vista cartográfico y de valoración numérica que existieron, para efectos del presente trabajo se realizaron los procesos de obtención de matrices de cambio para las fechas de 1991-1997, 1997-2004, 2004-2010, 2010-2016 con el fin de obtener las transformaciones sucedidas de esa fecha a otra.

Los valores resultantes son tabulados y plasmados dentro de una matriz que muestran los valores de cambio para cada una de las clases y como se ha distribuido esa parte que se transformó en las demás clases, recordando que la pérdida de una cobertura es la ganancia de otra y dentro de la dinámica geoespacial que se suceden en los espacios es el común observar zonas de cambio de uso drástico.

Se debe tomar en cuenta, que existe un margen de error al momento de realizar la interpretación visual de imágenes, se debe tomar en consideración el tipo de imagen, la visualización que se tenga de esta, el adiestramiento que tenga el intérprete y sobre todo los niveles de reflectancia que se puedan identificar, ya que siempre existirán coberturas que tiendan a confundirse debido a la influencia ambiental y atmosférica que se tenga para el momento de la interpretación haciendo que tenga coloraciones similares al ojo humano difícil de encontrar los límites una de otra cobertura clasificada, en este caso se observan algunos cambios no adecuados de una cobertura a otra pero si se compara con el tamaño total del área no representa mayor importancia, pues se está visualizando lo que se presumía y los resultados esperados son acertados en cuanto a los cambios ocurridos entre estas coberturas, cuyo resultados se corroboran con los demás resultados obtenidos de datos espaciales procesados los cuales arrojan no los mismos valores pero si las mismas inclinaciones de cambio, lo que hace que estos resultados sean ideales y aceptables para la investigación por la magnitud preliminar que se logró demostrar, de acuerdo a las matrices obtenidas a partir de la interpretación se tienen:

4.4.1. Matrices de Cambio a partir de la intercepción de capas vectoriales de interpretación para 1991-1997, 1997-2004, 2004-2010, 2010-2016.

A partir del análisis de las coberturas de la tierra, se observan algunos cambios drásticos producto de la misma intervención socioeconómica que se le ha realizado al espacio o derivado de la categorización de coberturas en las tablas de atributos como método de introducción de información por transcripción, sin embargo, se puede

observar para estas fechas la obtención de resultados que manifiesten las transformaciones como lo exponen en la tablas siguientes, donde los mayores cambios han sido dados en las coberturas de bosque y pastos, pero se observó alarmantemente que la cobertura de zonas urbanizadas ha ganado terreno, disminuyendo la zona de bosques y la zonas de pastos, además se observa el aumento en un periodo y a su vez la disminución de las zonas abiertas o con o sin vegetación, aunque estas han disminuido los nuevos focos erosivos se ubican en zonas que representan en algunas ocasiones riesgos para las poblaciones emplazadas en la zona.

En general, se percibe que todas las categorías muestran cambios en el primer período intertemporal. No obstante, se puede señalar que las categorías relacionadas con la vegetación natural son las que experimentaron mayor cambio dada la superficie que abarcan. En este caso destaca la categoría bosque y pastos que son las que muestran para el momento mayor transformación de cambios, pudiendo ser observable a partir del análisis de la expansión de la intervención a través de los años, en este caso 5 fechas.

Tabla 14.

Matriz de cambio entre 1991-1997.

91 \ 97	Zonas Urbanizadas	Pastos	Bosques	Áreas abiertas sin o con poca vegetación
Zonas Urbanizadas	442,85	26,77	2,86	0
Pastos	34,90	687,21	234,31	10,04
Bosques	55,94	59,77	2668,3	72,68
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	1,43	55,94	124,33	303,70

Tabla 15.

Matriz de cambio entre 1997-2004.

97 \ 2004	Zonas Urbanizadas	Pastos	Bosques	Áreas abiertas sin o con poca vegetación
Zonas Urbanizadas	383,99	4,03	0,47	12,43
Pastos	633,64	637,44	116,20	6,21
Bosques	137,72	262,57	2545,45	178,36
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	27,73	32,03	87,51	285,96

Tabla 16.

Matriz de cambio entre 2004-2010.

2004 \ 2010	Zonas Urbanizadas	Pastos	Bosques	Áreas abiertas sin o con poca vegetación
Zonas Urbanizadas	744,07	0,95	0,95	0,09
Pastos	32,99	765,12	82,25	6,21
Bosques	61,68	232,40	2347,96	14,34
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,11	101,35	57,38	319,43

Tabla 17.

Matriz de cambio entre 2010-2016.

2010 \ 2016	Zonas Urbanizadas	Pastos	Bosques	Áreas abiertas sin o con poca vegetación
Zonas Urbanizadas	848,32	0,47	0,47	0,47
Pastos	21,51	916,70	111,42	48,73
Bosques	35,58	150,63	2262,36	40,64
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	0,95	64,55	30,12	280,22

De acuerdo a estas matrices, para la transición entre el año 1991-1997 los mayores cambios ocurren entre las coberturas de pastos a bosques con 234,31 Ha, mientras que de las áreas abiertas con o sin vegetación a bosque hay un 124,33 Ha aproximadamente, ello referente a los planes de reforestación que se llevaron cabo para la época en la micro cuenca de la quebrada de La Machirí y sus alrededores, además que también este avance se da, debido a la recuperación natural en la zona alta de la quebrada La Chivata, allí se observa la transición que existió de áreas de pasto a bosque presumiblemente, anterior a los años de estudio.

De acuerdo a la transición existente entre los años 1997-2004, se observa que los mayores cambios están dados en la cobertura de bosques, existiendo un cambio entre la cobertura de bosque a pasto en 262,57 Ha, mientras que de bosque a áreas abiertas con o sin vegetación se observa un cambio de 178,36 Ha aproximadamente.

En relación a la transición entre el año 2004-2010, se observa que los mayores cambios están dados entre las coberturas clasificadas como bosque y pastos igualmente, de acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que de bosques a pastos existió un cambio de 23,40 Ha, mientras que de áreas con poca o sin vegetación hubo un cambio de 101,35 Ha, favorable para la recuperación de la zona de estudio.

Respecto a la última matriz desarrollada, perteneciente a la transición entre los años 2010-2016, se observa de igual manera que los principales cambios se dan entre las coberturas de bosque y pastos, de acuerdo a los valores obtenidos se tiene que hubo un cambio de bosque a pasto en 150,63 Ha aproximadamente, mientras que de pasto a bosque hubo una diferencia de 11,42 Ha, existiendo un equiparamiento de ganancia y pérdida de área entre ambas, todo ello debido al avance de las fronteras agrícolas de la zona en la parte media y alta de las microcuencas, ya que es evidente el avance de la cobertura de pastos lo que indica que se han establecido áreas transformadas con fines de producción agropecuaria.

www.bdigital.ula.ve

4.5. Calculo de valores de Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (Normalized differential Vegetation Index) NDVI

A continuación, se realiza una breve descripción de los principales resultados obtenidos a partir de los valores de NDVI extraído en previo procesamiento del software para las imágenes seleccionadas, que fueron las Landsat pertenecientes a los años 1997, 2004 y 2016 tomándose como criterio de selección estas 3 imágenes de un total de 5 procesadas producto de las condiciones limpias o con mínima cantidad de nube y perturbaciones que presentan. La imagen del año 1997 y la imagen del 2004 presentaron un porcentaje de nube en la parte alta de la cuenca por lo que se hizo necesario crear una capa shp y extraer la cantidad de Ha que ocupaba esas nubes, esa cantidad de terreno se sumó al área con vegetación pues se corroboró en campo que esa zona se encuentra totalmente protegidas.

4.5.1. Histogramas de reclasificación de NDVI

Al procesar las imágenes bajo este mecanismo se obtuvo información visual respaldada matemáticamente por valores entre -1 y 1, estos valores variados se representaron a partir de los histogramas de reclasificación de valores donde se puede interpretar resultados netamente positivos, lo que nos muestra que no existen cuerpos de agua de gran extensión en las áreas de estudio, de igual manera, debido a que los valores que se observan están distribuidos desde 0 hasta +1 siendo su mayor proporción en valores de cero cercanos a uno, ello nos ratifica la presencia de áreas con mayor cubierta vegetal, aunque no con esto se deja inadvertida la problemática, ya que se ve el avance continuo de las zonas sin vegetación, pues año a año el avance significativo de la eliminación de la cobertura vegetal se hace evidente, así se puede observar en la Figura 18 para el año 1997, Figura 19 año 2004 y la Figura 20 para el año 2016.

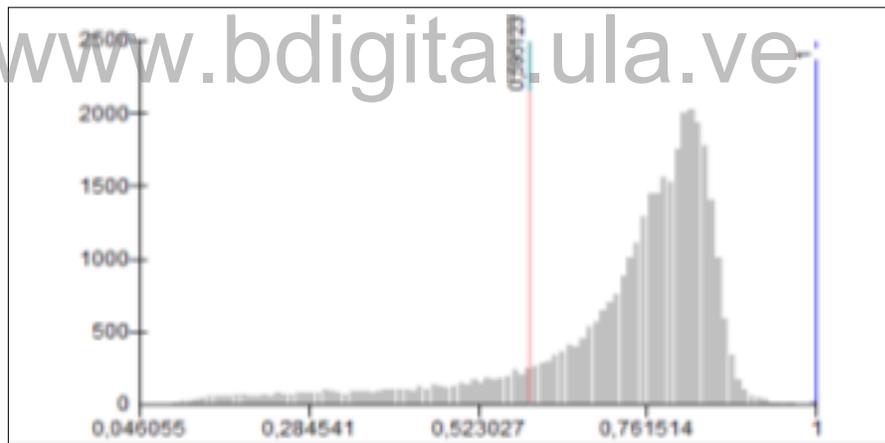


Figura 18. Histograma de reclasificación del cálculo de NDVI para imagen del año 1997. Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

Allí se puede determinar que los valores predominantes son positivos y más cercanos a +1 lo que quiere decir que la actividad fotosintética para el momento era relativamente alta y que por ende esas zonas para la fecha estaban cubiertas de vegetación, de igual forma se encuentran valores cercanos a 0 por lo que se ubica

información perteneciente a zonas con suelo desnudo o diferente a vegetación, sin cobertura vegetal, tomándose en cuenta a partir de la resolución de la imagen solo la reclasificación para zonas con o sin vegetación pues debido a la escala de detalle se hace imposible realizar una reclasificación más detallada.

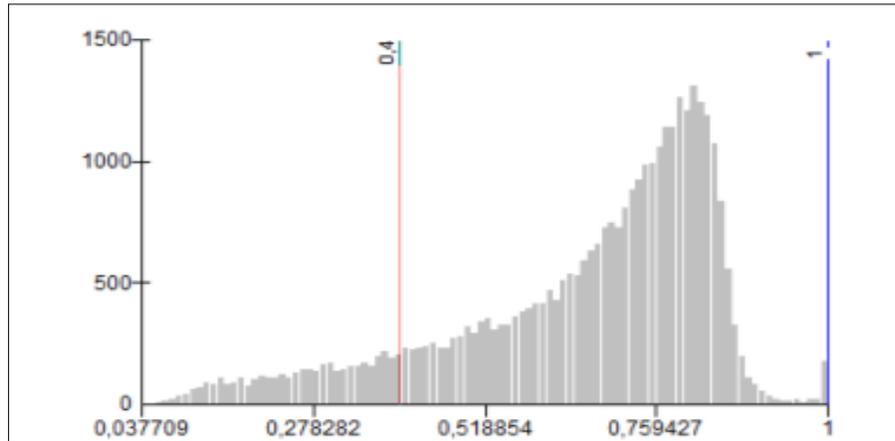


Figura 19. Histograma de reclasificación del caculo de NDVI para imagen del año 2004. Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

www.bdigital.ula.ve

El histograma que se observa en la Figura 19 representa la reclasificación de valores de NDVI para el año 2004, muestra de igual manera que el año anterior, valores con mayor proporción cercanos a +1 lo que se interpreta como zonas con mayor cantidad de vegetación que zonas sin cobertura vegetal, además nos muestra la existencia de zonas con suelo desnudo pues se observa valores cercanos a 0 en gran medida.

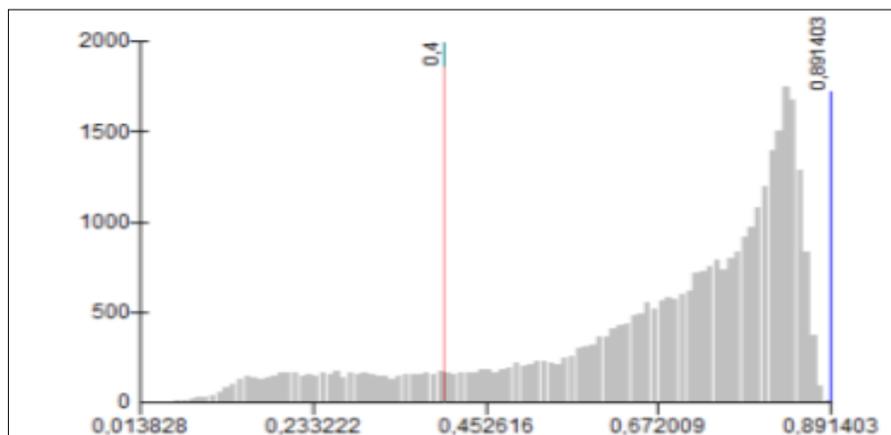


Figura 20. Histograma de reclasificación del caculo de NDVI para imagen del año 2016. Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

4.5.2. Análisis de valores de NDVI en el área general de estudio

Al igual que para los dos años anteriores tomados en cuenta, los valores para la figura 20 presentan mayor concentración hacia el +1, producto de la vigorosidad de la vegetación al momento de la toma de la imagen, aunque en los tres histogramas se observa la mayor proporción en valores cercanos a uno, su valoración varía entre números altos y más altos producto posiblemente a factores externos como la cantidad de humedad presente en los suelos y en la vegetación para el momento de cada toma, que también depende de la época del año en que fue tomada la imagen.

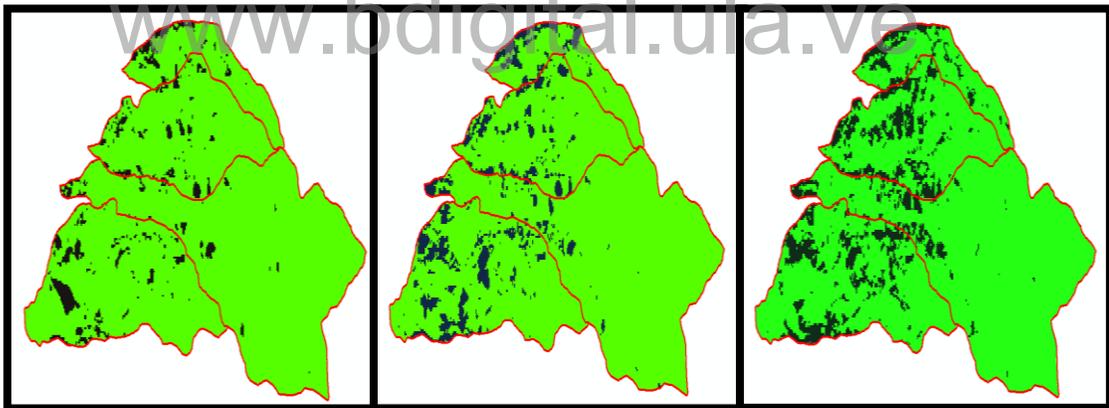


Figura 21. Mapas de reclasificación de áreas con vegetación y áreas sin vegetación en el área de estudio para los años 1997, 2004 y 2016 (de izquierda a derecha). Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

En la Figura 21 se evidencia visualmente los cambios ocurridos en un margen 19 años, allí se puede observar las zonas verdes para aquellas áreas cubiertas con vegetación y las zonas de color negro para aquellas áreas con otra cobertura y sin

vegetación, estadísticamente se obtuvieron unos valores generales a partir de la reclasificación observado en la Tabla 18

Tabla 18.

Valores generales del área total de estudio a partir de la reclasificación de las coberturas en zonas sin vegetación y con vegetación.

	Con Vegetación		Sin Vegetación	
	Ha	%	Ha	%
Año 1997	4513,46	94,38	268,44	5,62
Año 2004	4330,57	90,55	451,42	9,43
Año 2016	4112,52	86	669,48	14

En la presenta Tabla 18 se observa el continuo avance de las zonas sin vegetación, siendo los valores más bajos de las áreas con vegetación pertenecientes al año 2016, con un 86 % del área total, lo que corresponde con 4112,52 Ha, mientras que por el contrario el valor más alto de cobertura vegetal corresponde a la fecha más antigua tomada en cuenta en este procedimiento, siendo el año 1997 cuando el área de estudio tenia mayor cantidad de cobertura vegetal, un 94,38% es decir, 4513,46 Ha aproximadamente se encontraban bajo cobertura vegetal importante de gran vigorosidad y desarrollo, presumiéndose a partir de las visitas campo, del estudio y comparación de resultados entre los diversos métodos de la presente investigación producto del descontrolado e inadecuado cambio de uso, principalmente al urbano.

4.5.3. Análisis detallado de los NDVI para cada una de las microcuencas

Para un mayor detalle de los cambios ocurridos y producto que el área total de estudio está conformada por 4 microcuencas, se calcularos valores aproximados de cambios para cada una, pudiéndose conocer así los avances y los retrocesos para cada microcuenca, en cuanto a las coberturas con vegetación y sin vegetación, en primer lugar, se tiene la microcuenca de la quebrada La Gurapa y las demás microcuencas en orden espacial, las misma presenta una intervención continua y de manera de avance en el periodo de 19 años tomado en cuenta, como se observa en las Figuras 22, 23, 24 y 25.

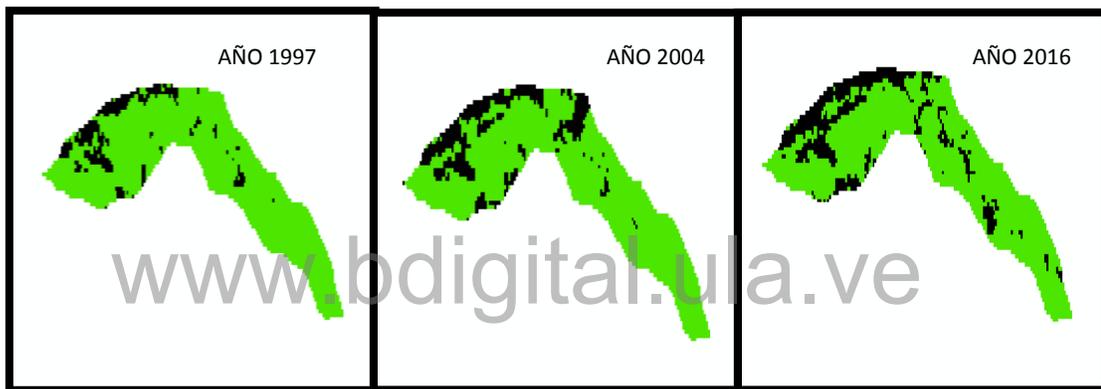


Figura 22. Mapas de reclasificación de la microcuenca quebrada La Gurapa. Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

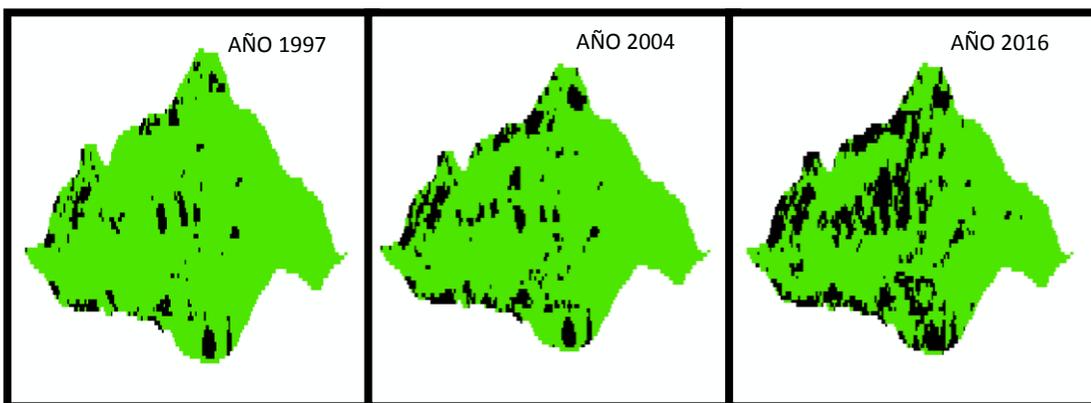


Figura 23. Mapas de reclasificación de la microcuenca quebrada La García. Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

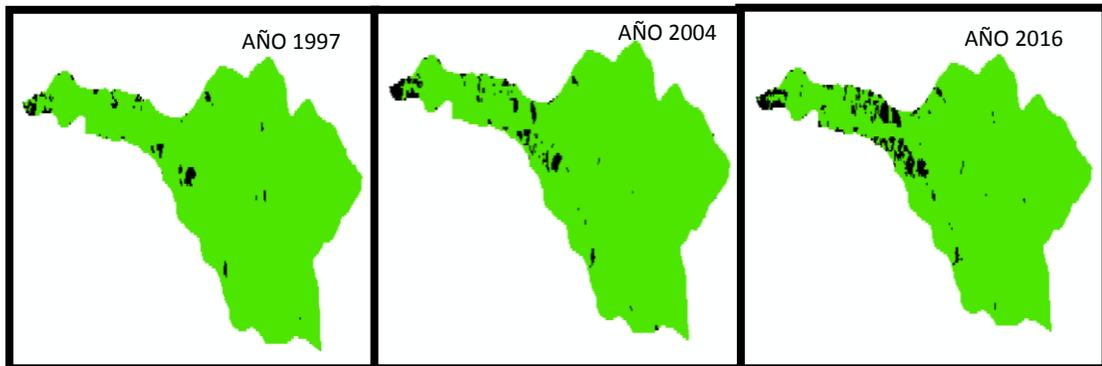


Figura 24. Mapas de reclasificación de la microcuenca quebrada La Chivata. Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

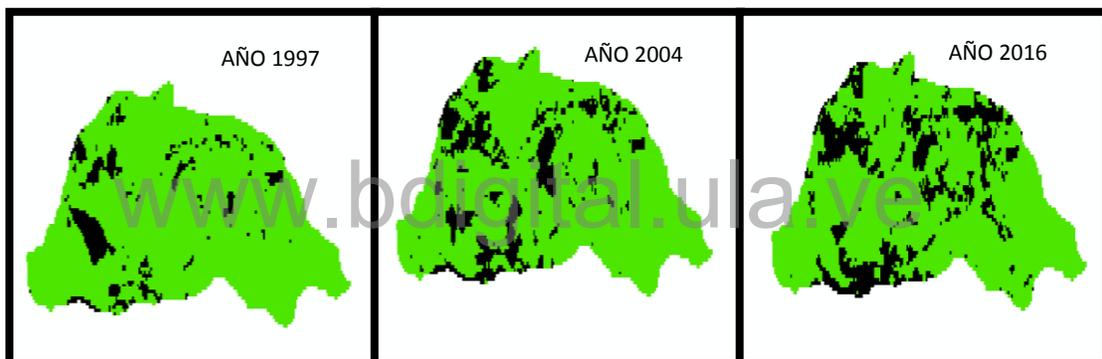


Figura 25. Mapas de reclasificación de la microcuenca quebrada La Charaveca. Fuente: Elaboración propia a partir del software ArcGis.

Como era de esperarse, en las 4 microcuencas se puede observar un avance significativo y continuo de la disminución de la cobertura vegetal, en cada una de manera diferente se presentan condiciones espaciales, físicas y otras de índole físico natural que hace que la ocupación de los espacios y sus usos sean configurados con mayor o menor rapidez, tomando en cuenta los recursos y las posibilidades de desarrollo socioeconómico que cada una ofrece, estas deducciones se pueden ver detalladas a partir de los valores aproximados extraídos de cada una de ellas y de cada

reclasificación, es así como se obtuvo la Tabla 19 representada en el Gráfico 7 donde se expresan valores en cuanto a las variaciones por cuenca de las zonas con vegetación.

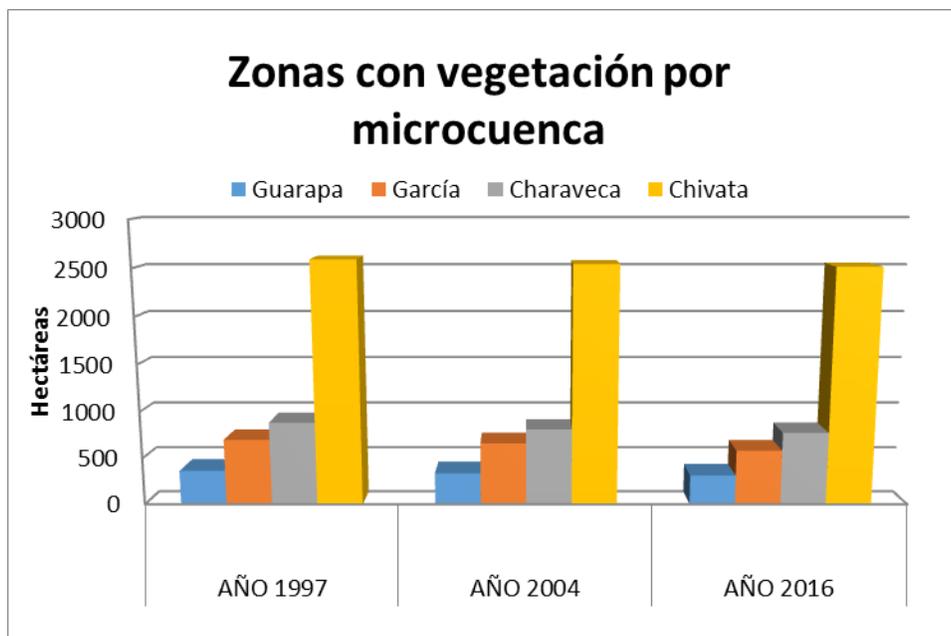
Tabla 19.

Valores con vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.

	AÑO 1997		AÑO 2004		AÑO 2016	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Guarapa	364,02	88,84	336,07	82,02	312,44	78,40
García	698,60	92,41	662,54	87,54	582,40	77,04
Charaveca	885,04	91,42	812,82	83,96	775,16	80,07
Chivata	2593,48	96,88	2545,59	91,96	2517,98	95,07

Gráfico 7.

Valores con vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.



En la Tabla 19 y Gráfico 7 se evidencia los cambios ocurridos en cuanto a las áreas con vegetación en cada microcuenca, a partir de dichos valores puede evidenciarse que la zonas más afectadas son aquellas pertenecientes a las zonas medias y bajas, las cuales poseen pendientes favorables y cuerpos de aguas distribuidos de tal manera que hacen posible el desarrollo muy pocas veces controlados de zonas de infraestructura y urbanismo, así como también el establecimientos de coberturas de pastos, para definir usos agrícolas de producción agrícola animal en mayor medida que la producción agrícola vegetal, de acuerdo a las variaciones se puede verificar que la microcuenca de la quebrada la García es la que ha sufrido mayor pérdida de cobertura vegetal, calculándose una disminución de un 5% entre 1997-2004 y un alarmante 10% entre 2004-2016.

Observándose las características físico naturales de esta microcuenca, y su intervención antrópica y de desarrollo de centros poblados como San Rafael de Cordero y sus adyacencias en pequeñas y medianas comunidades, se hace manifiesto y fundamento que esta microcuenca sufra estos grandes cambios en su composición, pues precisamente en esas pequeñas comunidades es donde se avanza más en sus fronteras agrícolas y en la producciones agrícolas tanto vegetal como animal, a diferencia de la microcuenca La Gurapa, que aunque ha tenido cambios significativos tiene centros poblados menos dinámicos y más consolidados.

En cuanto a la microcuenca con menor grado de intervención y por ende de cambios significativos esta la quebrada La Chivata, que aunque es la microcuenca más grande, es la que menos ofrece condiciones para propiciar desarrollos socioeconómicos importantes, pues sus características físico naturales como lo son sus pendientes, que en su mayoría corresponden a mayores del 50% así lo hacen posible, permitiendo indudablemente mantenerse ambientalmente más conservada y protegida, favorecida por planes de reforestación en las partes medias altas y por su extensión su intervención no se ha hecho en las partes altas, lo que ha favorecido a la regeneración natural de la vegetación observable en varios puntos por su vegetación y

cobertura de poco desarrollo al momento de realizarse la visita de campo, esta microcuenca desde 1997-2004 sufrió una disminución de su cobertura de 6% pero desde 2004-2016 aumento su cobertura vegetal un 5%, lo que permite deducir que los cambios que ha sufrido en 19 años son relativamente bajos en comparación con las 3 microcuencas restantes; en cuanto a su contraposición del aumento y disminución de las áreas sin cobertura vegetal, podemos observar los cambios en la Tabla 20 y Gráfico 9.

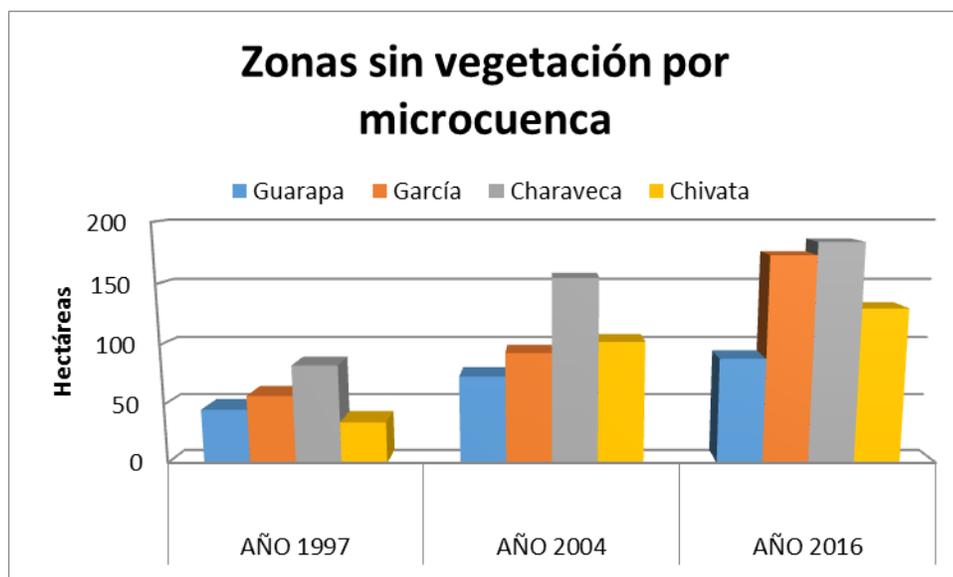
Tabla 20.

Valores sin vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.

	AÑO 1997		AÑO 2004		AÑO 2016	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Guarapa	45,68	11,15	73,63	17,97	88,46	21,59
García	57,30	7,58	93,36	12,35	173,49	22,95
Charaveca	82,96	8,57	155,18	16,03	184,13	19,02
Chivata	34,81	3,11	102,69	8,03	130,30	4,92

Gráfico 8.

Valores sin vegetación y su variación en 19 años a partir de 3 fechas para las 4 microcuencas.



De acuerdo a la Tabla 20 y el Gráfico 8 se puede observar que las microcuencas que ha disminuido con mayor proporción su área sin vegetación corresponde a la microcuenca de la quebrada La Chivata aumentando su área un 5% en el último periodo, mientras que la que representa una mayor proporción está representada por la microcuenca de la quebrada La García con un 10% aproximadamente en su último periodo, estas deducciones son posibles a partir de las variables de reflectancia para cada imagen y para cada fecha, el cual es sensible a la cubierta vegetal del suelo demostrándose como ha sido el avance o retroceso de las coberturas a partir del análisis del comportamiento radiométrico, permitiendo la realización de valoraciones cualitativa y cuantitativas a partir de la variación de los rangos del NDVI.

4.6. Análisis morfométrico del área total a partir del uso de un DEM SRTM

Se hizo necesario la búsqueda de valores morfométricos, para la presente investigación como la aplicabilidad de la fuente de datos, con el fin de obtenerlos y poder relacionarlos con datos obtenidos de las imágenes satelitales y de los NDVI, se compararon los datos de relieve extraídos de un conjunto de datos al correr módulos de Saga Gis con el SRTM-DEM y se analizan las variaciones. Los parámetros automatizados de morfometría, forma de la tierra derivados del DEM de contorno y las propiedades estadísticas calculadas de esos parámetros, tienen un acuerdo sustancial con los mismos parámetros derivados del SRTM-DEM, existiendo algunas variaciones localizadas. Es importante resaltar que los resultados de los análisis para los módulos, y por ende para cada clase se obtuvieron en relación con la cantidad de pixeles, los cuales tienen individualmente una resolución espacial de 30m².

4.6.1. Módulo de pendiente (Slope)

De acuerdo a los grados de pendiente que presenta la zona de estudio, se hizo necesario obtener la información a partir del módulo Slope que ofrece el software SagaGis, el cual permito obtener de manera zonificada y porcentual los diversos

grados de pendiente que conforman las microcuencas, la misma se clasificó en 5 categorías de forma porcentual, cuya clasificación se tomó a partir de la categorización realizada por Suárez, 1998; el objetivo es generar una planta topográfica del área a estudiar delimitando las áreas de pendiente diferente en sectores de valores previamente establecidos.

Tabla 21.

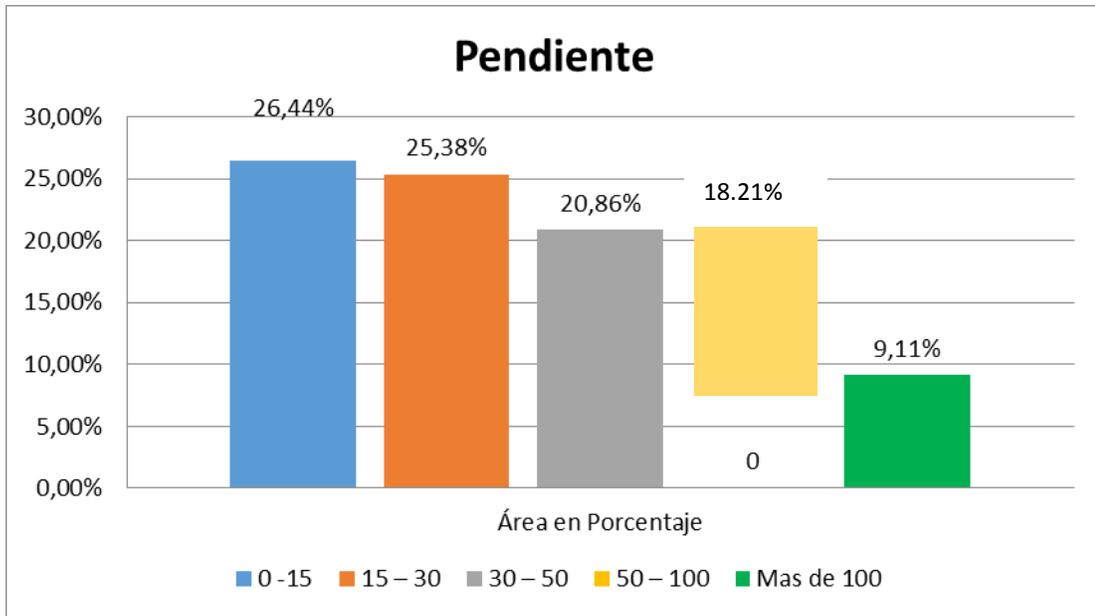
Clasificación porcentual de la pendiente para la generación de cartografía.

Pendiente Porcentual	Angulo de Inclinación	Clasificación	Área en Porcentaje	Área en Ha
0 -15	0 – 8.5	Muy baja	26,44%	1264,3 Ha
15 – 30	8.5 – 16,7	Baja	25,38%	1213,6 Ha
30 – 50	16,7 – 26,6	Mediana	20,86%	997,52 Ha
50 – 100	26,6 – 45	Alta	18.21%	870,80 Ha
Mas de 100	Mas de 45	Muy alta	9,11%	434,20 Ha

Se puede observar que de acuerdo a los valores de pendiente (Tabla 21), un mayor porcentaje lo cubre aquellas inclinaciones de menor ángulo, correspondientes a 0-15%, ubicados en las partes medias y bajas de cada una de las microcuencas, es así como se evidencia que los valores bajos que van de 0% al 50% de pendiente de la cuenca ocupan más de la mitad de la superficie total del área de estudio, sumando un 72,68% lo que corresponde a las zonas de las microcuencas donde existe mayor intervención antrópica de tipo artificializada según la clasificación CLC.

Gráfico 9.

Clasificación porcentual de la pendiente para la generación de cartografía.



www.bdigital.ula.ve

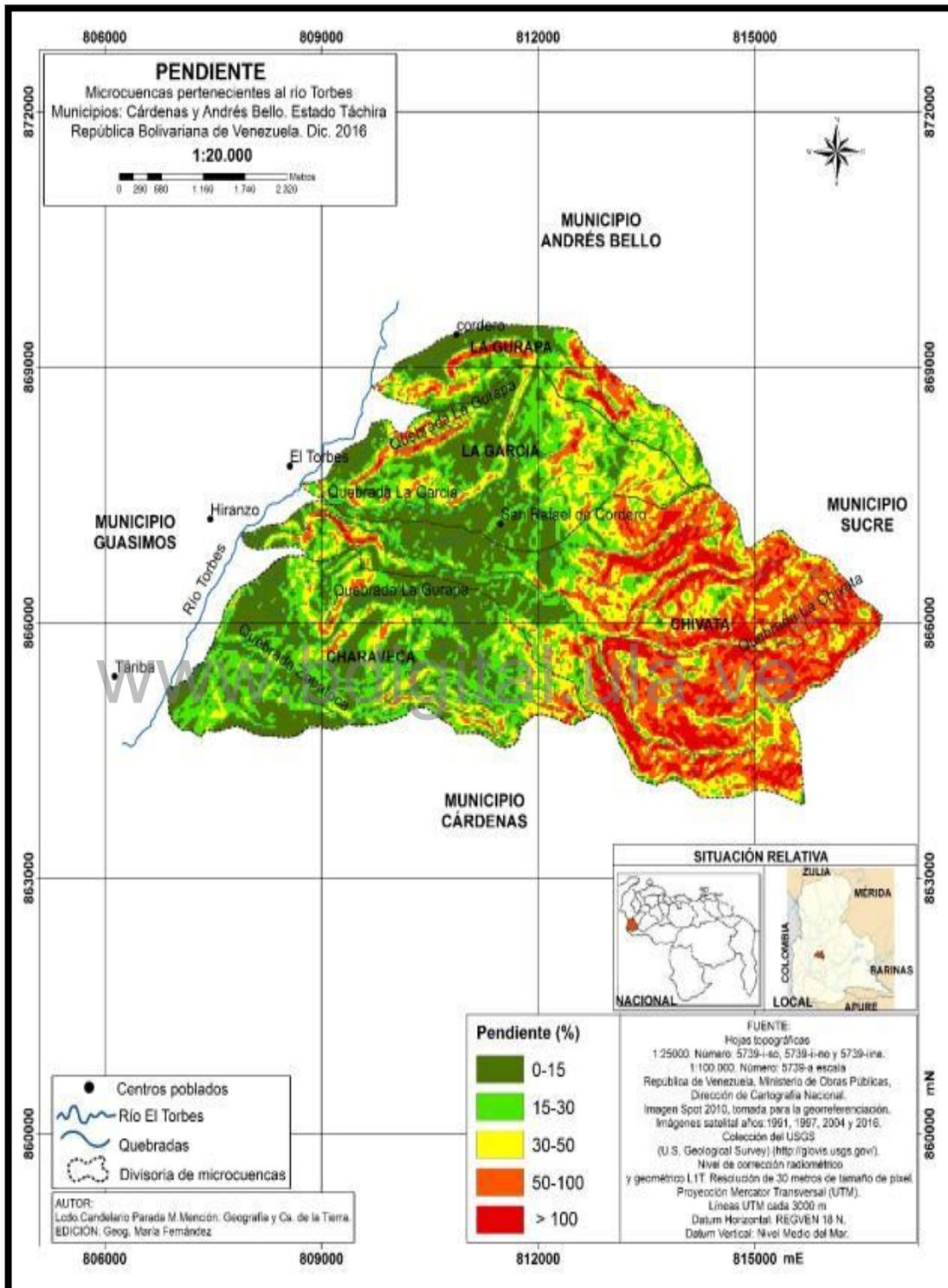


Figura 26. Mapa de pendiente 2016. Fuente: Elaboración propia.

4.6.2. Módulo orientación (Aspect)

Se obtuvo el área para cada rumbo y azimut de orientación, (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW) la orientación que mayor ocupo fue la SW con un **19,56%** y la S con un **18,08%**, el rumbo de orientación NE ocupo la menor superficie con un **1,92%** del área total, (Ver Tabla 22, Gráfico 10).

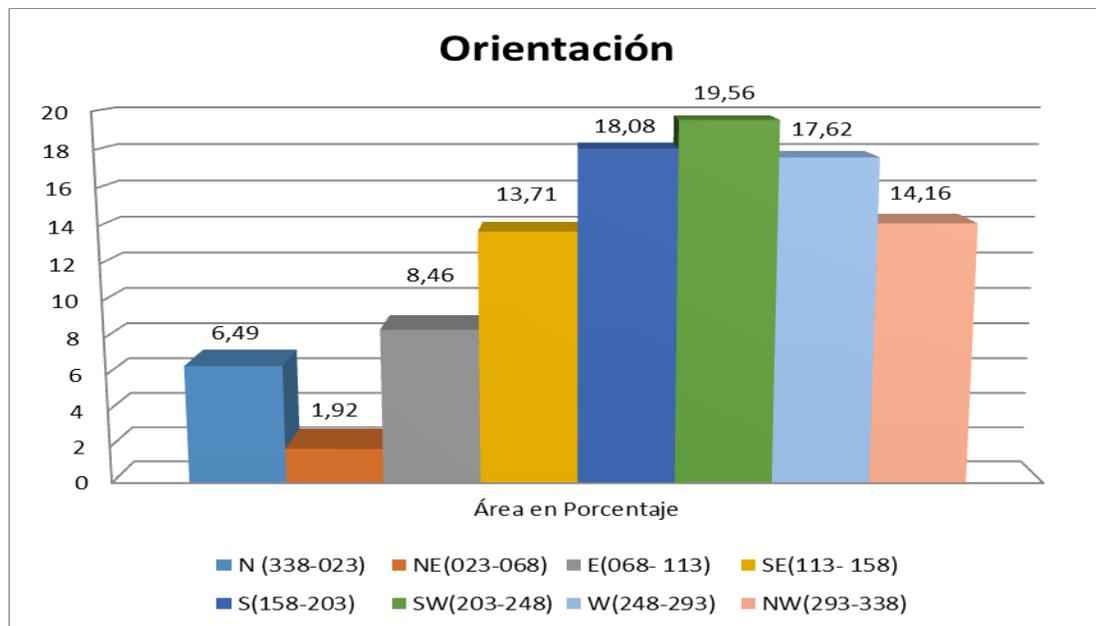
Tabla 22.

Clasificación en clase de rumbo, azimut de las vertientes y su área de orientación.

Rumbo	Área en Porcentaje	Área en Ha
N (338-023)	6,49	310,35
NE(023-068)	1,92	91,81
E(068- 113)	8,46	404,55
SE(113- 158)	13,71	655,61
S(158-203)	18,08	864,58
SW(203-248)	19,56	935,35
W(248-293)	17,62	842,58
NW(293-338)	14,16	677,13

Gráfico 10.

Clasificación en clase de rumbo, azimut de las vertientes y su área de orientación.



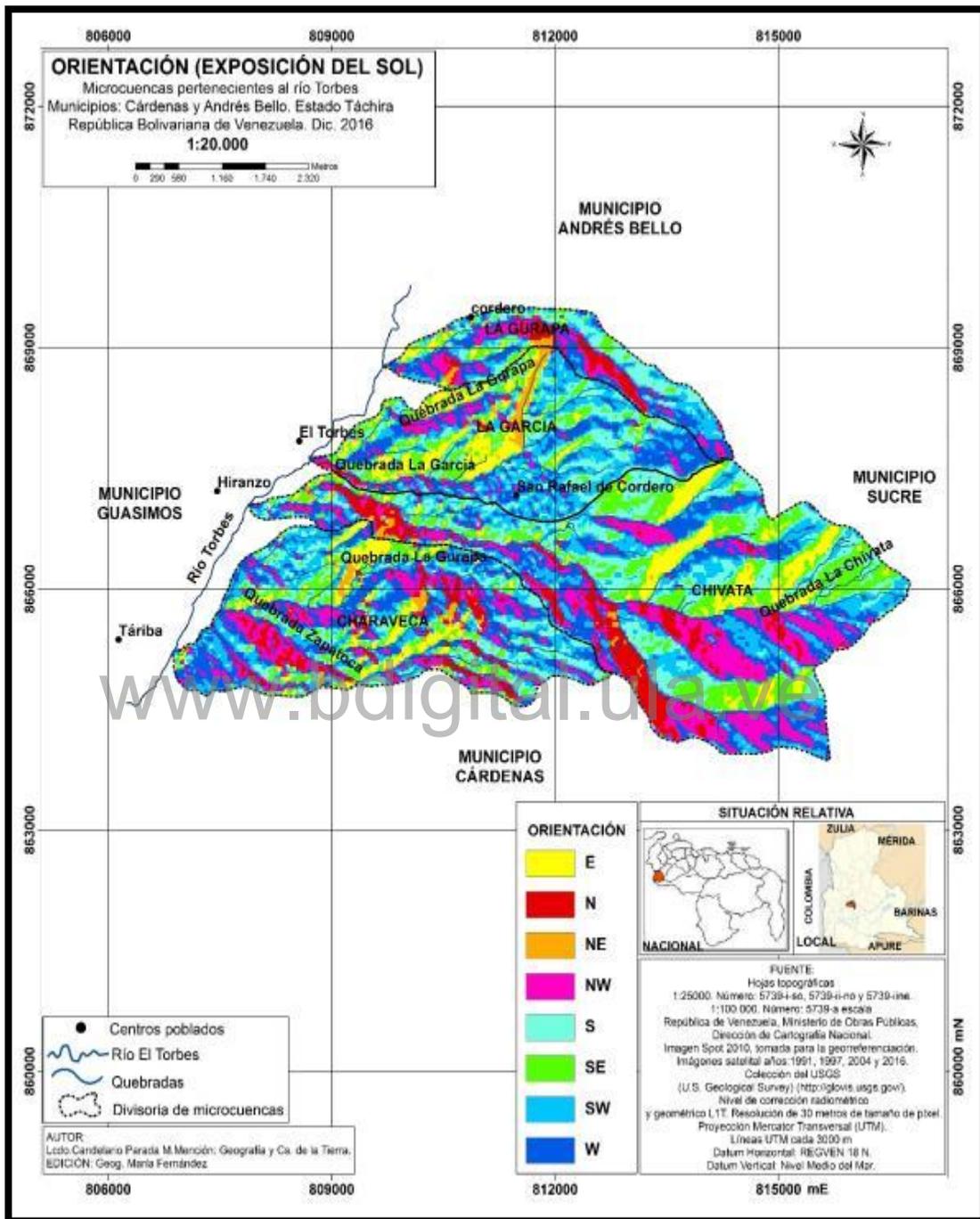


Figura 27. Mapa de orientación 2016. Fuente: Elaboración propia.

4.6.3. Módulo de área real (Surface Área).

A partir de la aplicación del módulo Surface área por medio del software SagaGis, por medio del cual se determinó el área real de las microcuencas y del área total de la presente investigación, lo cual muestra una notable diferencia debido a la cantidad de área tomado desde el pixel, pues emite una diferencia visual entre la cantidad de área que emite un pixel y la cantidad que realmente se encuentra en la realidad.

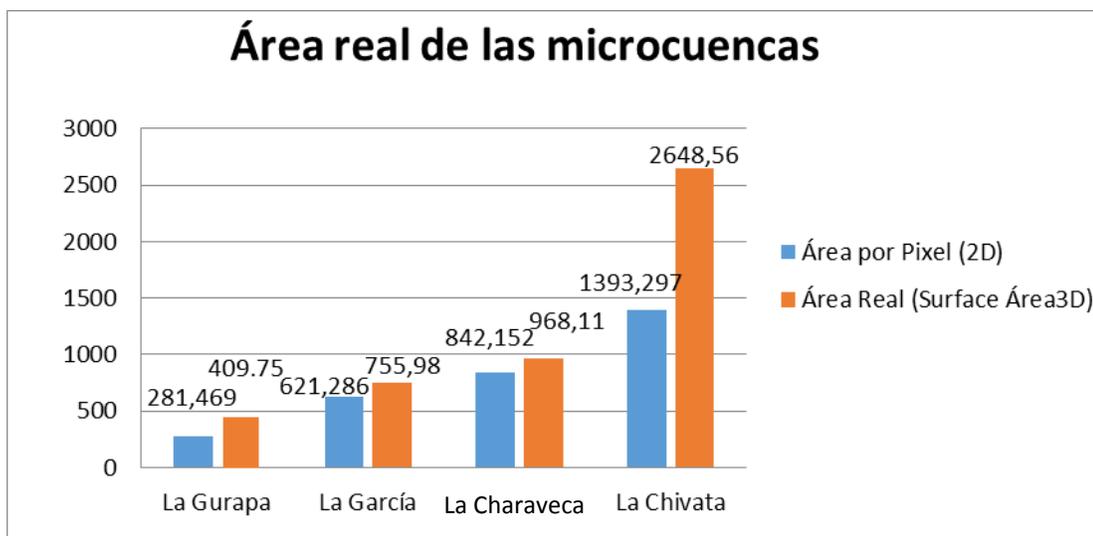
Tabla 23.

Área real en 2D y 3D de las microcuencas a partir de la aplicación del módulo Surface Área.

Área Real de las microcuencas		
Micro Cuencas	Área por Pixel (2D)	Área Real (Surface Área3D)
La Gurapa	281,469 Has	409,75 Has
La García	621,286 Has	755,98 Has
Charaveca	842,152 Has	968,11 Has
La Chivata	1393,297 Has	2648,56 Has
Total	3138,204 Has	4782 Has

Grafico 11.

Área real en 2D y 3D de las microcuencas a partir de la aplicación del módulo Surface Área.



4.6.4. Módulo índice de posición topográfica (Topographic Position Index)

Se empleó la extensión Topographic Position Index (TPI), desarrollada por Jenness (2006) en el SIG SagaGis Las rejillas del TPI (unidades métricas) se estandarizaron mediante la fórmula de Jenness. A partir de los datos obtenidos específicos en la tabla, se corrobora la existencia de diversas geoformas que conforman el área de estudio.

El cálculo del TPI, permitió comparar la elevación de cada celda en un MDE, con un valor promedio de elevación de un área específica adyacente a dicha celda, a partir de los valores obtenidos, se buscó observar la dinámica espacial de los procesos de erosión hídrica con el papel de las formas del paisaje como determinante posible de los procesos o en tal caso como factor influyente, de acuerdo a las formas de terreno, con respecto a este índice tenemos:

Tabla 24.

Clasificación porcentual y de áreas de las formas de terreno según módulo TPI en las microcuencas.

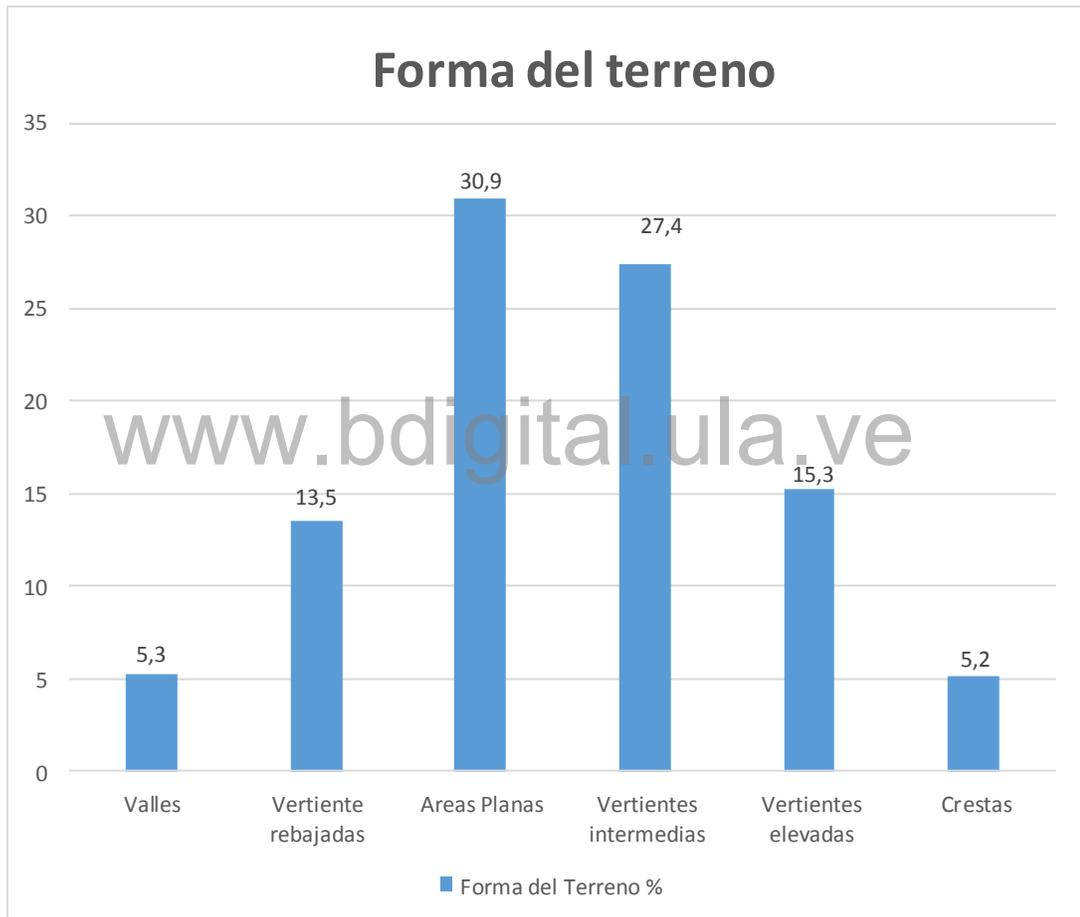
Clase	Valores	Forma del terreno	% de área Total	Hectáreas
1	-8 a -2	Valles	5,3 %	253,44 Has
2	-2 a -1	Vertiente Rebajada	13,5%	645,57 Has
3	-1 a 0	Áreas planas	30.9%	1489,14 Has
4	0 a 1	Vertientes Intermedias.	27,4%	1409,25 Has
5	1 a 2	Vertientes elevadas	15,3%	735,94 Has
6	2 a 8	Crestas	5,2%	248,66 Has

Como puede observarse en la Tabla 24, se obtuvo el área para cada clase con relación a las formas del terreno, explícitas en la anterior tabla, la forma de terreno con mayor extensión fue las áreas planas, representando un 30,9% y seguidamente las

vertientes intermedias con un 27,4% las crestas y los valles producto de su propia morfología, representaron un 5,2% y 5,3% respectivamente, del área total del terreno (Gráfico 12).

Gráfico 12.

Clasificación porcentual y de área de las formas de terreno según TPI en las microcuencas.



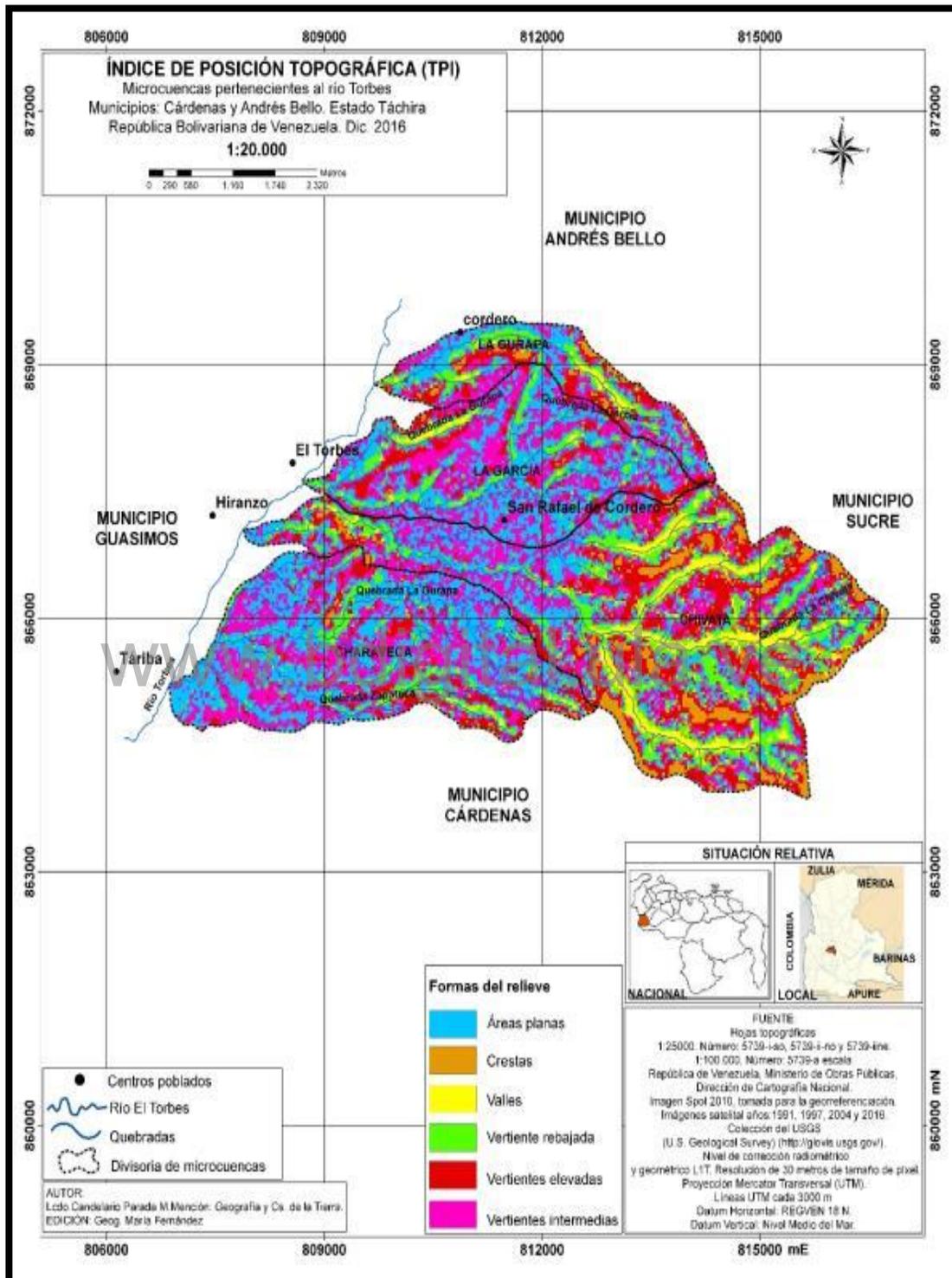


Figura 28. Mapa de formas del terreno. Fuente: Elaboración propia.

4.6.5. Módulo clasificación de curvatura (Curvature)

A lo largo de las microcuencas, el mayor porcentaje se obtuvo para aquellas áreas que presentan netamente concavidad, ocupando un 32,40% que representan 1549,36 Ha mientras que un 33,11% que representan 1583,31 Ha para aquellas que representan áreas netamente convexas determinadas por la cantidad de pendiente que estas representa, a lo largo del área por ser una cuenca de alta montaña no existe gran cantidad de terreno bajo superficie puramente plana (de bajas pendientes) esta representa el valor más bajo de 2,53% que representan 120,58Ha acompañado por las clases cóncava-plana con un 2,93% que representan 140,1 Ha y plana Convexa con un 2,92% que represntan 139,63Ha resultados a partir del área total de las cuencas. (Tabla 25 y Gráfico 13)

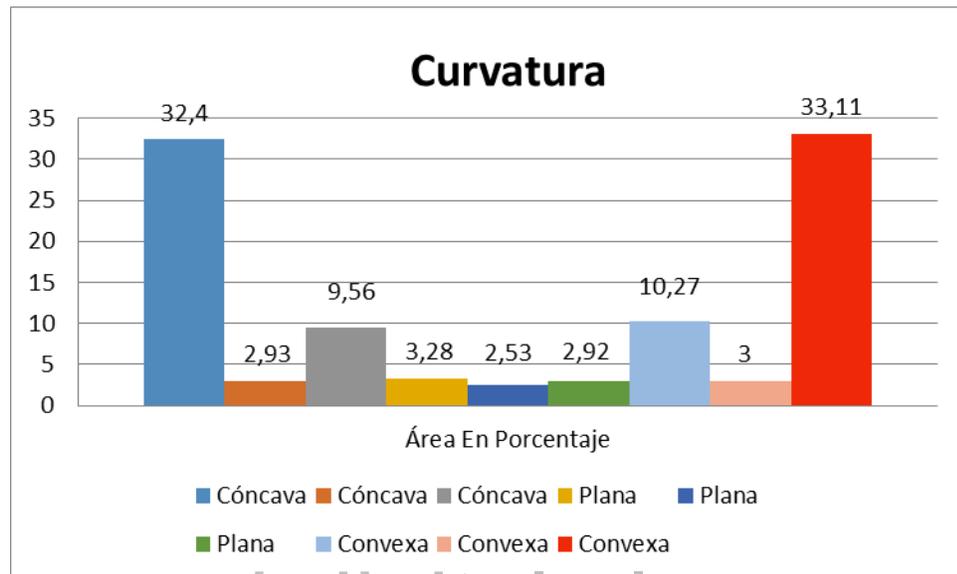
Tabla 25.

Clasificación porcentual y de áreas de las curvaturas en las microcuencas.

Curvatura Vertical	Curvatura Horizontal	Área En Porcentaje	Área en Ha
Cóncava	Cóncava	32,40	1549,36
Cóncava	Plana	2,93	140,1
Cóncava	Convexa	9,56	457,15
Plana	Cóncava	3,28	156,84
Plana	Plana	2,53	120,98
Plana	Convexa	2,92	139,63
Convexa	Cóncava	10,27	491,11
Convexa	Plana	3,00	143,46
Convexa	Convexa	33,11	1583,31

Gráfico 13.

Clasificación porcentual y de áreas de las curvaturas en las microcuencas.



www.bdigital.ula.ve

Se evidencia que la morfometría de la cuenca está determinada por la pendiente que afecta la tasa general de movimiento descendente, la orientación define la dirección del flujo, la curvatura del perfil afecta la aceleración y desaceleración del flujo y, por lo tanto, influye en la erosión, la sedimentación, la convergencia y divergencia del flujo.

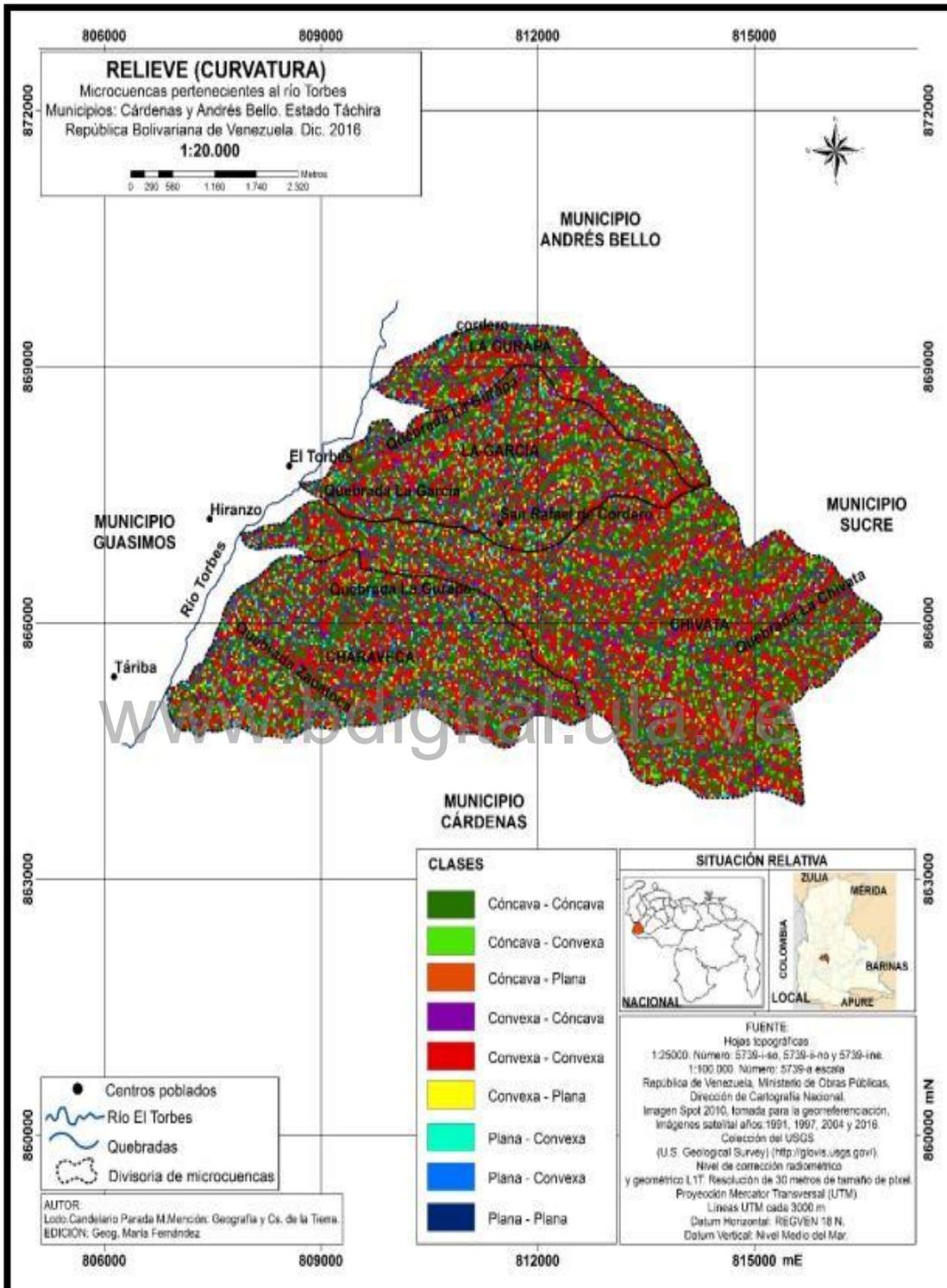


Figura 29. Mapa de curvaturas del terreno. Fuente: Elaboración propia.

4.7. Análisis morfométrico detallado por microcuenca a partir del uso de un DEM

SRTM

Para el análisis morfométrico, debido a que todos los módulos fueron obtenidos a partir del procesamiento del software SagaGis, se utilizó la interpretación de resultados tomando en cuenta las áreas obtenidas en el módulo de Surface Área o área real, todo ello con el fin de obtener valores de los resultados en porcentajes para cada una de las clases correspondiente a cada módulo, para así de esta manera poder relacionarlos entre sí, de acuerdo al análisis para cada cuenca que integra el área total de estudio, por lo cual se tiene:

4.7.1. Análisis morfométrico con respecto a la orientación por microcuenca

De acuerdo a la aplicación del módulo de orientación de la cuenca, se obtuvo en cada microcuenca diversos valores que identifican el comportamiento de la misma, en la microcuenca La Gurapa, las orientaciones están predominando hacia el sur y el oeste, albergando un 59,8 % de zonas con dicho modelado de terreno y con un porcentaje mínimo de 3,4% hacia el este, La Charaveca, alberga de igual manera mayor porcentaje en su orientación al oeste con un 24,3% y un mínimo porcentaje de 2,5% para el sur oeste.

Para la microcuenca La Chivata, se tiene que la orientación está supeditada en mayor proporción en sentido sur, suroeste sumando un 34,6% del área total de la cuenca con dicha orientación y por último tenemos La García, la cual de igual manera representa mayor porcentaje un 43,7% en orientaciones sur y suroeste, predominando de esta manera esta orientación en el área de estudio, esto conlleva a que tome un comportamiento hídrico de las aguas con caída permanente de forma torrencial, dirigiendo sus aguas al cauce principal del Río Torbes, presente en la parte baja de todas las microcuencas (ver Tabla 26 y Gráfico 14).

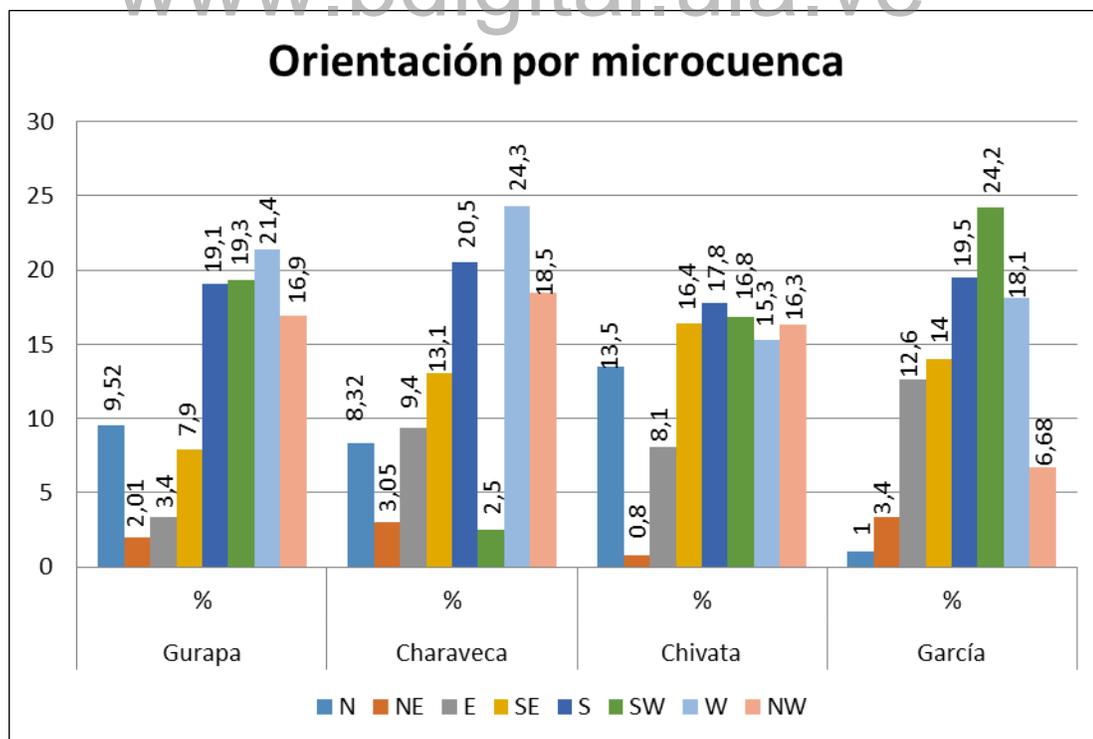
Tabla 26.

Clasificación porcentual y de áreas de orientación en las microcuencas.

ORIENTACION POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
N	9,52	455,2	8,32	397,8	13,5	645,5	1	47,82
NE	2,01	95,61	3,05	143,4	0,8	3,8	3,4	162,5
E	3,4	162,5	9,4	66,9	8,1	387,3	12,6	602,5
SE	7,9	377,7	13,1	626,4	16,4	784,2	14	669,4
S	19,1	913,3	20,5	980,3	17,8	851,1	19,5	932,4
SW	19,3	922,9	2,5	119,5	16,8	803,3	24,2	1157,2
W	21,4	1023,3	24,3	1162	15,3	731,6	18,1	865,5
NW	16,9	808,1	18,5	884,67	16,3	779,4	6,68	319,4

Gráfico 14.

Clasificación porcentual y de áreas de orientación en las microcuencas.



4.7.2. Análisis morfométrico con respecto al índice de posición topográfica (Topographic Position Index)

De acuerdo a la aplicación del módulo de TPI de la cuenca, se obtuvo en cada microcuenca diversos valores que identifican las formas de terreno de la misma, en la microcuenca La Gurapa, las formas de terreno predominantes están representadas por las áreas planas y las vertientes intermedias que suman un 55,8%, y la menor representación por forma está dado por un 4,5%, correspondiente a las áreas de valles, la microcuenca La Charaveca, alberga de igual manera mayor porcentaje en sus formas de terreno en áreas planas y vertientes intermedias con un 79,1% de representación, y las zonas con menos representación está dado por los valles que cuenta con un 1% del total de la superficie valores.

Con relación a los valores obtenidos para la microcuenca la Chivata, se tiene que las formas de terreno predominantes son las áreas planas y las vertientes rebajadas, ambas sumando un 43,2%, y una mínima de 2% que representa las vertientes elevadas, para la microcuenca La García, se tiene que un 75,7 % está representado de igual forma por áreas planas y las vertientes rebajadas, mientras que un 1,8% siendo el valor más bajo está representado por valles (ver Tabla 15 y Gráfico 15).

La clasificación de las formas de terreno permite determinar los lugares donde se encuentran asentadas ciertas coberturas, en este caso se observa a partir de la visualización cartográfica que las zonas urbanizadas se encuentran ubicadas en mayor medida en las áreas planas y en las áreas que presentan una configuración de tipo valles y vertientes rebajadas se identifican zonas con incipiente ocupación antrópica, de acuerdo a las formas de terreno con vertientes elevadas y crestas se observa un área ocupada principalmente por áreas boscosas pues las mismas no han sido intervenidas por las altas pendientes, este patrón de ocupación se repite en cada una de las microcuencas que conforman el área total de estudio.

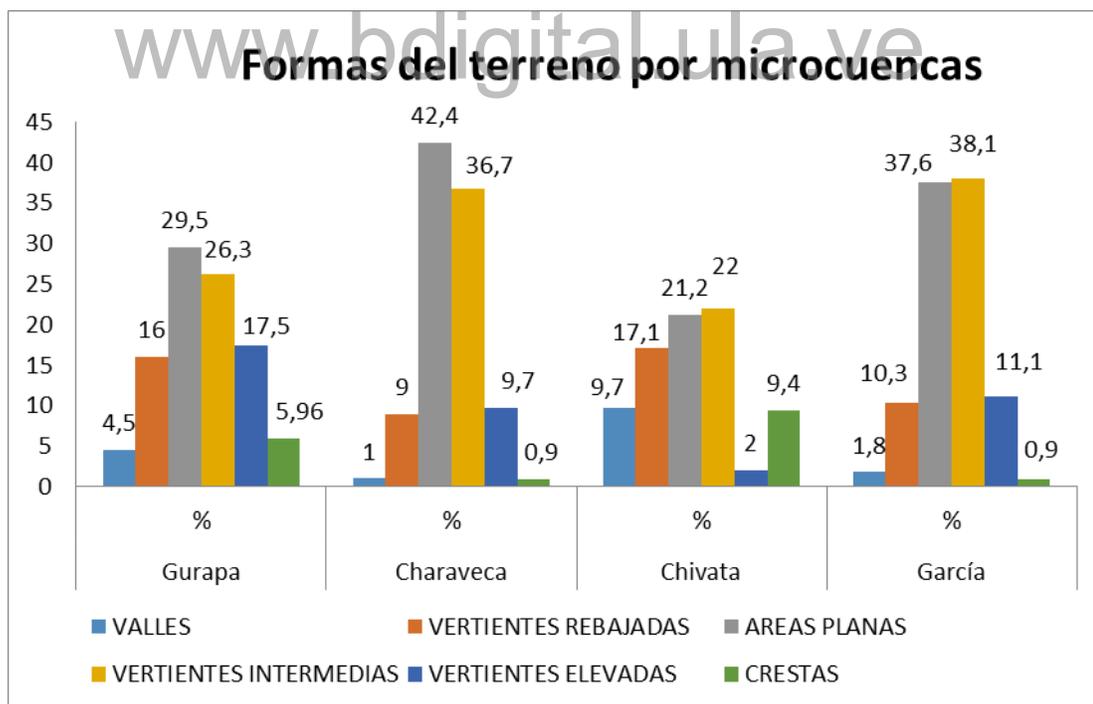
Tabla 27.

Clasificación porcentual de las formas del terreno TPI en las microcuencas.

TPI POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
VALLES	4,5	215,1	1	47,82	9,7	463,8	1,8	86
VERTIENTES REBAJADAS	16	765,1	9	430,3	17,1	817,7	10,3	492,5
AREAS PLANAS	29,5	1410,6	42,4	2027,5	21,2	1013,7	37,6	1792,8
VERTIENTES INTERMEDIAS	26,3	1257,6	36,7	1754,9	22	1052	38,1	1821,9
VERTIENTES ELEVADAS	17,5	836,8	9,7	463,8	2,0	95,6	11,1	530,8
CRESTAS	5,96	285	0,9	43	9,4	449,5	0,9	43

Gráfico 15.

Clasificación porcentual de las formas del terreno TPI en las microcuencas.



4.7.3. Análisis morfométrico con respecto a la clasificación de curvatura (Curvatura).

De acuerdo a la aplicación del módulo de curvatura, se obtuvo en cada microcuenca diversos valores que identifican la concavidad o convexidad del terreno, en las microcuencas las formas de terreno predominantes con respecto a este módulo, está dado de manera general con altos valores en todas mayores al 30% por curvaturas cóncavas - cóncavas y conexa – convexa, lo que define las áreas con mayor acumulación de humedad, existiendo de igual manera los menores porcentajes que van entre 1,8% y 3,2% para aquellas zonas representadas por curvaturas planas-planas, cuya lógica es observable debido a que a lo largo de todas la áreas este tipo de geoformas no es la predominante pues las zonas totalmente planas vertical y horizontalmente son muy escasas.

Las áreas caracterizadas por zonas que representan una alta concavidad, son aquellas que acumulan mayores niveles de humedad haciendo que estas zonas aparte de contener un material débil y susceptible a procesos de degradación de suelo alberguen humedad, por ello cuando se les asigna un uso no adecuado las mismas incurren en procesos de degradación de forma acelerada, mientras que en las zonas planas y convexas los niveles de humedad son menores, es allí donde se observan coberturas como áreas urbanizadas en las partes bajas medias de las microcuencas.

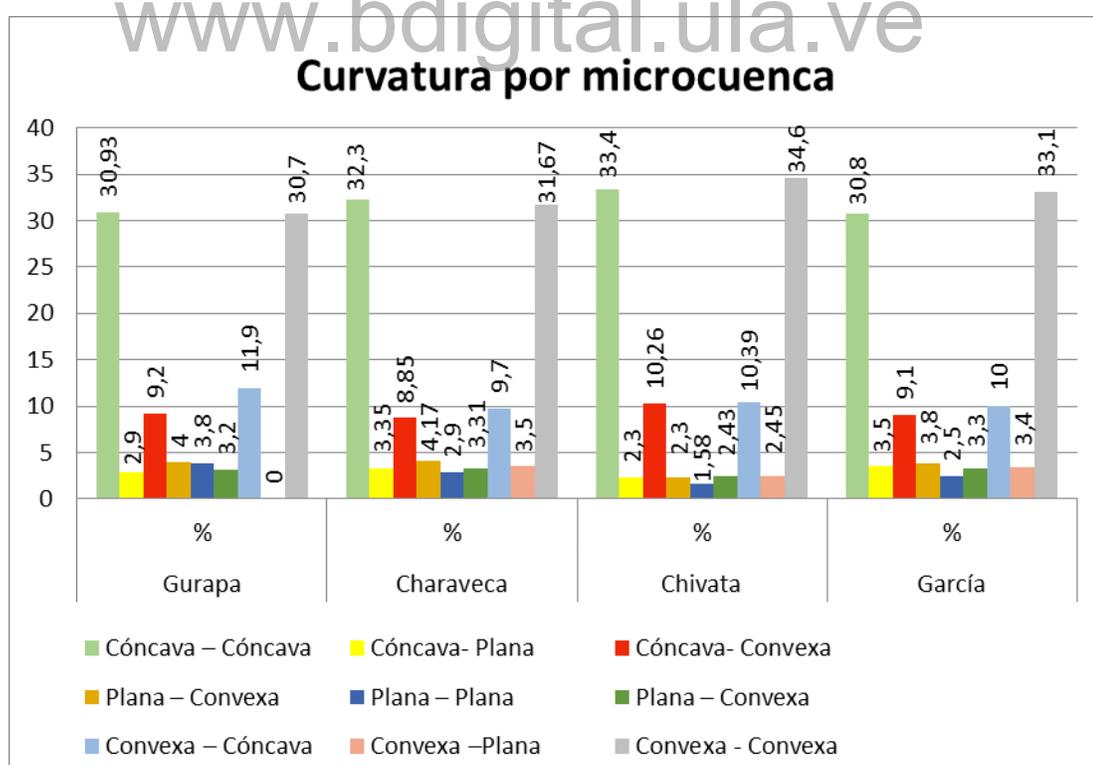
Tabla 28.

Clasificación porcentual y de áreas para curvatura en las microcuencas.

CURVATURA POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Cóncava – Cóncava	30,93	1477,6	32,3	1544,5	33,4	1597,1	30,8	1472,8
Cóncava-Plana	2,9	138,6	3,35	160,1	2,3	109,9	3,5	167,3
Cóncava-Convexa	9,2	439,9	8,85	423,2	10,26	490,6	9,1	435,1
Plana – Convexa	4	191,2	4,17	199,4	2,3	109,9	3,8	181,7
Plana – Plana	3,8	181,7	2,9	138,6	1,58	75,5	2,5	119,5
Plana – Convexa	3,2	153	3,31	158,2	2,43	116,20	3,3	157,8
Convexa – Cóncava	11,9	569	9,7	463,8	10,39	496,84	10	478,2
Convexa-Plana	3,0	143,4	3,5	167,3	2,45	116,20	3,4	162,5
Convexa - Convexa	30,7	1468	31,67	1514,4	34,6	1564,5	33,1	1582,8

Gráfico 16.

Clasificación porcentual y de áreas para curvatura en las microcuencas.



4.7.4. Análisis morfométricos con respecto a la pendiente por cada una de las microcuencas de estudio

La pendiente de las microcuencas objeto de estudio de esta investigación, se caracteriza por una variada distribución según las clases que fueron asignadas en porcentaje haciendo posible su clasificación y su posterior visualización cartográfica, de acuerdo al procesamiento del módulo se pudo verificar que con respecto a los valores que presenta la microcuenca La Gurapa, existe en el área una predominancia con pendientes de 15-30% con un porcentaje de 28,23%, seguido de un 25,9% perteneciente a pendientes de 0-15%; la microcuenca La Charaveca, presenta una pendiente predominante de 15-30%, con un porcentaje de 49,5%, mientras que el valor más bajo de esta cuenca corresponde a 0.1% para pendientes >100%.

De acuerdo a los valores adquiridos para la micro cuenca de La Chivata, se tiene una pendiente predominante de 50-100%, lo que corresponde un 35,5%, mientras que su valor mínimo corresponde a una pendiente de 0-15% con un 11,9%, al contrario de La García donde su pendiente predominante es de 0-15% donde se tiene un porcentaje de 36,2%, junto a ello tenemos el valor más bajo de pendiente correspondiente a 0,6% para pendientes >100%, lo que quiere decir que aunque todas las microcuencas se encuentran en un espacio con características, biofísicas y climáticas semejantes, el valor pendiente determina grandemente la forma de aprovechamiento e intervención del espacio socio productivamente.

De acuerdo a este carácter morfométrico, permite la configuración espacial y determina el uso de la tierra, es así como se puede evidenciar que en las zonas altas de las microcuencas, se tiene una cobertura netamente boscosa, lo que ha hecho que por su alta pendiente la intervención antrópica sea muy poca y casi nula, mientras que en pendientes más bajas las cuales se concentran en las partes bajas de las microcuencas la intervención antrópica y la expansión de las zonas urbanizadas sea mucho mayor.

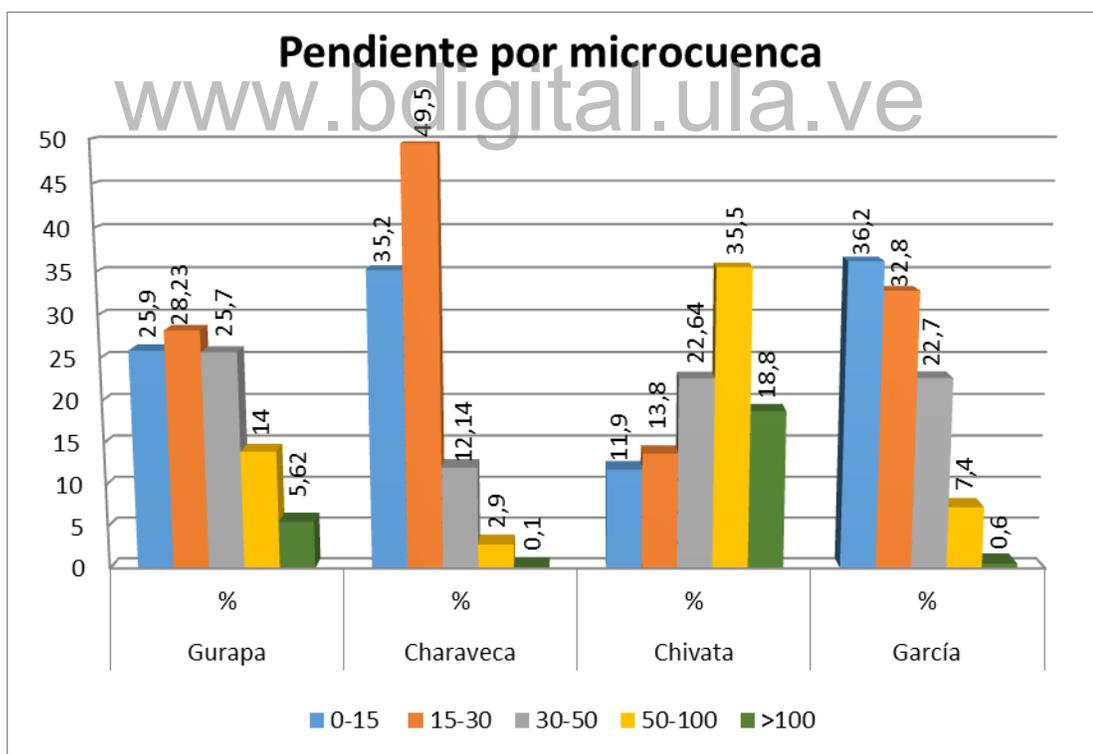
Tabla 29.

Clasificación porcentual y de áreas para pendiente en las microcuencas.

PENDIENTE POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
0-15	25,9	1238,5	35,2	1683,2	11,9	569	36,2	1731
15-30	28,23	1349,9	49,5	2367	13,8	659,9	32,8	1568,4
30-50	25,7	1228,9	12,14	5580,5	22,64	1082,6	22,7	1085,5
50-100	14	669,4	2,9	138,6	35,5	1697,6	7,4	353,8
>100	5,62	295,3	0,1	4,7	18,8	899	0,6	28,6

Gráfico 17.

Clasificación porcentual y de áreas para pendiente en las microcuencas.



4.7.5. Modelo FPEIR (Fuerzas motrices-Presión-Estado-Impacto-Respuesta) propuesto por la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente), Indicadores de Análisis

Este modelo, permitió realizar el análisis preliminar de los cambios de la cobertura y uso de la tierra, cuyo estado inicial se estableció en el año 1991 y los cambios ocurridos en los años 1997, 2004, 2010, 2016, con el fin de conocer las interrelaciones entre las dinámicas socioeconómicas como la expansión del área urbana, el avance de las fronteras agrícolas, las actividades agropecuarias entre otras y los impactos ambientales que repercuten en la sostenibilidad de las microcuencas en estudio.

Una vez procesada la información, se desarrolla un modelo diagnóstico por medio de indicadores cualitativos y cuantitativos (Indicadores de Factor Determinante, Indicadores de Estado, Indicadores de Presión, Indicadores de Impacto) que permitan dimensionar y hacer una representación aproximada de la problemática en las microcuencas de estudio, las cuales se esquematizaron de la siguiente manera:

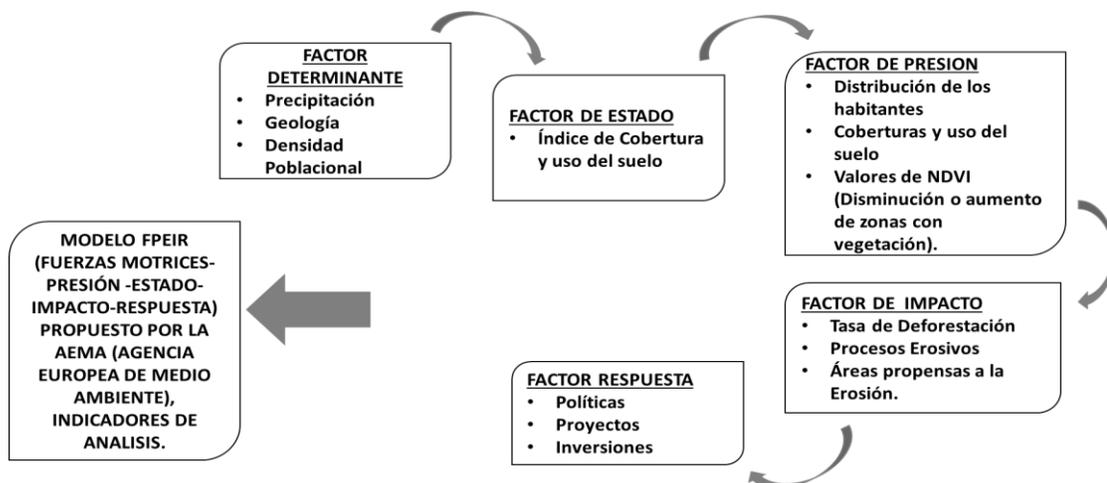


Figura 30. Modelo PFEIR adaptado a la investigación. Fuente: Elaboración propia.

En esta investigación se aplicó el modelo causa - efecto tomando en cuenta las variables (bosques, suelos y demás ambientes modificados), definiendo como es su evolución y su tendencia a raíz de las presiones, ocasionando impactos y respuestas por parte de todo el conjunto que comprende las microcuencas y que repercute en el desarrollo del territorio y la calidad de vida de los habitantes.

Dentro de los criterios adoptados para los índices de estado, se tomaron en cuenta básicamente los factores biofísicos, territoriales, y socio-económicos que repercuten en los cambios de cobertura y uso de la tierra de las microcuencas de estudio, propiciando condiciones críticas para su desarrollo.

Por lo antes expuesto, y de acuerdo a la poca información disponible para el área de estudio, se seleccionaron indicadores ambientales sintetizados en fichas técnicas, que permitieron a través de su expresión recopilada, señalar una condición o característica de valor determinado en el tiempo acerca de factores físico-naturales y sociales importantes de la zona, estos se describen a continuación:

www.bdigital.ula.ve

4.7.5.1. Indicadores de factor determinante

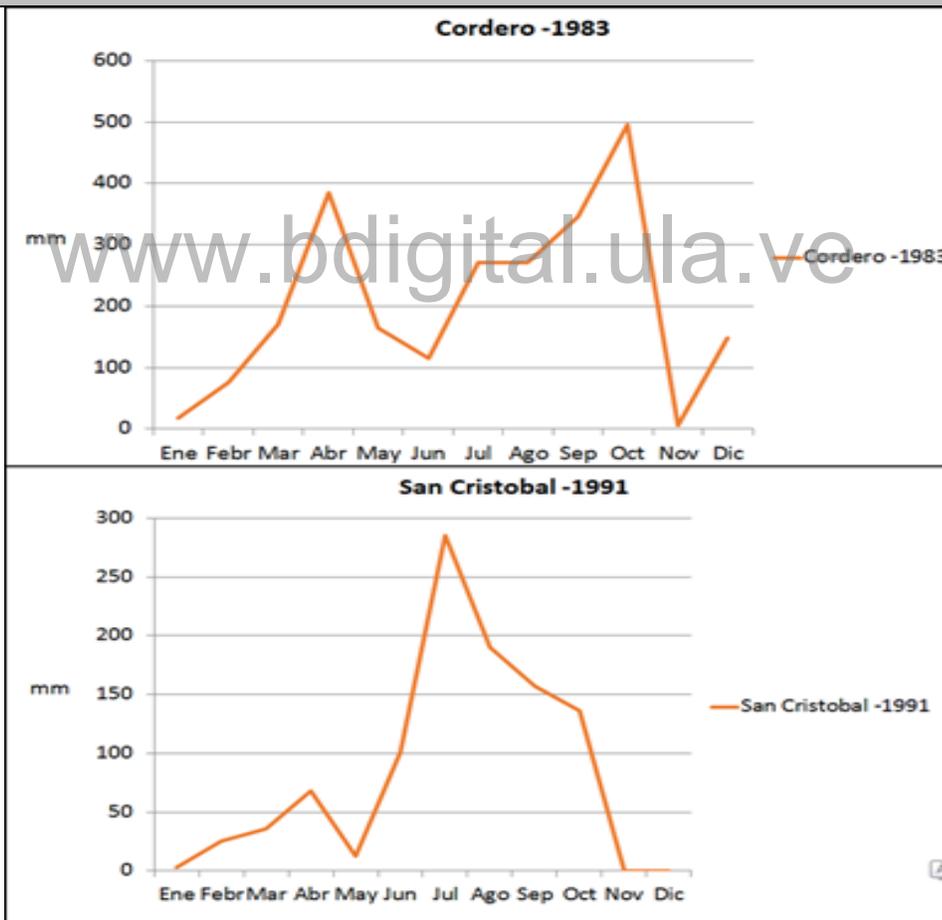
4.7.5.1.1. Índice de precipitación

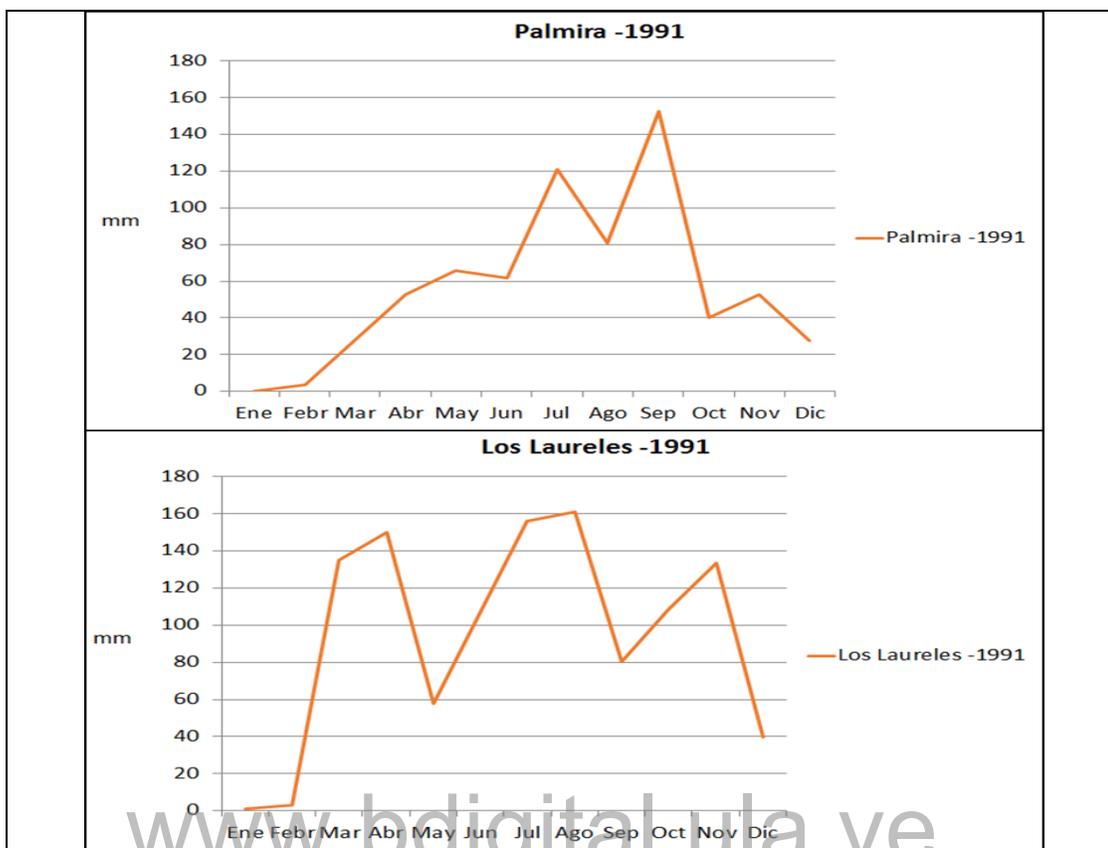
Índice de precipitación
Recurso Hídrico- Factores físicos e hidroclimáticos.
Definición
La precipitación es el agua procedente de la atmósfera que en cualquiera de sus formas físicas, se deposita sobre la superficie de la tierra. El indicador mide la precipitación total media para las microcuencas objeto de la investigación y permite conocer el balance hídrico la cuantificación de la lluvia para un intervalo de tiempo específico. Datos obtenidos de INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).
Relevancia e interacciones
<p>Es un factor natural determinante directamente relacionado con los factores físicos que influyen sobre el comportamiento de las microcuencas especialmente en el ciclo del agua, además de un indicador de seguimiento de la situación actual, coadyuva en aumentar la fragilidad de los demás componentes, cumpliendo la función de detonante con los suelos, la geología, el uso y la pendiente.</p> <p>De igual manera la precipitación va de la mano con la cobertura vegetal, pues de acuerdo al índice de protección que para la microcuenca oscila entre los 0,55 para el bosque y el 0,23 para pasto indica un grado de protección deficiente (Ver detalles en 4.7.5.4.3. Índice de Protección para la cobertura vegetal), haciendo que con los datos altos de precipitación para los meses junio a agosto de 144 mm a 200mm mensuales pueda desencadenar procesos erosivos pues la fragilidad geológica y la pendiente así lo permiten.</p>
Fórmula
No contiene, se hizo recolección de datos de acuerdo a las precipitaciones mensuales utilizando estaciones hidroclimáticas cercanas a la cuenca.
Unidad de Medida
Mm ³
Periodicidad
Mensual para diversos años.

Tabla de datos

MES	ESTACIONES PROXIMAS A LAS MICROCUENCAS									
	PALMIRA		LOS LAURELES			SAN CRISTOBAL				CORDERO
	1991	2016	1991	1997	2016	1991	1997	2004	2016	1983
ENE	*	*	1,3	93,1	1	2,8	73,4	4,6	0,4	17,6
FEB	3,5	*	3,3	41	150,8	25,6	52,6	24,4	0,8	77
MAR	28	*	134,9	44,3	112,2	35,6	13,6	19,4	1,8	170,8
ABR	53	*	150,1	46	150,8	68,2	81,6	106,8	93,4	84,9
MAY	66	*	57,9	48,8	89,6	121,4	62,2	179	144	164,9
JUN	61,8	*	106,9	120,1	154,6	101,2	204,8	*	199,8	115,4
JUL	120,8	112,2	156,2	188,8	132,2	285,1	106,4	*	231,4	270,4
AGO	80,9	79,4	161,1	145,1	91,6	190	256,4	*	200,6	270,5
SEP	152,5	60,4	80,3	59,1	78,2	157	249,4	*	110,6	345,5
OCT	40,4	109	108,3	51,1	156,6	136,6	165,6	*	142,6	495,4
NOV	52,9	130,6	133,4	40,4	1662	*	106,4	*	135,6	6,4
DIC	27,7	93	39,5	31,8	100,8	*	34	*	113,2	148,1

Gráfico





Situación general de las microcuencas

De acuerdo a la distribución de la precipitación y su influencia, es variada, en los tramos más altos, se presentan precipitaciones más altas que varían desde la zona media a alta, teniéndose una precipitación media para cada estación de Cordero 1196,98 mm, Los Laureles 1231,62 mm corresponden a la zona alta, Palmira 909,40 mm y San Cristóbal 1223,22 mm pertenecientes a la zona media y baja, evidenciándose que existe una precipitación elevada de 6 a 8 meses al año, lo que indica que la situación presenta gran cantidad de recurso hídrico que sumado con la remoción de la vegetación, pendientes, las malas prácticas de intervención como las actividades agropecuarias en las altas pendientes, la poca planeación referida a la expansión urbana, la fragilidad propia de la geología (formación la quinta) y los suelos hacen que se desencadenen de forma detonante eventos degradativos del suelo, reflejados en las zonas con erosión y las susceptibles a ser erosionadas.

Fuente

La recolección de los valores de precipitación se hizo a través de los registros captados en 4 estaciones próximas al área de estudio, como lo son Cordero, Palmira, San Cristóbal y Los Laureles pertenecientes a la cuenca de mayor envergadura del Río Torbes, cuyos datos están disponibles en el INAMEH.

4.7.5.1.2. Índice de geología

Índice de Geología			
Recurso Estructural- Factores físicos.			
Definición			
A partir de esta ciencia se estudia el origen, formación y evolución de la Tierra, los materiales que la componen y su estructura, cada formación geológica posee una susceptibilidad específica a los movimientos de masa con la incidencia con otro factor bioclimático hace que se produzca un evento o proceso (Suárez, J.2001)			
Relevancia e interacciones			
Es un factor natural determinante directamente relacionado con los factores físicos que influyen sobre el comportamiento de las micro cuencas especialmente lo relacionado a la estructura de sus materiales, se evidencia la existencia de formaciones geológicas con una conocida fragilidad a la ocurrencia de procesos erosivos y de degradación física que en dinámica con los demás componentes conforma uno de los factores más delicados que puede ocasionar procesos importantes en la problemática ambiental.			
Formula			
No contiene, se hizo recolección de datos de acuerdo a los levantamientos y estudios de PDVSA-2009.			
Unidad de Medida			
Hectáreas (Ha).			
Periodicidad			
Continua.			
Cuadro de datos			
FORMACION	CARACTERISTICAS	PORCENTAJE	
Cuaternario	altos porcentajes de lutitas, limolitas y areniscas y en algunas ocasiones calizas	10%	
Luna	calizas y lutitas calcáreas fértidas con abundante materia orgánica	20%	
Aguardiente Rio Negro	constituidas por areniscas blancas, conglomerados de arcillas y lutitas con coloraciones que varían en amarillo, rojo y morado en ocasiones puede confundirse con la Quinta	15%	
La Quinta	Frecuencia interestratificada de materiales, que en la parte superior presente concentraciones de limolita y arenisca, intercalada con un material tobaceo de color rojo ladrillo y marrón chocolate	45%	
Mucuchachi	está compuesta por una secuencia de pizarras laminadas y pizarras limosas color negro a gris verdoso	10%	

Gráfico



Situación general de las microcuencas

De acuerdo a la distribución de las formaciones y su influencia, es variada, la información geológica en las partes altas de las micro cuencas predomina la formación La Quinta, siendo esta formación la que representa mayor fragilidad en el área debido a su estructura y composición litológica, son esos lugares donde se observan las mayores pendientes, con los grados más altos según el análisis morfométrico, además que según la caracterización del TPI es donde predominan formas de terreno de vertientes elevadas, vertientes rebajadas y fondos de valles en su mayoría, lo que aunado con las demás condiciones fsiconaturales como la distribución de precipitación hacen que estas zonas se encuentren en permanente situación de amenaza a la ocurrencia de fenómenos erosivos y otros eventos de degradación ambiental de importancia.

Fuente

La recolección de los datos de Geología se hizo a través de los registros de trabajos anteriores en la zona como Ferrer, 1997; PDVSA, 2009 y Ministerio de Agricultura y Cría, 1974.

4.7.5.1.3 Índice de geomorfología (Curvatura, orientación, forma del terreno, pendiente)

Índice de geomorfología (Curvatura, orientación, TPI, pendiente)
Recurso Espacial – Factor Estructural- Análisis morfométrico.
Definición
Es una rama de la geografía que estudia las formas de la superficie terrestre, así como también los procesos que la generan que toma en cuenta factores que la desencadenan como los geográficos, bióticos, geológico y los antrópicos.
Relevancia e interacciones
La acción del ser humano sobre el relieve es muy variable, dependiendo de la actividad que se realice, en este sentido es muy difícil generalizar, pudiendo incidir a favor o en contra de los procesos erosivos que en conjunto con los demás componentes y debido a la forma que posee el terreno pudiese desencadenar procesos constructivos y destructivos, como es el caso de la zona de estudio donde se observan formas de terreno con altas pendientes y áreas planas, las cuales ayudan a definir el tipo de uso y por ende de cobertura que se establece en esos lugares cuyas acciones poco planificadas y zonificadas desencadenan en gran medida degradaciones ambientales como es el caso de los procesos erosivos.
Formula
No posee formula especifica; se utilizaron módulos y algoritmos de software cartográficos.
Unidad de Medida
Porcentaje (%).
Periodicidad
Continua, pues es un índice que se mantiene en el tiempo.

Cuadros de datos

ORIENTACION POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
ORIENTACION	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
N	9,52	455,2	8,32	397,8	13,5	645,5	1	47,82
NE	2,01	95,61	3,05	143,4	0,8	3,8	3,4	162,5
E	3,4	162,5	9,4	66,9	8,1	387,3	12,6	602,5
SE	7,9	377,7	13,1	626,4	16,4	784,2	14	669,4
S	19,1	913,3	20,5	980,3	17,8	851,1	19,5	932,4
SW	19,3	922,9	2,5	119,5	16,8	803,3	24,2	1157,2
W	21,4	1023,3	24,3	1162	15,3	731,6	18,1	865,5
NW	16,9	808,1	18,5	884,67	16,3	779,4	6,68	319,4

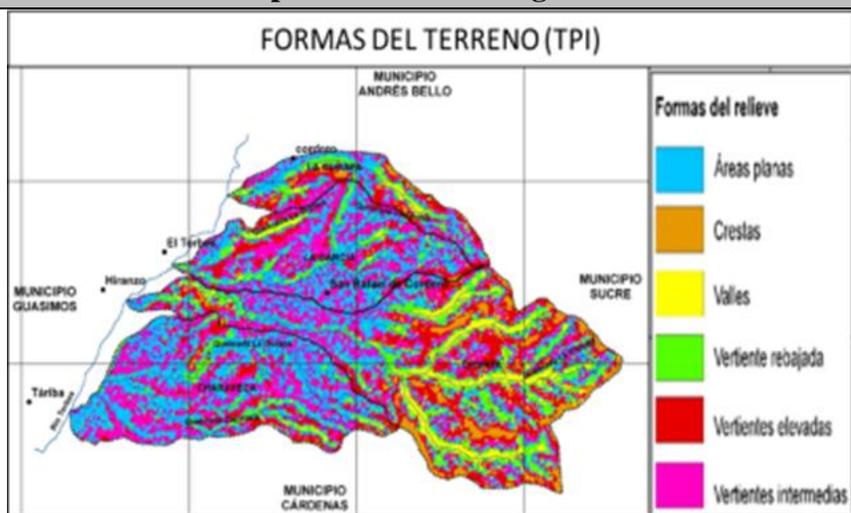
ORIENTACION POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
ORIENTACION	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
N	9,52	455,2	8,32	397,8	13,5	645,5	1	47,82
NE	2,01	95,61	3,05	143,4	0,8	3,8	3,4	162,5
E	3,4	162,5	9,4	66,9	8,1	387,3	12,6	602,5
SE	7,9	377,7	13,1	626,4	16,4	784,2	14	669,4
S	19,1	913,3	20,5	980,3	17,8	851,1	19,5	932,4
SW	19,3	922,9	2,5	119,5	16,8	803,3	24,2	1157,2
W	21,4	1023,3	24,3	1162	15,3	731,6	18,1	865,5
NW	16,9	808,1	18,5	884,67	16,3	779,4	6,68	319,4

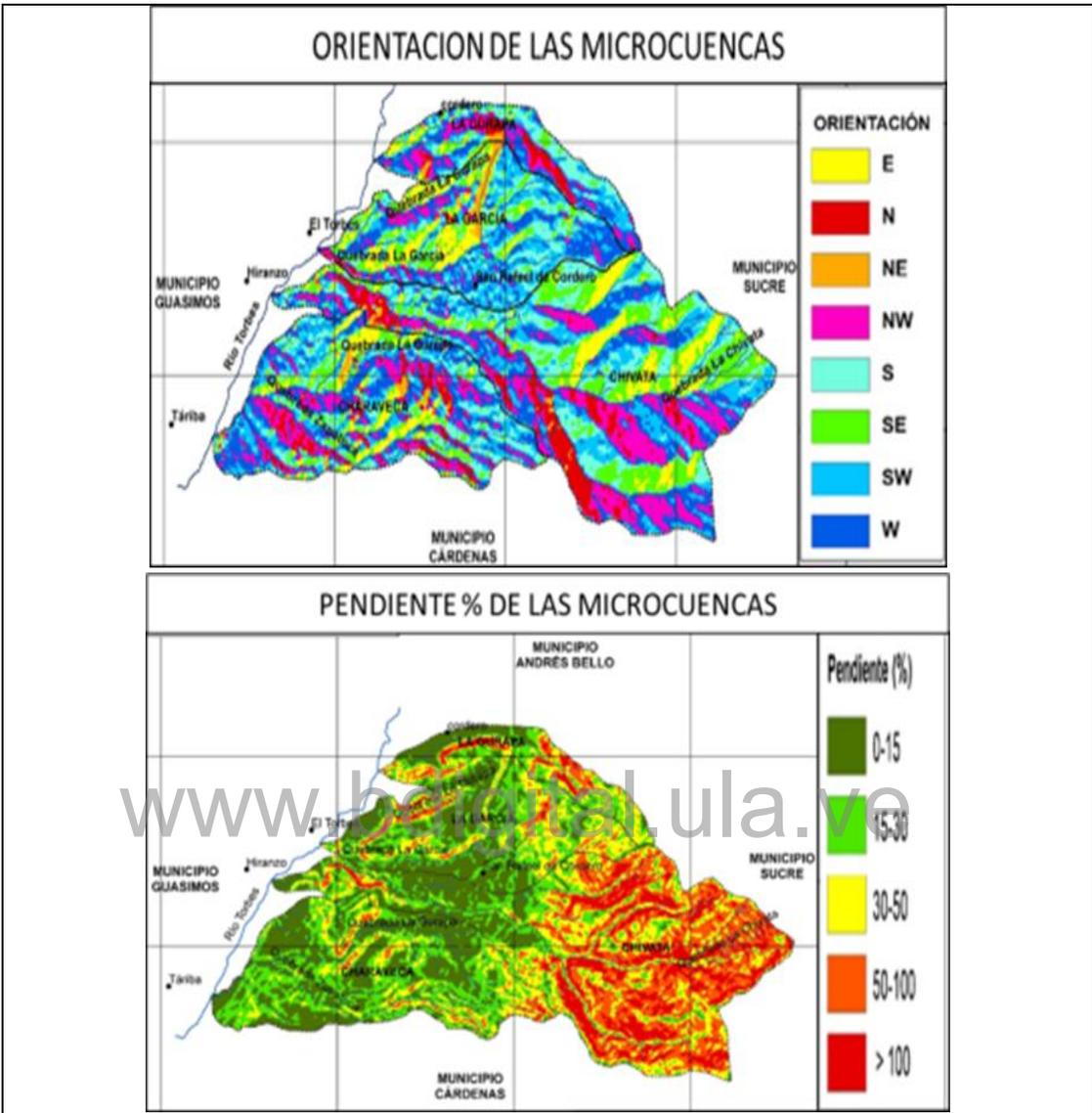
PENDIENTE POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
PENDIENTE%	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
0-15	25,9	1238,5	35,2	1683,2	11,9	569	36,2	1731
15-30	28,23	1349,9	49,5	2367	13,8	659,9	32,8	1568,4
30-50	25,7	1228,9	12,14	5580,5	22,64	1082,6	22,7	1085,5
50-100	14	669,4	2,9	138,6	35,5	1697,6	7,4	353,8
>100	5,62	295,3	0,1	4,7	18,8	899	0,6	28,6

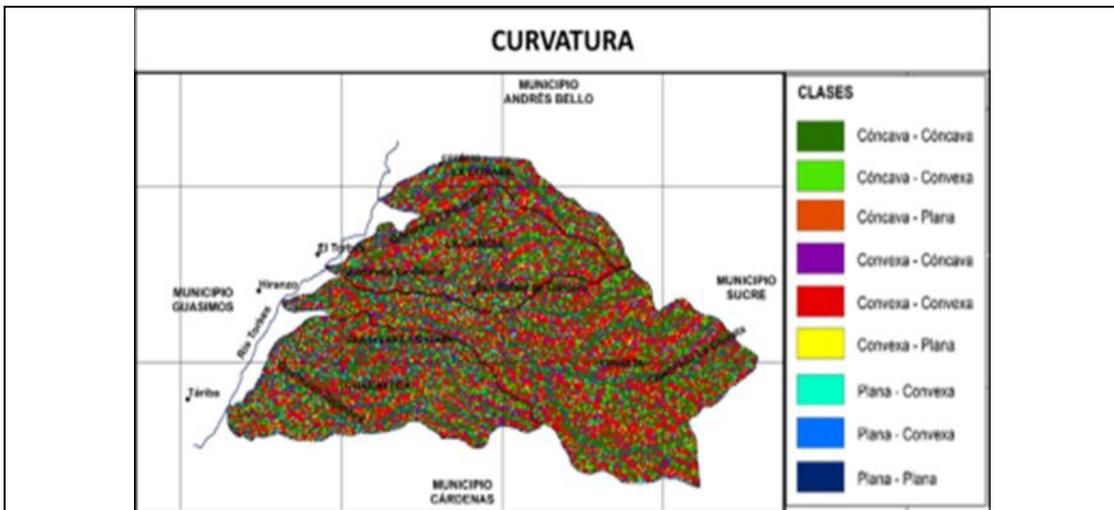
CURVATURA POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Cóncava – Cóncava	30,93	1477,6	32,3	1544,5	33,4	1597,1	30,8	1472,8
Cóncava- Plana	2,9	138,6	3,35	160,1	2,3	109,9	3,5	167,3
Cóncava- Convexa	9,2	439,9	8,85	423,2	10,26	490,6	9,1	435,1
Plana – Convexa	4	191,2	4,17	199,4	2,3	109,9	3,8	181,7
Plana – Plana	3,8	181,7	2,9	138,6	1,58	75,5	2,5	119,5
Plana – Convexa	3,2	153	3,31	158,2	2,43	116,20	3,3	157,8
Convexa – Cóncava	11,9	569	9,7	463,8	10,39	496,84	10	478,2
Convexa –Plana	3,0	143,4	3,5	167,3	2,45	116,20	3,4	162,5
Convexa - Convexa	30,7	1468	31,67	1514,4	34,6	1564,5	33,1	1582,8

TPI POR CUENCA	Gurapa		Charaveca		Chivata		García	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
TPI – INDICE TOPOGRAFICO								
VALLES	4,5	215,1	1	47,82	9,7	463,8	1,8	86
VERTIENTES REBAJADAS	16	765,1	9	430,3	17,1	817,7	10,3	492,5
AREAS PLANAS	29,5	1410,6	42,4	2027,5	21,2	1013,7	37,6	1792,8
VERTIENTES INTERMEDIAS	26,3	1257,6	36,7	1754,9	22	1052	38,1	1821,9
VERTIENTES ELEVADAS	17,5	836,8	9,7	463,8	2,0	95,6	11,1	530,8
CRESTAS	5,96	285	0,9	43	9,4	449,5	0,9	43

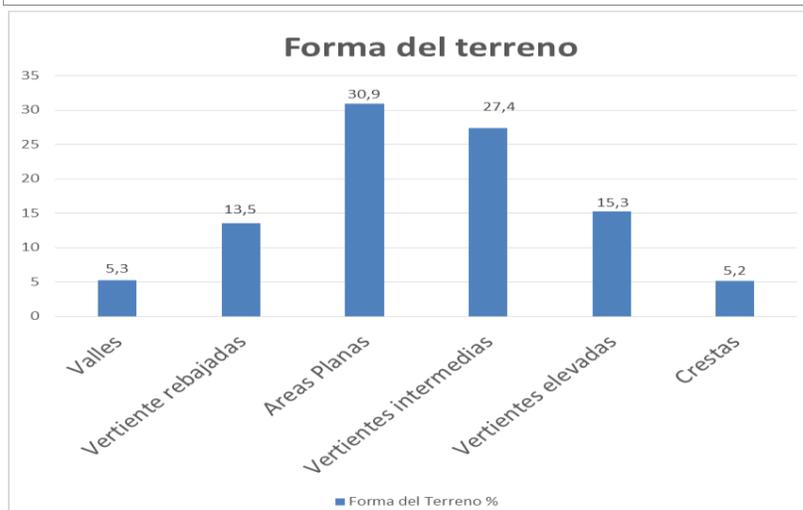
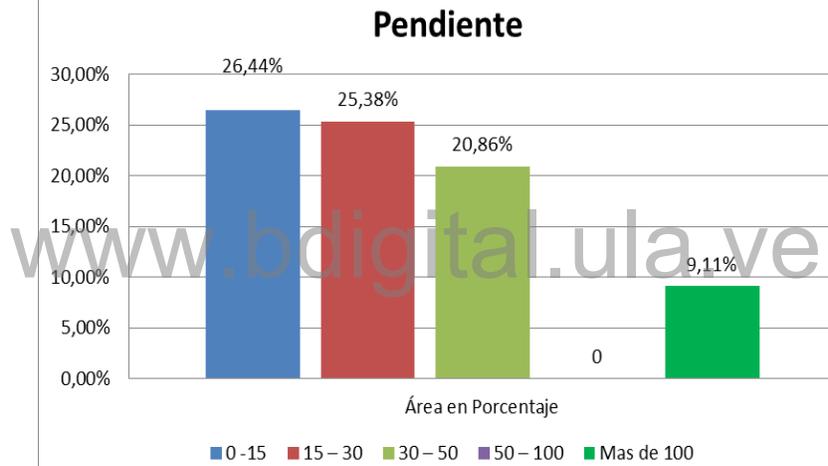
Representación Cartografica

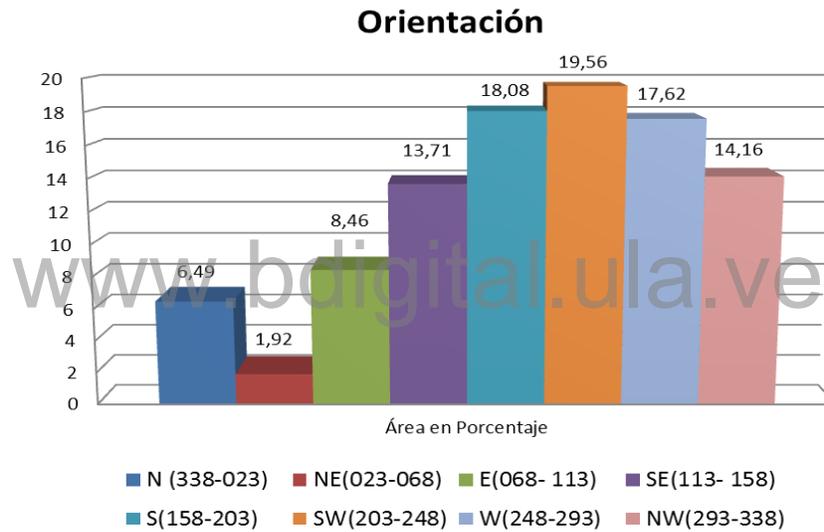
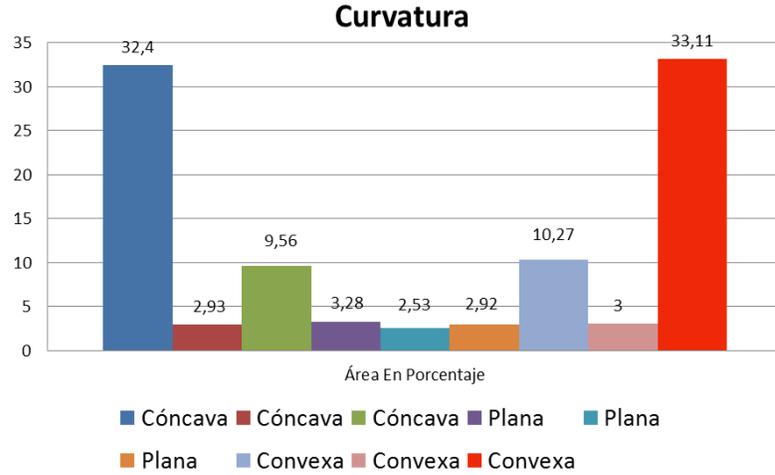






Representación gráfica





Situación general de las microcuencas

La manera en que se encuentran distribuidas las formas del terreno y las características que albergan, determinan en gran medida la ocupación y el uso de los espacios en la zona de estudio, así como también el asentamiento antrópico, se evidencia a partir del análisis de las imágenes que las zonas altas con pendientes >100% y con una forma de terreno predominante de vertientes elevadas hacen que exista una intrincada configuración geomorfológica ha hecho que la intervención sea menos pues las mayor cantidades de bosque denso del área de estudio se concentran en esas áreas, mientras que las partes bajas donde predomina un relieve plano con pendientes >0% y menores a <30%, es donde se han establecidos áreas urbanas en continua expansión, mientras que en las zonas medias de las cuencas la configuración ha estado orientada al uso de producción agrícola en zonas de áreas planas y vertientes intermedias con pendientes variables >0% y <50% y al

establecimientos de cubiertas de pastos, corroboradas con en cada uno de los elementos del análisis morfométrico realizado en consecuencia con la interpretación de cada una de las imágenes y su evolución en el tiempo evidencia el desarrollo de actividades antropicas donde predomina pendientes menores e intermedias menores al 50% .
Fuente
Elaboración propia.

4.7.5.2. Indicadores de Factor Estado

4.7.5.2.1. Índice de Coberturas (1991)

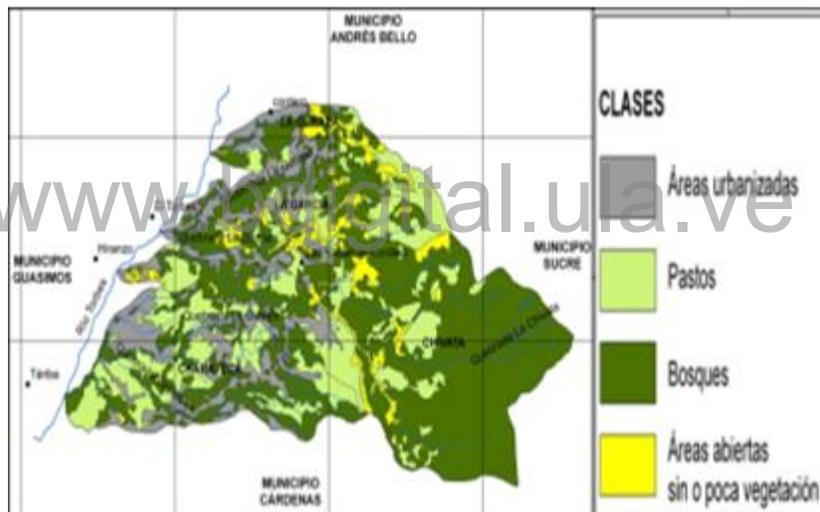
Índice de Coberturas (1991)
Recurso Espacial – Factor Ocupación Espacial
Definición
Es el aspecto visible del uso de la tierra, el cual biofísicamente se encuentra sobre la superficie terrestre, y es el resultado de los usos específicos de la tierra. Determina la superficie expresada en porcentaje destinada a ciertas coberturas tomadas de la CLC clasificadas sobre las microcuencas, hallándose la superficie total para cada una de las coberturas desde el año inicial del periodo de estudio.
Relevancia e interacciones
Es un factor Social determinante que se encarga de medir la presión que ejerce el cambio de uso y cobertura de estos espacios geográficos como la expansión de la zona de pastos, la expansión de la zona urbanizada, la disminución, aumento de los bosques y el aumento de las áreas con poca o sin vegetación evidenciando, cual es el uso de los diversos recursos naturales en toda el área de estudio. Para la determinación de este índice se hizo necesario la utilización de técnicas cartografías y computacionales así como los datos de precipitación, geología, y valores de coberturas además de ciertos valores, características geológicas y geomorfológicas que hacen que se establezcan o no ciertas coberturas como los pastos o las zonas urbanizadas ya que están determinadas a ciertas condiciones físico-naturales.
Formula
No posee formula especifica; se utilizaron módulos y algoritmos de software cartográficos.
Unidad de Medida
Porcentaje (%).
Periodicidad

Periodos de 6 y 7 años para cada fecha.

Cuadros de datos

Interpretación Visual de Coberturas para imagen Landsat año 1991.		
Categoría	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Zonas Urbanizadas	738,81	15,45
Pastos	1163,50	24,31
Bosque	2566,97	53,68
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	312,26	6,53
TOTAL	4782	100

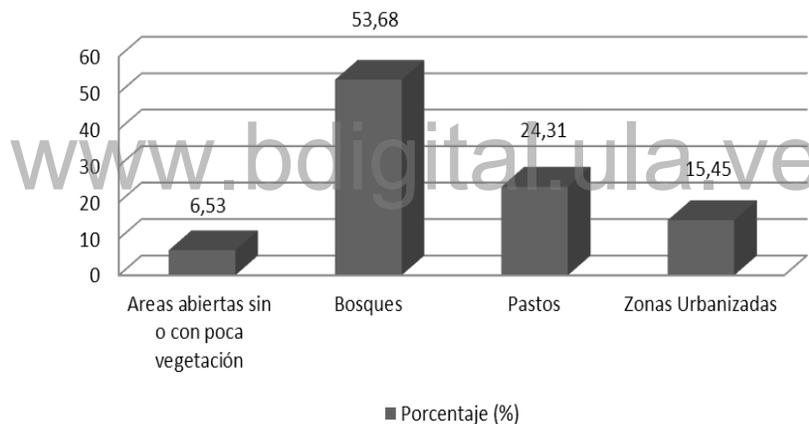
Representación Cartográfica





Representación gráfica

Interpretación del año 1991



Situación general de las microcuencas

Las condiciones de las cuencas en el año de 1991 se determinó que el mayor porcentaje de cobertura era la categoría de bosques, representando un **53,68%** es decir 2566,97 Ha ubicadas en la parte superior de la zona de estudio, donde se encuentran las mayores pendientes **>50%** y donde están las vertientes más elevadas con fondos de valles bastante pronunciados, es decir para este año las microcuencas se encontraban con cobertura vegetal densa que hacia posible mayor protección minimizando las posibilidades de la ocurrencia de eventos de degradación ambiental en la zona de estudio mientras que los valores más bajos están representados por un 6,53% es decir 312,26 Ha correspondiente a áreas sin o con poca vegetación, siendo esta clase la que alberga las áreas erosionadas, esta cobertura como se evidencia en la representación cartográfica está ubicada en la zona media y baja de las

microcuencas, se presume que se debió a la eliminación de otras coberturas vegetales posiblemente el bosque para dos fines, uno la expansión del área urbanizada, y dos para la ampliación de la fronteras agrícolas, pues en estas zonas se ve el desarrollo de estas dos coberturas con mayor acentuación, además que desde el punto de vista morfométrico están favorecidas por pendientes $<30\%$ y por formas del terreno de tipo vertiente intermedia y plano, con relación a la cobertura de pastos, se evidencia que esta ubicada en zonas con una pendientes moderada $>0\%$ pero $<50\%$ es decir ideales para la ampliación de las fronteras agrícolas y de zonas urbanizadas, en este caso se pudo observar la existencia de pastos con un $24,31\%$ es decir $1163,5\text{Ha}$.

Fuente

Elaboración propia.

www.bdigital.ula.ve

4.7.5.3. Indicadores de Factor Presión.

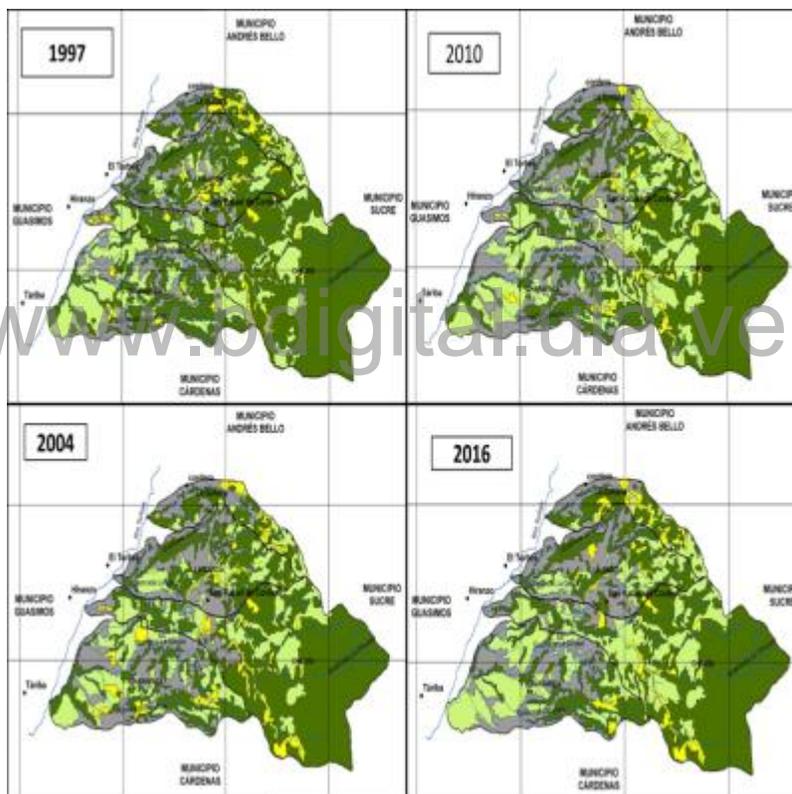
4.7.5.3.1. Índice de coberturas (1997, 2004, 2010, 2016)

Índice de coberturas (1997, 2004, 2010, 2016)
Recurso Espacial – Factor Ocupación Espacial
Definición
<p>Es el aspecto visible del uso de la tierra, el cual biofísicamente se encuentra sobre la superficie terrestre, y es el resultado de los usos específicos de la tierra. Determina la superficie expresada en porcentaje destinada a ciertas coberturas tomadas de la metodología Corina Land Cover (CLC) clasificadas sobre las microcuencas, hallándose la superficie total para cada una de las coberturas en cada uno de los años estudiados, cuanto ha sido el cambio de cada una de esas coberturas y como los factores determinantes han dado origen a la configuración a través del tiempo, se toman como coberturas:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Zonas Urbanizadas.2. Pastos.3. Bosques.4. Áreas abiertas sin o con poca vegetación.
Relevancia e interacciones
<p>Es un factor social determinante que se encarga de medir la presión que ejerce el cambio de uso y cobertura de estos espacios geográficos como la expansión de la zona de pastos, área urbanizada, la disminución y aumento de los bosques y el aumento de las áreas con poca o sin vegetación, evidenciando cuál es el uso de los diversos recursos naturales en toda el área de estudio. Para la determinación de este índice se hizo necesario la utilización de técnicas cartografías y computacionales específicamente la aplicación de metodología de cambios multitemporales y técnicas de interpretación visual de pantalla que en conjunto con los datos de precipitación, geología, y valores de coberturas además de ciertos valores, características geológicas y geomorfológicas hacen que se establezcan o no ciertas coberturas como los pastos o las zonas urbanizadas ya que están determinadas a ciertas condiciones físico-naturales.</p>
Formula
No posee formula especifica; se utilizaron módulos y algoritmos de software cartográficos.
Unidad de Medida
Porcentaje (%).
Periodicidad
Periodos de 6 y 7 años para cada fecha.

Cuadros de datos					
COBERTURA	1991	1997	2004	2010	2016
ZONAS URBANIZADAS	738,81 Ha	822,02 Ha	1039,12 Ha	1158,67 Ha	1218,93 Ha
PASTOS	1163,50 Ha	1060,16 ha	1088,86 Ha	1303,57 Ha	1253,84 Ha
BOSQUE	2566,97 Ha	2664,05 ha	2335,05 Ha	2110,77 Ha	2070,12 Ha
AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION	312,26 Ha	234,31 Ha	318,48 Ha	208,01 Ha	238,14 Ha

Representación Cartográfica

COBERTURA	ZONAS URBANIZADAS	PASTOS	BOSQUE	AREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACION
-----------	-------------------	--------	--------	------------------------------------------



Situación general de las microcuencas

Las transformaciones ocurridas en las microcuencas pueden ser interpretadas como el resultado de las continuas interacciones, la población en cada uno de los tramos varía de acuerdo al carácter urbano o rural que poseen las áreas de estudio. Se destacan especialmente los tramos medio y bajo como los más urbanizados y por tanto los de mayor población y densidad de vivienda, lo cual representa una fuerza motriz de presión sobre el recursos naturales en especial al bosque, el cual presenta durante un periodo de 25 años una disminución leve pero representativo, con un

avance progresivo y continuo de la zona urbanizada y por ende acrecentamiento de la población, que aunque no se tenga valores de población se estima su crecimiento a partir de la expansión de la zona urbana, estas transformaciones se corroboran con los cambios observados en los valores de los NDVI, donde se identifican las zonas con vegetación y las áreas sin vegetación correspondiéndose todos los resultados en los dinanismos observados; una gran proporción de la población se asienta en terrenos escasamente aptos; condiciones estas que predisponen a un riesgo elevado, particularmente frente a cualquier precipitación de cierta intensidad.

Los cambios ocurridos en la microcuencas, pueden ser interpretados como la dinámica general de la cobertura misma, observándose que durante el periodo de análisis para cada una de las coberturas se tiene que para 1991 a 2016 (25 años), se tiene que las zonas urbanas ocupan 1218,93 Ha (25,49%) aumentando considerablemente 480,12Ha es decir un 10,04%, la cobertura de pastos ocupaba 1253,84 Ha, (26,22%) aumentando 90,34 Ha es decir un 1,91%, de acuerdo al bosque se tenía 2170, 12 Ha (43,29%) disminuyendo un 10,39% es decir unas 496,85Ha que se presume en su gran mayoría fueron sumadas a la cobertura de urbanizadas, por ultimo con relación a la cobertura de áreas abiertas con poca o sin vegetación se tenían 238,14Ha (4,98%) disminuyendo 1,55% es decir 74,12Ha.

Es importante hacer mención que la actividad predominante dentro de estas microcuencas es la residencial, dada su cercanía a la ciudad de San Cristóbal. Los Centros Poblados de las microcuencas constituyen centros dormitorio para personas que mayoritariamente trabajan en esta urbe; por otro lado, y en menor escala, se desarrollan otras actividades como la agricultura y la ganadería extensiva.

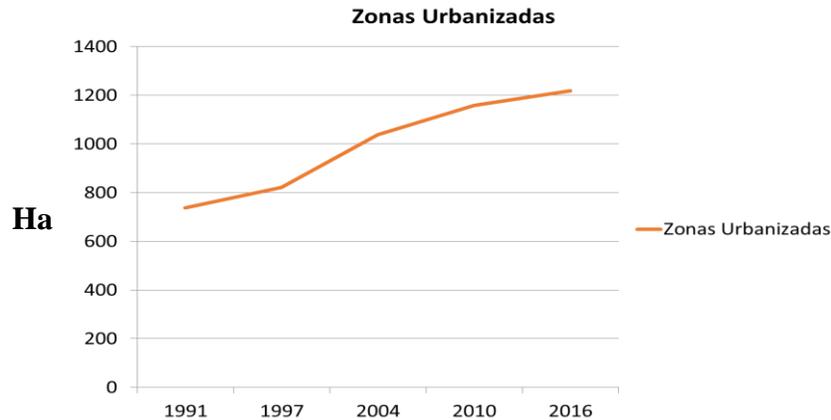
Fuente

Elaboración propia.

4.7.5.3.2 Índice de incremento de superficies artificiales

Índice de incremento de superficies artificiales																							
Recurso Espacial – Factor Ocupación Espacial																							
Definición																							
<p>Es un indicador que informa sobre el incremento de territorios que han sido ocupados de manera permanente por superficies artificiales, definiéndose como en conjunto formado por categorías definidas en el Corine Land Cover la cual comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas.</p>																							
Relevancia e interacciones																							
<p>Permite conocer el avance las zonas artificializadas, y como estas han aumentado en las diversas fechas que se tomaron en cuenta, se toma como año de referencia la fecha de partida 1991 en conjunto con el año 2016 y como ha ocurrido el crecimiento en los diversos años, sabiéndose que la eliminación de unas cobertura constituye el crecimiento de otras.</p>																							
Formula																							
$IIA = \frac{\text{total Ha de sup. del año 1991} - \text{total de Ha de sup. en el año 2016} \times 100}{\text{Total de Ha de sup del año 1991}}$																							
Unidad de Medida																							
Ha.																							
Periodicidad																							
Fechas intercaladas de 6 a 7 años.																							
Cuadros de datos																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>COBERTURA</th> <th>1991</th> <th>1997</th> <th>2004</th> <th>2010</th> <th>2016</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ZONAS URBANIZADAS</td> <td>738,81 Ha</td> <td>822,02 Ha</td> <td>1039,12 Ha</td> <td>1158,67 Ha</td> <td>1218,93 Ha</td> </tr> <tr> <td>INCREMENTO 1991-2016</td> <td colspan="5">480,12 Ha es decir un 10,04% del área total</td> </tr> </tbody> </table>						COBERTURA	1991	1997	2004	2010	2016	ZONAS URBANIZADAS	738,81 Ha	822,02 Ha	1039,12 Ha	1158,67 Ha	1218,93 Ha	INCREMENTO 1991-2016	480,12 Ha es decir un 10,04% del área total				
COBERTURA	1991	1997	2004	2010	2016																		
ZONAS URBANIZADAS	738,81 Ha	822,02 Ha	1039,12 Ha	1158,67 Ha	1218,93 Ha																		
INCREMENTO 1991-2016	480,12 Ha es decir un 10,04% del área total																						

Representación Gráfica



Situación general de las microcuencas

De acuerdo a este indicador, permitió estimar el índice de incremento de área artificial en la zona de estudio obteniéndose que este índice es de 64,98% es decir que el incremento de las áreas artificiales en este caso urbanizadas, tiene un crecimiento desde 1991-2016 de 64,98% ocupando un nuevo espacio desde 1991 de 480 Ha lo que representa un 10% del área total de estudio, de igual manera se obtuvo la misma tasa de crecimiento realizando las sumatorias por Ha para cada año, corroborándose dicho valor, cabe destacar que este crecimiento se da de mayor forma en las partes bajas pues según los resultados de forma del terreno en el análisis morfométrico nos indican que estas zonas son las más planas y por ende favorece desde el punto de vista de la pendiente la implementación de este tipo de cobertura.

El componente social, es uno de los más importantes para conocer la realidad de las microcuencas, cuyo actuar es clave y requiere una interpretación cuidadosa, pues permite determinar la tendencia de la expansión urbana así como los conflictos que se suceden con la vocación de uso del suelo que no se está respetando, como se observa en las cuencas objeto de estudio, donde existen condiciones fisiconaturales que se presume no debería existir asentamientos humanos por pendiente, estabilidad, vocación del suelo entre otras en algunas zonas medias altas de las microcuencas, para poder establecer esos análisis es necesario realizar estudios de asignación de uso de los suelos.

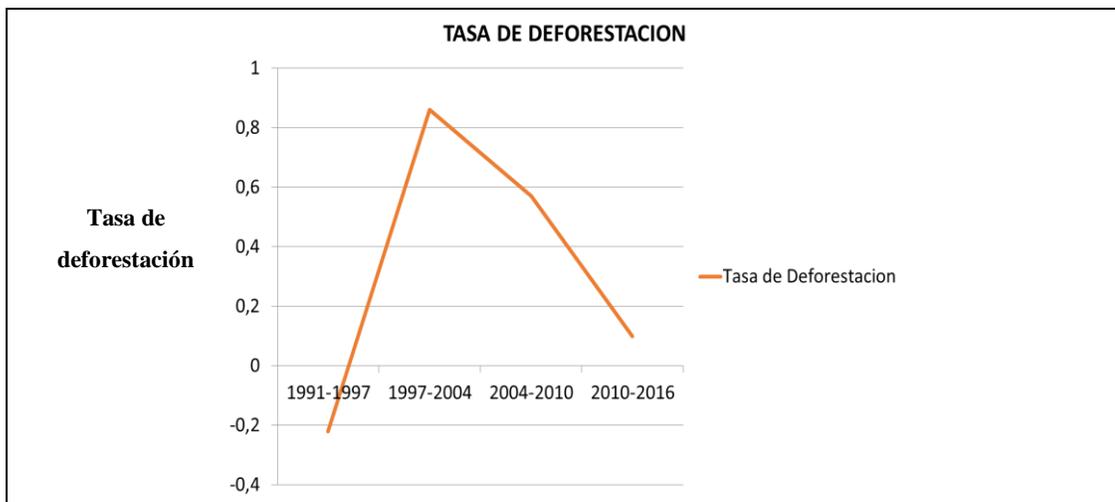
Fuente

Elaboración propia, "Proyecto Landcover del Programa Corine (UE) del Instituto Geográfico Nacional, según la publicación de sus datos en IAEST/Medio Ambiente.

4.7.5.4. Indicadores de impacto

4.7.5.4.1. Índices de deforestación para los periodos 1991-1997; 1997-2004; 2004-2010; 2010-2016, y la tasa de deforestación 1991-2016

Índice de incremento de superficies artificiales													
Índices de deforestación para los periodos 1991-1997; 1997-2004; 2004-2010; 2010-2016, y la tasa de deforestación 1991-2016													
Definición													
El proceso de deforestación es definido por la FAO como “el cambio de uso de la tierra, que implica disminuir la cubierta de copa de los arboles a menos de un diez por ciento” (FAO, 1993). En este sentido, la deforestación se cuantificó y analizó mediante la tasa media anual de pérdida de bosque planteada por Sader y Armond (1988).													
Relevancia e interacciones													
Este indicador es determinante y mide la presión del crecimiento urbano acelerado no planificado y su impacto en la pérdida de cobertura boscosa que hace susceptible a las microcuencas ante su condición físico natural frágil desde el punto de vista geológico y geomorfológico.													
Formula													
$D = \frac{Ab1 - Ab2}{Ab1 * N} * 100$													
Unidad de Medida													
Ha/año.													
Periodicidad													
Aplicado a 25 años.													
Cuadros de datos													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PERIODOS</th> <th>TASA DE DEFORESTACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1991-1997</td> <td>-0,22 Ha/año</td> </tr> <tr> <td>1997-2004</td> <td>0,86 Ha/año</td> </tr> <tr> <td>2004-2010</td> <td>0,57 Ha/año</td> </tr> <tr> <td>2010-2016</td> <td>0,1 Ha/año</td> </tr> <tr> <td>1991-2016 (general)</td> <td>4,3 Ha/año</td> </tr> </tbody> </table>	PERIODOS	TASA DE DEFORESTACIÓN	1991-1997	-0,22 Ha/año	1997-2004	0,86 Ha/año	2004-2010	0,57 Ha/año	2010-2016	0,1 Ha/año	1991-2016 (general)	4,3 Ha/año
PERIODOS	TASA DE DEFORESTACIÓN												
1991-1997	-0,22 Ha/año												
1997-2004	0,86 Ha/año												
2004-2010	0,57 Ha/año												
2010-2016	0,1 Ha/año												
1991-2016 (general)	4,3 Ha/año												
Representación Gráfica													



Situación general de las microcuencas

La intervención antropogénica a lo largo de las microcuencas ha sido continua y constante, los diversos cambios de coberturas se han hecho visibles en la configuración y reconfiguración espacial de la zona, sin embargo, se observa que la cobertura bosque ha tenido un dinamismo muy activo en cuanto a sus expansiones y contracciones en 25 años, aunque la cobertura de bosque se mantiene a causa de la regeneración natural, más sin embargo se conserva una tasa de deforestación positiva, esto radica en que estas zonas han sido tomadas más con funcionalidad urbana que uso agropecuario, aunque se desarrolla una producción agropecuaria en la zona esta pasa a segundo plano, ya que el aumento de las zonas urbanizadas son las que representan la mayor actividad. Para 25 años se tiene una tasa de deforestación de 4,23 Ha/año algo relativamente bajo al crecimiento de la población, anteriormente en la sección baja de la zona de estudio existían producciones netamente agropecuarias pero al momento de emplazarse las zonas urbanizadas sustituyo esta cobertura por cobertura urbanizada sin afectar gravemente los bosque pues estos se concentran en la parte alta donde por factores determinantes físico naturales se hace imposible el establecimiento de otros usos y coberturas.

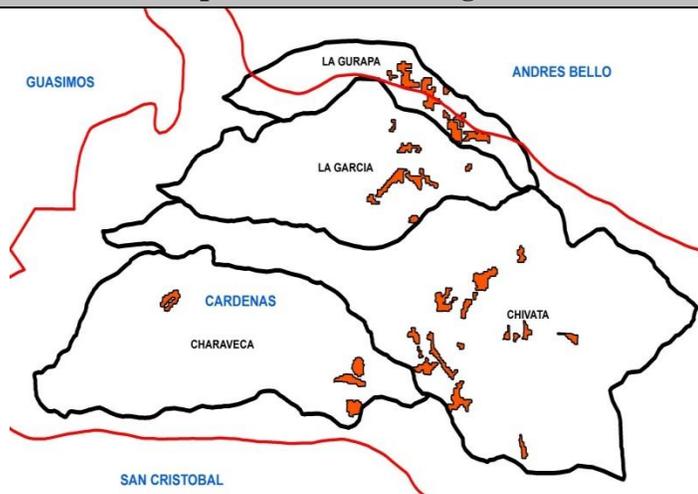
Fuente

FAO 1993.

4.7.5.4.2 Índice de procesos erosivos

Índice de procesos erosivos																											
Suelo – Impacto y vulnerabilidad.																											
Definición																											
Según la SCSA (1982) citado por López (2002), definen a la erosión como un proceso que se caracteriza por el desprendimiento y arrastre de material entre ellos fragmentos y rocas los cuales son transportados por un agente activo que puede ser el viento, el agua, hielo o gravedad.																											
Relevancia e interacciones																											
Son superficies en el terreno que presentan un grado de erosión avanzada, ésta es debido a la intervención antrópica, la cual se ve reflejada en la remoción de la cobertura vegetal y el sobrepastoreo; en épocas de lluvias, éstas zonas son productoras de continuos deslizamientos o movimientos en masas como se observó en visita de campo, identificándose procesos previamente discriminados en las imágenes satelitales. La presencia de surcos de erosión generados por el agua de escorrentía es muy común en estas áreas producto de valores morfométricos como pendientes, litología, geología y geomorfología aunado a ello los usos intensivos o no zonificados desencadenan procesos que varían en grado, tamaño, forma, tipo e intensidad.																											
Formula																											
$IE = \frac{\text{Superficie Total de Erosión en Ha} \times 100}{\text{Superficie Total e Estudio en Ha}}$																											
Unidad de Medida																											
Números binarios según observación de campo Superficie hectáreas (Ha).																											
Periodicidad																											
Anual.																											
Datos																											
Área con procesos erosivos TOTAL = 139,15 Ha = 2,91% Área propensa a ser erosionada = 98,99 Ha Índice de factor Erosivo = 2,90%																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">AREA EROSIONADA TOTAL Y POR CUENCA PARA 2016</th> </tr> <tr> <th>MICRO CUENCA</th> <th>AREA TOTAL Ha</th> <th>AREA EROSIONADA Ha</th> <th>PORCENTAJE EROSIONADA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LA GURAPA</td> <td>409,75</td> <td>33,95</td> <td>8,28 %</td> </tr> <tr> <td>LA GARCIA</td> <td>755,98</td> <td>23,43</td> <td>3%</td> </tr> <tr> <td>LA CHIVATA</td> <td>2648,56</td> <td>58,34</td> <td>2,20%</td> </tr> <tr> <td>CHARAVECA</td> <td>968,11</td> <td>22,47</td> <td>0,47%</td> </tr> </tbody> </table>				AREA EROSIONADA TOTAL Y POR CUENCA PARA 2016				MICRO CUENCA	AREA TOTAL Ha	AREA EROSIONADA Ha	PORCENTAJE EROSIONADA	LA GURAPA	409,75	33,95	8,28 %	LA GARCIA	755,98	23,43	3%	LA CHIVATA	2648,56	58,34	2,20%	CHARAVECA	968,11	22,47	0,47%
AREA EROSIONADA TOTAL Y POR CUENCA PARA 2016																											
MICRO CUENCA	AREA TOTAL Ha	AREA EROSIONADA Ha	PORCENTAJE EROSIONADA																								
LA GURAPA	409,75	33,95	8,28 %																								
LA GARCIA	755,98	23,43	3%																								
LA CHIVATA	2648,56	58,34	2,20%																								
CHARAVECA	968,11	22,47	0,47%																								

Representación Cartográfica



Situación general de las microcuencas

De acuerdo a la interpretación realizada de forma preliminar bajo la plataforma de Google Earth, se estimó un área erosionada de aproximadamente 139,15 Ha lo que se interpreta en un 2,91% del área total, aunque esta área es muy pequeña en comparación al área total, se tiene que la misma se sitúa a partir de la zona media alta. Apoyándonos en los resultados obtenidos se tiene que en esa zona según análisis morfométrico es donde se encuentran las mayores pendientes aunado de las fronteras de deforestación que justamente se encuentran distribuidas a esa altura, allí se concentran las mayores cantidades de cobertura de pasto y donde se concentran la mayores precipitaciones, aunado a la fragilidad geológica y la poca planificación se condensa en ser la zona ideal para la ocurrencia de estos eventos degradantes que en su mayoría corresponden a sistemas e cárcavas y surcos de flujo concentrado. De acuerdo a los procesos erosivos por microcuenca se evidencia una estimación que la microcuenca más afectada corresponde a La Gurapa teniéndose que un 8,28% es decir 33,95 Ha de su área esta erosionada recordando que esta microcuenca tiene una forma alargada que la hace más torrencial, pendientes fuertes y una alta intervención antrópica, además que sus procesos erosivos se encuentran muy próximos a las zonas urbanizadas fungiendo como una amenaza a la población vulnerable representando un riesgo de eventos de movimientos de masa como análisis preliminar, mientras que la menos afectada es La Charaveca con un 0,46% es decir 22,47 Ha de su área erosionada, todo ello radica que morfométricamente está microcuenca posee zonas planas en su gran mayoría y su intervención antrópica no es tan agresiva.

Los procesos morfodinámicos identificados en la zona de estudio están asociados básicamente a movimientos en masa, caída de bloques de roca y procesos erosivos como cárcavas, socavaciones de orillas y erosión superficial activa. Las acciones antrópicas tales como banqueos para vías y viviendas, así como el mal uso de las tuberías de aguas y del suelo, son los factores detonantes de la inestabilidad.

Al momento de realizar la visita a campo se corroboraron ciertos puntos de ubicación de las zonas erosionadas existiendo mayor atención en La Gurapa

microcuenca más erosionada ubicándose esta zona altamente degradada bajo las coordenadas 812759E-868820N; 812702E-868655E; 813247E-868443N; en todas las áreas en las que se presentan los procesos erosivos identificados, reina la no planificación territorial, altos niveles de precipitación, geología frágil, eliminación de la capa vegetal, lo que favorece el impacto de la gota de lluvia y un desajuste del ciclo hidrológico.

Por último se obtuvo el área propensa a ser erosionada en toda el área de estudio, obteniéndose a partir del área total de la cobertura con poca o sin vegetación del año 2016 ya que allí se toma las áreas con poca vegetación o sin vegetación pero que no posee desencadenada un procesos erosivo alarmante, a ella se le resta el área total estimada por interpretación de imagen Google Earth y corroborado con visita de campo, dándonos la área propensa a ser erosionada de continuar con las mismas actividades sin ningún control se presume que estos procesos no se detengan y continúen su avance y desarrollo.

Fuente

Google Earth 2016 y elaboración propia.

www.bdigital.ula.ve

4.7.5.4.3. Índice de Protección para la cobertura vegetal

Índice de Protección para la cobertura vegetal																																				
Vegetación – Impacto y vulnerabilidad.																																				
Definición																																				
Es un valor que permite conocer de forma estimada la protección de la vegetación al suelo, obteniéndose el grado de protección promedio que la vegetación en forma general brinda a los suelos de las microcuencas.																																				
Relevancia e interacciones																																				
El tipo de cobertura que posea una superficie va a variar de acuerdo a su comportamiento y protección al suelo, es decir mientras más densa y frondosa existirá mayor protección, especialmente ante el impacto de la gota de lluvia, ya que elimina la energía de llegada al suelo por escurrimiento, pero cuando no existe o existe una vegetación muy baja y dispersa se disminuye esta protección y el suelo queda expuesto a la energía que transmite la gota de lluvia, atribuyendo otros factores como el tipo de suelo, geología y comportamiento hidrológico general de la cuenca, permitiendo que su protección sea muy baja acarreado el desarrollo de procesos erosivos tales como flujos concentrados, surcos y cárcavamiento.																																				
Formula																																				
$PV = \frac{Stv \cdot IP}{A}$																																				
Unidad de Medida																																				
Ha.																																				
Periodicidad																																				
Fechas intercaladas de 6 a 7 años.																																				
Datos																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">COBERTURA PASTO</th> </tr> <tr> <th>AÑO</th> <th>SUPERFICIE ha</th> <th>INDICE</th> <th>SIMBOLO</th> <th>DESCRIPCION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1991</td> <td>1163,50</td> <td>0,21</td> <td>V5</td> <td>Protección Deficiente</td> </tr> <tr> <td>1997</td> <td>1060,16</td> <td>0,19</td> <td>V5</td> <td>Protección Deficiente</td> </tr> <tr> <td>2004</td> <td>1088,86</td> <td>0,20</td> <td>V5</td> <td>Protección Deficiente</td> </tr> <tr> <td>2010</td> <td>1303,57</td> <td>0,24</td> <td>V5</td> <td>Protección Deficiente</td> </tr> <tr> <td>2016</td> <td>1253,84</td> <td>0,23</td> <td>V5</td> <td>Protección Deficiente</td> </tr> </tbody> </table>	COBERTURA PASTO					AÑO	SUPERFICIE ha	INDICE	SIMBOLO	DESCRIPCION	1991	1163,50	0,21	V5	Protección Deficiente	1997	1060,16	0,19	V5	Protección Deficiente	2004	1088,86	0,20	V5	Protección Deficiente	2010	1303,57	0,24	V5	Protección Deficiente	2016	1253,84	0,23	V5	Protección Deficiente
COBERTURA PASTO																																				
AÑO	SUPERFICIE ha	INDICE	SIMBOLO	DESCRIPCION																																
1991	1163,50	0,21	V5	Protección Deficiente																																
1997	1060,16	0,19	V5	Protección Deficiente																																
2004	1088,86	0,20	V5	Protección Deficiente																																
2010	1303,57	0,24	V5	Protección Deficiente																																
2016	1253,84	0,23	V5	Protección Deficiente																																

COBERTURA BOSQUE				
AÑO	SUPERFICIE ha	INDICE	SIMBOLO	DESCRIPCION
1991	2566,67	0,53	V4	Mediana Protección
1997	2664,05	0,55	V4	Mediana Protección
2004	2335,05	0,48	V4	Mediana Protección
2010	2110,77	0,44	V4	Mediana Protección
2016	20170,12	0,43	V4	Mediana Protección

Situación general de las microcuencas

El resultado obtenido, nos indica que el grado de protección de las cuencas para razón de 25 años, simbolizados bajo el símbolo V4 mediana protección y V5 protección deficiente, nos da una mirada estimada que los suelos a pesar de tener una capa vegetal no es suficiente su protección, que los mismos se encuentran en una incidencia de los factores externos, ocasionando el continuo avance de procesos erosivos y activando el desarrollo de nuevos procesos como los que se observan en la actualidad ya que específicamente las áreas donde existen de manera concentrada procesos erosivos dentro de las microcuencas son aquellos lugares desprovistos de vegetación o con muy poca cobertura vegetal aunque el área de estudio cuenta con un área de vegetación boscosa densa, esta no es suficiente como para generar un índice de protección considerable. Aplicando la fórmula de índice de protección por vegetación se obtuvo valores no mayores a 0,5.

En las zonas altas con mayor pendiente y altura, la vegetación será más alta ya que las intervenciones serán mucho menor pues los factores físico naturales determinaran

Fuente

Metodología contenida en el instructivo de MARNR para la conservación de cuencas.

4.7.5.5. Indicador de respuesta

4.7.5.5.1. Proyectos, planes, leyes e inversiones

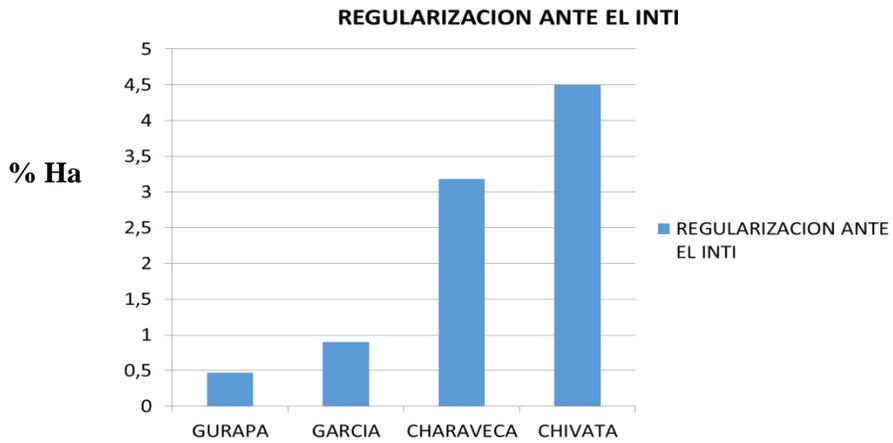
Proyectos, planes, leyes e inversiones																							
Proyectos, planes, leyes e inversiones – Ordenación del espacio.																							
Definición																							
Se definen como el conjunto de medidas institucionales e interinstitucionales con el fin de mejorar las condiciones y regular los dinamismos ocasionados por la incidencia antrópica, donde se busca que estas ordenanzas atiendan a la exigencia cada vez mayor de mantener, racionalizar o mejorar las condiciones de los recursos existentes en esos espacios y de contar en el tiempo con un cúmulo de alternativas para enfrentar la dinámica socio-económica dentro de un marco de sustentabilidad ambiental.																							
Relevancia e interacciones																							
Permite establecer un seguimiento sobre los planes de desarrollo y el manejo de inversión sobre los recursos, permitiendo así poder identificar las áreas prioritarias de intervención y de interés para el manejo sostenible de la microcuenca, se plantea consolidar las bases que le den viabilidad a la consecución de los objetivos para lo cual fueron creadas en concordancia con los actores sociales e institucionales que hacen vida en esos espacios.																							
Formula																							
No hay fórmula.																							
Unidad de Medida																							
Bs (llevar a cabo las ordenanza en los proyecto conllevan a una inversión monetaria).																							
Periodicidad																							
Anual.																							
Datos																							
<table border="1"><thead><tr><th colspan="3">REGULARIZACION DE PREDIOS ANTE EL INSTITUTO NACIONAL DE TIERRAS</th></tr><tr><th>NOMBRE DE LA CUENCA</th><th>SUPERFICIE REGULARIZADA ANTE EL INTI EN HA</th><th>PORCENTAJE DEL AREA TOTAL</th></tr></thead><tbody><tr><td>LA GURAPA</td><td>22,6505</td><td>0,47%</td></tr><tr><td>LA GARCIA</td><td>43,4072</td><td>0,90%</td></tr><tr><td>LA CHIVATA</td><td>152,5015</td><td>3,18%</td></tr><tr><td>CHARAVECA</td><td>61,9327</td><td>1,29%</td></tr><tr><td>AREA TOTAL REGULARIZADA</td><td>280,4920</td><td>5,84%</td></tr></tbody></table>			REGULARIZACION DE PREDIOS ANTE EL INSTITUTO NACIONAL DE TIERRAS			NOMBRE DE LA CUENCA	SUPERFICIE REGULARIZADA ANTE EL INTI EN HA	PORCENTAJE DEL AREA TOTAL	LA GURAPA	22,6505	0,47%	LA GARCIA	43,4072	0,90%	LA CHIVATA	152,5015	3,18%	CHARAVECA	61,9327	1,29%	AREA TOTAL REGULARIZADA	280,4920	5,84%
REGULARIZACION DE PREDIOS ANTE EL INSTITUTO NACIONAL DE TIERRAS																							
NOMBRE DE LA CUENCA	SUPERFICIE REGULARIZADA ANTE EL INTI EN HA	PORCENTAJE DEL AREA TOTAL																					
LA GURAPA	22,6505	0,47%																					
LA GARCIA	43,4072	0,90%																					
LA CHIVATA	152,5015	3,18%																					
CHARAVECA	61,9327	1,29%																					
AREA TOTAL REGULARIZADA	280,4920	5,84%																					

LEGISLACION	ACCION	FUNCION
CONSTITUCION DE LA REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA	ES LA NORMA SUPREMA Y EL FUNDAMENTO DE TODO EL ORDENAMIENTO JURIDICO, TODAS LAS PERSONAS Y LOS ORGANOS QUE EJERCEN EL PODER PUBLICO ESTAS SUJETOS A ESTA CONSTITUCION	
LEY ORGANICA DE ORDENACION DEL TERRITOTIO	PLAN DE ORDENACION TERRITORIAL DEL ESTADO TACHIRA (POTET)	ESTABLECER LAS DISPOSICIONES QUE REGIRÁN EL PROCESO DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO EN CONCORDANCIA CON LA ESTRATEGIA DE DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL A LARGO PLAZO DE LA NACIÓN.
LEY DE TIERRAS Y DESARROLLO AGRARIO	REGULARIZACION DE PREDIOS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE TIERRAS INTI	ESTABLECER LAS BASES DEL DESARROLLO RURAL INTEGRAL Y SUSTENTABLE; ENTENDIDO ÉSTE COMO EL MEDIO FUNDAMENTAL PARA EL DESARROLLO HUMANO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO DEL SECTOR AGRARIO ASEGURANDO LA BIODIVERSIDAD, LA SEGURIDAD AGROALIMENTARIA Y LA VIGENCIA EFECTIVA DE LOS DERECHOS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL Y AGROALIMENTARIO DE LA PRESENTE Y FUTURAS GENERACIONES.
LEY DE BOSQUES	CREACION DE PLANES BASADOS EN EL DESARROLLO FORESTAL SUSTENTABLE DEBE BASARSE EN LA PERMANENCIA EN EL TIEMPO DE LOS BOSQUES Y EL PATRIMONIO FORESTAL, PARA BENEFICIO DE LAS GENERACIONES ACTUALES Y FUTURAS	GARANTIZAR LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES Y DEMÁS COMPONENTES DEL PATRIMONIO FORESTAL Y OTRAS FORMAS DE VEGETACIÓN SILVESTRE NO ARBÓREA, ESTABLECIENDO LOS PRECEPTOS QUE RIGEN EL ACCESO Y MANEJO DE ESTOS RECURSOS NATURALES, EN FUNCIÓN DE LOS INTERESES ACTUALES Y FUTUROS DE LA NACIÓN, BAJO LOS LINEAMIENTOS DEL DESARROLLO SUSTENTABLE Y ENDÓGENO.
LEY DE SUELOS Y AGUAS	APOYO JURIDICO PARA LA CREACION DE PLANES BASADOS EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEBE BASARSE EN LA PERMANENCIA EN EL TIEMPO DE LOS RECURSOS SUELOS Y AGUAS, PARA BENEFICIO DE LAS GENERACIONES ACTUALES Y FUTURAS	REGIRÁ LA CONSERVACIÓN, FOMENTO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES QUE EN ELLA SE DETERMINAN Y LOS PRODUCTOS QUE DE ELLOS SE DERIVAN

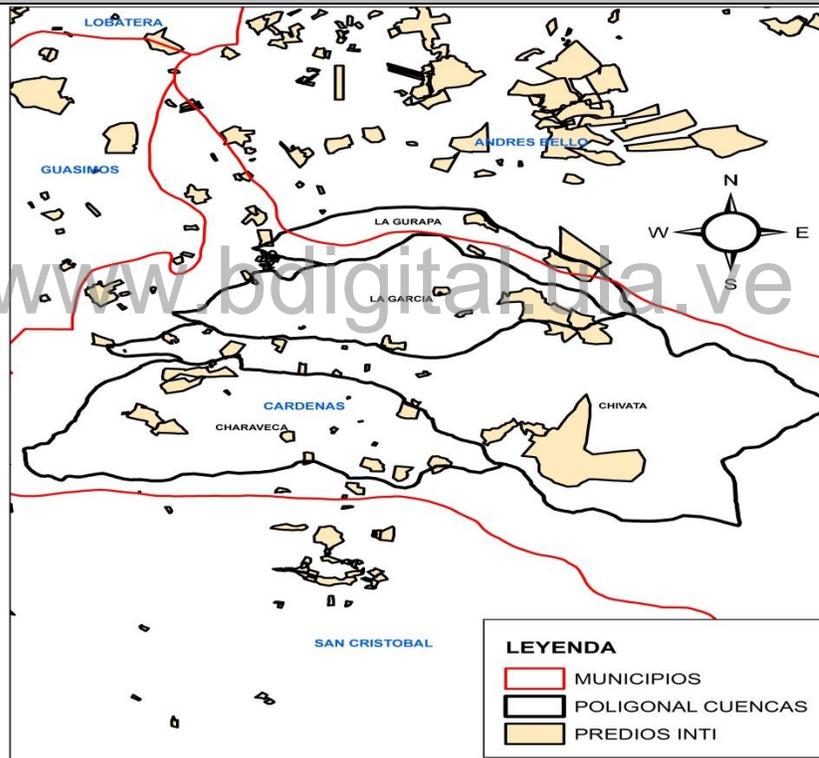
TIPO DE ORDENANZA	NOMBRE	DECRETO GACETA	SUPERFICIE HA QUE ABARCA	UBICACIÓN POLITICO REGIONAL	RESOLUCION
ZONA PROTECTORA	AREA METROPOLITANA DE SAN CRISTOBAL	2.323 DEL 05/06/92 4.546 E. DEL 26/03/93	26.887.34	MCPIOS: SAN CRISTÓBAL, CÁRDENAS, GUÁSIMOS, ANDRÉS BELLO, TORBES, INDEPENDENCIA Y LIBERTAD	RESOL. N° 112 DEL 20/08/78 G.O. N° 2.417 DEL 07/03/79
ZONA PROTECTORA	CUENCA ALTA DEL RÍO TORBES	105 DEL 26/05/74 1655 E. DEL 26/05/74	12.254,28	MCPIOS. SAN CRISTÓBAL, CÁRDENAS, ANDRÉS BELLO Y JOSÉ M. VARGAS	NO TIENE
ÁREAS DE PROTECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS Y ZONAS DE INTERÉS TURÍSTICO	A.P. OBRA PÚBLICA PARQUE RÍO TORBES	2.324 DEL 05/06/92 35.020 DEL 05/08/92	10.789,86	MCPIOS: SAN CRISTÓBAL, CÁRDENAS, ANDRÉS BELLO, CÓRDOBA Y JUNÍN	NO TIENE
ABRAES OTRA FIGURAS	OBRA.PUBLICA. PARQUE RÍO TORBES	1644 DEL 05/06/91 35020 DEL 05/08/92	313,0	MCPIOS: SAN CRISTÓBAL, CÁRDENAS Y CÓRDOBA	NO TIENE

TIPO DE ORDENANZA	NOMBRE	FUNCION DE LA ORDENANZA EN LA ZONA DE ESTUDIO
ZONA PROTECTORA	AREA METROPOLITANA DE SAN CRISTOBAL	-EL ÁREA INVOLUCRADA PRESENTA FUERTES PRESIONES RESIDENCIALES Y PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS Y FOCOS DE RIESGO POR INESTABILIDAD GEOLÓGICA. DEL 07/03/79 -PRESENTA SOBREPOSICIÓN CON LAS Z.P. PARQUE RÍO TORBES Y CUENCA ALTA DEL RÍO TORBES
ZONA PROTECTORA	CUENCA ALTA DEL RÍO TORBES	-PRESIÓN URBANA Y CONTAMINACIÓN DE AGUAS POR EFLUENTES URBANOS. - ACTIVIDAD AGRÍCOLA EN FUERTES PENDIENTES Y CONTAMINACIÓN DE SUELOS Y AGUAS POR BIOCIDAS - PROCESOS EROSIVOS EN AUMENTO - SOBREPOSICIÓN CON Z.P. DE SAN CRISTÓBAL Y PARQUE NACIONAL LOS PÁRAMOS.
ÁREAS DE PROTECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS Y ZONAS DE INTERÉS TURÍSTICO	A.P. OBRA PÚBLICA PARQUE RÍO TORBES	-TALA Y QUEMA DE VEGETACIÓN -PRESIÓN RESIDENCIAL Y DE ACTIVIDADES ECONÓMICAS. -SOBRE POSICIÓN CON LA ZP DE SAN CRISTÓBAL. PRESIÓN RESIDENCIAL -CONTAMINACIÓN POR DESECHOS SÓLIDOS. -CAMBIOS EN EL PATRÓN DE OCUPACIÓN AGRÍCOLA.
ABRAES OTRA FIGURAS	OBRA.PUBLICA . PARQUE RÍO TORBES	-SE SUPERPONE CON LA Z.P DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN CRISTÓBAL. - PRESIÓN POR DESARROLLOS URBANOS ANÁRQUICO

Representación Grafica



Representación cartográfica



Situación general de las microcuencas

El conjunto de leyes generales, constituyen las bases principales para el desarrollo de una gama de estrategias, planes y programas de ordenamiento en que se encausa la zona objeto de estudio, con el fin de obtener un sistema coordinado, organizado acorde a los niveles de desarrollo que se deseen alcanzar identificando los aspectos mejorables pero sin dejar de lado la esencia de la funcionalidad de cada cuenca, aunque son generales, también representa como las de mayor importancia desde el punto de vista económico, político, social y ambiental, que de igual manera

constituyen actuaciones con las que la sociedad responde impactos perjudiciales.

A partir de estas leyes, se permiten las creaciones de un conjunto de ordenanzas que influyen directamente en el comportamiento social de la cuenca, como lo son las zonas protectoras, áreas de protección de obras públicas, y otros tipos de ABRAES, conociéndose así que la zona objeto de la investigación se encuentra influenciada por este conjunto de normativas, la mayoría de ellas guiadas a disminuir las contaminaciones ambientales de los recursos naturales, zonificación y disminución de los focos de riesgo por inestabilidades geológicas, coordinación y planificación de la presión urbana así como la distribución y desarrollo de las actividades agrícolas, disminuyendo consecuencias como la erosión, tala y quema de la vegetación, aumento de las zonas urbanizadas en áreas susceptibles y de manera anárquica. A partir de estas ordenanzas se regulan los usos y la distribución de coberturas sobre la tierra, tomándose en cuenta factores físico naturales y sociales.

De acuerdo a las múltiples actividades que se llevan a cabo, se tienen en este caso datos obtenidos del Instituto Nacional de Tierras – Táchira, con el fin de poder comprender que a partir de la distribución de las coberturas por estatutos de ley se hace necesario el reconocimiento de esos predios destinados al uso agropecuario para registrarse en el organismo correspondiente con tres finalidades, como lo es el que el estado Venezolano necesita inventariar continuamente la cantidad de tierras aprovechables que posee, otro que se ajusten a las ordenanzas en cuanto a su uso, disfrute y explotación manteniendo una producción basada en la sostenibilidad, y por último el poder encausarse ante el estado en el marco jurídico actual, como ocupantes de esos terrenos, pero lo que verdaderamente resulta importante es el observar esa distribución en la zona de estudio y observar como el tamaño de los predios varían en correspondencia de su ubicación lo que permite confirmar los cambios de uso existidos en la zona de estudio, se puede evidenciar en su representación cartográfica que los predios regularizados pero de menor tamaño se encuentran en las zonas bajas, lo que quiere decir que anteriormente existían fincas más grandes que se han emparcelado y vendido con el fin de construir viviendas principalmente, pero en las zonas más altas se observan fincas de mayor tamaño que se corresponden con las coberturas de pasto, con terrenos que por la pendiente y condiciones limitantes físicas de la zona impiden el cambio de cobertura tan drásticos como en la parte baja donde prevalece el aumento de la zona urbanizada.

En cada una de estas expresiones de organización, se presentan los esfuerzos que realizan la sociedad, las instituciones o gobiernos orientados a la reducción o mitigación de la degradación del ambiente. En general, las acciones de respuesta están dirigidas hacia dos objetivos, a los agentes de presión y las variables de estado,

este nivel operativo busca la implementación de actividades donde los ocupantes de fincas plaquen tecnologías de conservación de recursos naturales como lo establece la ley de tierras y desarrollo agrario, elaborando planes de fincas que se encuentren inmersos dentro de los planes de ordenamiento locales, asignando usos de la tierra haciendo de esta una práctica amigable con el ambiente considerando las buenas prácticas fuera de la finca en pro del mantenimiento de las cuencas, actualmente el instituto nacional de tierras mantiene bajo procedimiento administrativo aplicando la ley de tierras a un 5,84% del área total de la cuenca es decir unas 280,49 Ha.

Fuente

Instituto Nacional de Tierras-Táchira, POTET, Ley de Tierras y Desarrollo Agrario, Ley de Ordenamiento Territorial.

www.bdigital.ula.ve

4.8. Diagnóstico y análisis Preliminar

Los espacios geográficos y territoriales de las micro cuencas La Gurapa, La García, La Charaveca y la Chivata y sus recursos naturales, expresan una potencialidad y vocación, algunas por la calidad de sus suelos, por tipo de cobertura o por la disponibilidad de agua, pueden prestar mejores servicios y productos, estos elementos son claves para el análisis preliminar en el estudio multitemporal de los procesos de cambio en el uso y cobertura de la tierra y posterior planificación ya que estas zonas intervenidas están constituidas por un espacio en el cual las personas y los recursos desarrollan un territorio, existiendo una interacción entre el sistema natural suelo, agua y bosque (vegetación) y el sistema socioeconómico que depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos naturales los cuales pueden limitar el desarrollo de dichas cuencas hidrográficas como sistema equilibrado que debería de ser, cuya inestabilidad es provocada generalmente por el ingreso del ser humano, sus familias, las comunidades y las ciudades a las áreas naturales, ubicándose en espacios frágiles e inestables donde interactúan con los recursos naturales, generando efectos positivos como producción de alimentos, bienes y servicios en general y efectos negativos alarmantes como la contaminación, uso inadecuado de la tierra y degradación de los recursos naturales.

Los cambios que continuamente sufren estos espacios territoriales, se observaron a partir de la implementación de una serie de procedimientos de análisis espaciales como la interpretación visual de imágenes satelitales realizada a 5 imágenes Landsat para los años 1991, 1997, 2004, 2010 y 2016 con el fin de ver los cambios a nivel multitemporal, al llevar a cabo este procedimiento, se obtuvo los valores para cada una de las coberturas tomadas en cuenta adaptadas de la clasificación de coberturas de la metodología Corine Land Cover, durante estos años se evidenció una dinámica importante entre las coberturas en cuanto a su avance y retrocesos, es así como para el año inicial 1991 se tenía que la cobertura de área urbanizada ocupaba 738,81 Ha (15,45%) y para 2016 ocupaba 1218,93 Ha (25,49%),

los pastos 1163,50 Ha (24,31%) y para 2016 ocupaba 1253,84Ha (26,22%), los bosques para 1991 ocupaban 2566,97 Ha (53,68%) y para el 2016 ocupaban 2070,12 Ha (43,29%) y la zonas con poca o sin vegetación para 1991 ocupaban 312,26 Ha (6,53%) y para 2016 ocupaban 238,14 Ha (4,98%).

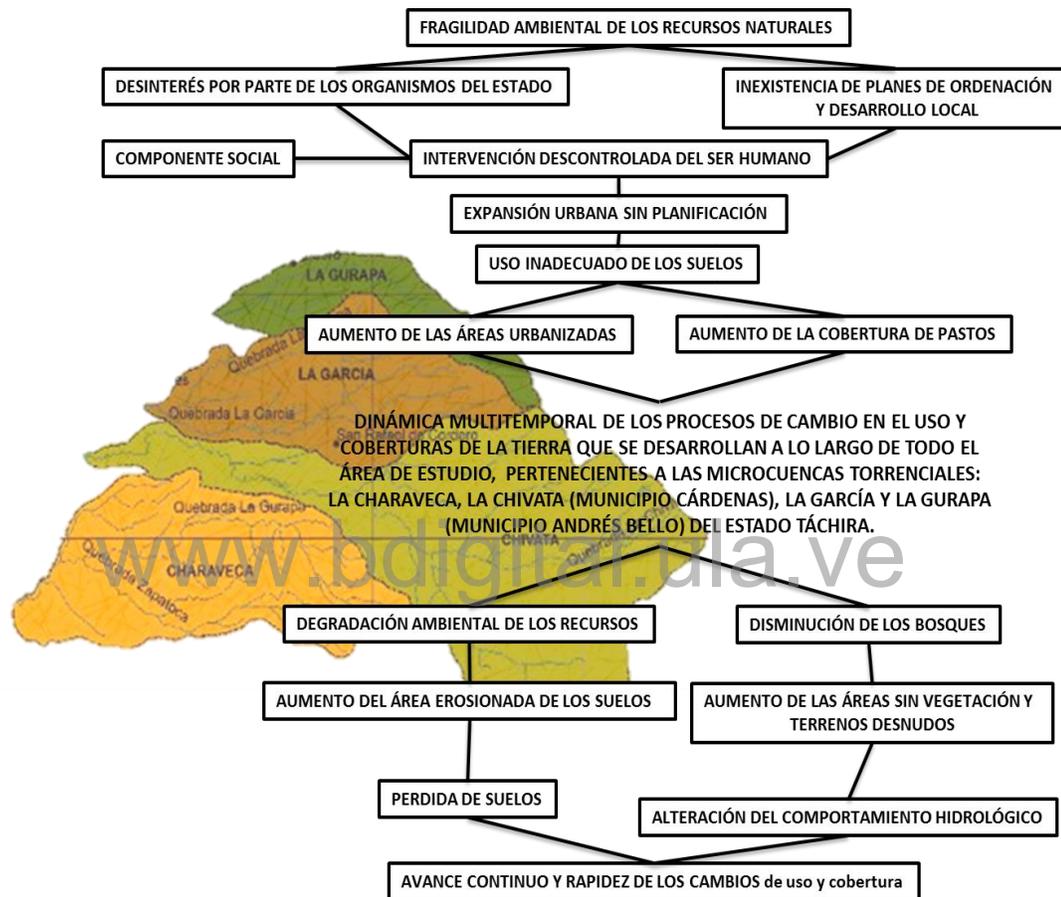


Figura 10. Causas, problemas y consecuencias de la degradación ambiental en las Microcuencas.

Las coberturas de áreas urbanizadas, son las que han sufrido las mayores interacciones y han aumentado su área de expansión acarreado por ende conflictos de uso de la tierra por la falta de conocimientos sobre la vocación y potencial uso debido a la ausencia de tecnologías de conservación y tenencia, lo que ocasiona en mayor o menor medida degradación ambiental del recurso suelo en primera instancia por la disminución de la fertilidad, procesos erosivos y pérdida de calidad del recurso,

aunado a ello no se ha tenido información biofísica detallada para evaluar si estos asentamientos son adecuados o no ambientalmente, no pudiéndose previamente hacer una planeación que asigne zonas adecuadas a dicha expansión, careciendo estos asentamientos y nuevas zonas de expansión urbana de información acerca de los problemas fisiconaturales, las potencialidades de los suelos, las limitantes y sus oportunidades, son estos aspectos técnicos que deben interpretarse a fondo para obtener de ellos la información necesaria tendiente a lograr la precisión y el dimensionamiento de las situaciones; además, proporcionando alternativas de solución y modificando así favorablemente situaciones ambientales que carece la zona de estudio.

Las implicaciones del uso inadecuado del territorio de las microcuencas objeto de estudio, se ve evidenciado en parte, socialmente por las pobreza y la inseguridad alimentaria de la zona, ya que no son zonas de producción intensiva de productos agropecuarios con relación a la intervención que ha tenido desde 1991, observándose en mayor medida la expansión de la zona urbana desde sus parte baja a la parte media de las microcuencas, introduciendo en estas zonas modificaciones cuyo grado de idoneidad de utilización del territorio está reflejado en el grado de deterioro que presenta la zona de estudio en mayor o menor nivel de deterioro ambiental provocado. A partir de este cambio de coberturas se demuestra la generación de impactos ambientales por acciones antrópicas, como son la degradación y modificaciones del comportamiento hidrológico de la cuenca, degradación ambiental y de suelos lo que influye directamente sobre la flora y fauna, procesos erosivos, pérdida de la calidad y cantidad del recurso hídrico (que se presume) tales impactos hacen en el territorio altas incidencias sobre los recursos naturales como consecuencia de la mala utilización producto no solo del desconocimiento de sus potencialidades y limitantes, sino también a la racionalidad en la inversión pública frente al proceso de expansión de las zonas y a su distribución socio-espacial equitativa.

De acuerdo a la ubicación y jerarquización de las zonas altas con las zonas bajas, se evidencian en las zonas más altas existen grandes masas boscosas y densas, cuya intervención ha sido mínima y a medida que se acerca a la zona media se evidencian intervenciones de tipo agropecuario, pues existe la presencia de fincas de mayor extensión que ha mayor proximidad a las zona baja se hacen más pequeñas, pero se evidencian avances en las fronteras de deforestación sustituyendo la vegetación alta por la cobertura de pastos claramente durante los 25 años de estudio, la zona media está orientada a la existencia de áreas urbanizadas y medianas fincas con cobertura de pastos y mayor concentración para la producción agropecuaria, y las zonas bajas está integrada por amplias áreas de zonas urbanizadas y pequeñas parcelas que por ubicación y extensión se presumen que en el futuro próximo estarán ocupadas por viviendas.

Existe en las zonas un sistema causa efectos de la zona alta a la zona baja, producto de actividades en las zonas altas como deforestación, nuevas ocupaciones urbanizadas quemas, sobre pastoreo, apertura de vías, infraestructura de zonas vulnerables viviendas en zonas vulnerables que acarrear problemáticas como mayor escorrentía, mayores caudales en los periodos de lluvia, mayor sedimentación en las zonas bajas donde dichos cuerpo de aguas vierten sus aguas al rio Torbes, erosión en los márgenes de las quebradas principales y márgenes del rio, alteración del ciclo hidrológico, erosión de suelos, presencias de cárcavas, inundaciones, deslizamientos, sequías en el periodo de sequía al no retener humedad, perdida de infraestructuras, cosechas y vías, es decir, existen un desequilibrio territorial que está conllevando a una degradación de los recursos naturales derivada de una incorrecta selección de las actividades con las que se quiere lograr el desarrollo, olvidándose la capacidad de asimilación de la zona.

Posterior a ello, en la información morfométrica de las micro cuencas en estudio, se obtuvieron valores de factores físico naturales que limitan la expansión urbana en las zonas altas, y como agentes detonantes de ciertos movimientos de

material y degradación de los suelos por usos no adecuados, sabiéndose que existe una fragilidad previa por la existencia de más de 45% total de la zona con presencia litológica de formación la quinta, de acuerdo a la microcuenca la García esta presenta un 55% del área bajo formación la Quinta, 35% la Luna y 10% formación Mucuchachi, con relación a su orientación, presenta un 24,2% SW y un 19,5% S, como predominantes, teniéndose una idea a donde se dirigen sus aguas, con relación a las formas del terreno TPI, existe un 38,11% de vertientes intermedias y un 36,6% de Áreas Planas, presenta una curvatura de 33,1% Convexa - Convexa y un 30,08% Convexa - Cóncava, demostrando las zonas con mayores niveles de humedad, ayudando a definir la red hídrica, por último y de forma determinante la pendiente, cuyos valores predominante son un 36,02% para pendientes de 0-15% y un 32,8% pendientes de 25-30%, generalmente para las zonas medias altas imposibilitando el asentamiento urbanizado.

De acuerdo a la microcuenca de la Chivata, posee un desnivel de 1613msnm, con una geología de 75% la Quinta, 18% la Luna y un 7% Mucuchachi, de igual forma presenta una orientación de 17,8% S y 16,8% SW, las formas de terreno predominante según TPI corresponden un 22% a vertientes intermedias y un 21% a Areas Planas, con relación a la curvatura se tiene un 34,6% a áreas convexa convexa y un 33,4% a áreas cóncavas cóncavas, y por último la pendiente predominan las altas pendientes un 35,% para valores de 50-100% y un 22,6% para 30-50%.

La microcuenca la Charaveca, se pudo determinar un desnivel de 788msnm, una fragilidad geológica de 13% Mucuchachi, 35% del Cuaternario, 17% la Luna y 35% la Quinta como predominante, una orientación de 24,3% W y un 20,5% S, además las formas de terreno TPI predominantes son un 42,4% para áreas planas y un 36,7% para Vertientes intermedias, cuenta con una curvatura de 32,3% cóncava - cóncava y un 31,6% convexa - convexa, por ultimo sus rangos de pendiente predominantes son un 49,5% para valores de 15-30% y un 35,2% para valores de 0-15. Lo que hace que sea una de las microcuencas que presente las mejores

condiciones físico natural para diversos usos, está ampliamente intervenida entrópicamente por su disponibilidad físico natural.

La microcuenca la Gurapa, presenta un desnivel de 862msnm con una fragilidad geológica de 50% la Luna y 50% la Quinta, cuenta con una orientación de 21,4 % W y un 19,3 SW, tiene una curvatura de 30,93% de tipo cóncava cóncava y un 30,7% de tipo convexa convexa, su pendiente está comprendida en un 28,2% para valores de 15-30% y un 25,9% para valores de 0-15%, esta cuenca es una de las más intervenidas y es una de las que presenta mayor problemática debido a su geología y su forma alargada y estrecha que la hace tener un comportamiento más torrencial ha hecho que en la parte media y alta presente importantes procesos de degradación con grandes cárcavas profundas, surcos de tipo concentrado y áreas amplias de erosión hídrica, su producción agropecuaria puede denotarse como baja debido a las características que presenta, además es la única microcuenca donde las zonas urbanizadas se encuentran más próximos a las áreas degradadas, asumiéndose un riesgo y una vulnerabilidad evidente, de toda la zona de estudio es la microcuenca que presenta mayores zonas con procesos erosivos, pero también es importante hacer mención que es la zona más intervenida antiguamente pues en ella se albergan los poblados más grandes y más antiguos próximos y dentro de ella como es la población de Cordero.

Para un mayor nivel de confiabilidad de los cambios de cobertura y uso de la tierra sobre la zona de estudio, se calcularon valores de NDVI para los años 1997, 2004 y 2016 (estado actual), con el fin de determinar de forma fundamentada las áreas que poseen vegetación (bosques y pastos) y las zonas que no poseen vegetación (áreas urbanizadas y zonas desnudas) para cada microcuenca, de acuerdo a la microcuenca de la Gurapa, para 1997 tenía un 45,68Ha es decir (11,15%) sin vegetación, para 2004 tenía 56,1 Ha (17,97%) y para 2016 poseía 67, 4Ha es decir (21,59%) es decir las áreas sin vegetación aumentaron un 10,4 % de área total de la microcuenca.

Para la microcuenca la García, durante el año 1997 tenía 57,30Ha (7,58%) sin vegetación, para el 2004 93,36Ha es decir un (12,35%) y para 2016 173,49Ha es decir un (22,95%) estimándose que el área sin vegetación aumento 15,37%; con relación a la microcuenca la Charaveca, se estima que para el año 1997 poseía un área sin vegetación de 82,96Ha es decir un (8,57%), para el año 2004 se estimaron 155,18Ha es decir un (16,03%) y para el año 2016 184,13Ha es decir (19,02%) teniéndose un aumento de las áreas sin vegetación de 10,45%; para la microcuenca de la Chivata se tenía que para el año 1997 un área sin vegetación de 54,81 Ha es decir (3,11%), para el año 2004 102,69Ha es decir (3,87 %) y para e año 2016 130,30Ha es decir (4,92%) representando la microcuenca que ha tenido menor pérdida de vegetación, y la que se encuentra más conservada, corroborándose la dinámica socio ambiental.

Tomando en cuenta la inestabilidad geológica, la dinámica de las coberturas y los cambios en los usos de la tierra y los avances y retrocesos de las zonas con y sin vegetación por los NDVI, se hizo necesario tomar estos datos y realizar el diseño de indicadores en un modelo PFEIR que tomo un esquema causa- efecto- respuesta, lo que permitió analizar las interrelaciones entre las dinámicas socioeconómicas y los impactos ambientales, explicando cómo las fuerzas motrices hacen presión sobre el estado generando impactos para posteriormente desarrollar un respuesta, este modelo nos muestra datos que permiten hacer una idea general de la zona de estudio. Se obtuvieron valores de precipitación para 3 estacione meteorológicas y para diversos años, observándose que los meses con mayor cantidad de mm de precipitación corresponde a los meses de junio – septiembre aproximadamente, existiendo un comportamiento bimodal, con valores que oscilan entre 106 mm como mínimos y 249 mm como valores máximos, estimándose que posiblemente esos cambios de humedad junto con la geología y la poca cobertura hagan favorable la formación de procesos de degradación ambiental.

En cuanto al incremento de superficies artificiales, los resultados indican que el territorio que ha sido ocupado de manera permanente aumento, lo que permitió observar que hubo avances de las zonas urbanizadas, para 1991 se estimó 738,81 Ha como dato inicial, pero para 2016 se estimó 1218,93 Ha, es decir que durante el periodo de 25 años incremento 480,12Ha, es decir un 10,04%, confirmando los índices de cobertura interpretados, de igual manera los índices de deforestación muestran como las microcuencas han sido afectadas con el pasar de los años teniéndose que para 25 años de 1991-2016 se tiene un índice de deforestación de 4,3 Ha/año, evidenciándose que aunque la cobertura de bosque se mantiene ha sido causa de los factores físicos naturales determinantes que no dejan avanzar la implantación de nuevas coberturas, y lo que se ha recuperado ha sido a causa de la regeneración natural, pues al no haber amplia producción agropecuaria, disminuye el impacto y el avance.

Todo esto ha generado procesos erosivos visibles en la zona, sobre todo en la parte media alta de la microcuenca la Guarapa, de acuerdo a interpretación visual de imágenes se obtuvo las microcuencas más erosionadas como la Gurapa que presenta un 8,28% de su área erosionada es decir 33,95Ha, seguido por la García con un 3% de su área es decir un 23,43Ha, seguido por la Chivata con un 2,20% de su área erosionada es decir 58,34Ha y por último y la más protegida la Charaveca con solo un 0,47% de su área erosionada es decir 22,47Ha, estos procesos han ido en continuo avance debido a la remoción de las coberturas vegetales y a la intervención antropogenica sin ninguna planeación, observándose entonces que de acuerdo a la protección de las coberturas vegetales a las microcuencas son muy bajas, con un índice de protección máximo de 0,55- V4 y 0,43 – V4 lo que indica una mediana protección por parte de la cobertura de bosque, mientras que la cobertura de pasto tiene un máximo de protección de 0,24 – V5 y 0,19 – V5 con una protección deficiente.

Durante los años, el manejo ambiental en la zona ha logrado ubicarse en una preocupación de actualidad, pues aun hoy se encuentran vigentes una serie de normativas que se consideran de alguna manera alternativas para su protección, con el fin de disminuir procesos de degradación de los recursos naturales, conflictos, deforestación y disminución de la productividad de las tierras, como los son los decretos de la Área Metropolitana de San Cristóbal, Zona protectora de la cuenca alta del Rio Torbes, Obra pública Parque rio Torbes y su interés turístico, sin embargo estas ordenanzas deben concretarse en acciones directas e indirectas y la puesta en práctica de manejos de la zona, definir nuevas políticas y directrices que se adapten a la realidad, nuevas competencias y responsabilidades aspectos que demuestran vacíos y debilidades en la zona de estudio, pues el marco normativo y legal es muy débil en sus medios de instrumentos resaltando la falta de legislación e institucionalidad adecuada para establecer la responsabilidad del manejo de las microcuencas.

Esta debilidad se ve presente en cuanto al sistema de tenencia de la tierra expedida por el Instituto Nacional de Tierras, perteneciente al Ministerio del Poder popular para la Agricultura y Tierras, donde se expiden la documentación legal para la forma de tenencia de la tierras y su regularización en terrenos pertenecientes al estado, con el fin de tener un inventario de las tierras potencialmente agropecuarias y su posterior regularización por parte del estado, de donde se deberían tener el 100% de los predios registrados, se tiene una vaga parte que alcanza 5,84% del área total es decir 280,49 Ha, algo muy bajo para la cantidad de predios agropecuarios que se presume empíricamente existe en el sector, evidenciándose así el poco fortalecimiento de la gestión, disminuyendo la importancia institucional.

Las microcuencas, requieren de un proceso de identificación, selección, caracterización, diagnóstico y planificación, tomándose la posibilidad de manejo de áreas pequeñas como acción inmediata, de menor costo, más fáciles de coordinar, mayor posibilidad de apoyo de parte de las instituciones, es importante señalar que una intervención por microcuencas no debe excluir la visión global de la cuenca o de

la región y de cómo articular acciones para lograr un impacto espacial y de desarrollo integral, he allí la importancia del ordenamiento donde se deberá actuar primero en la detección temprana de los problemas más relevantes y que se constituyan en factores perturbadores de desarrollo y de amenazas naturales y en segundo lugar en la determinación de alternativas de solución con sus respectivas medidas de actuación, ya que de continuarse con la misma situación de avance positivo de degradación, las microcuencas .

Partiendo del estado actual de las microcuencas, donde aún se observan capacidades y oportunidades de recuperación en estado natural es importante mencionar que el principal desencadenante de los procesos de degradación ambiental de los recursos es la intervención del ser humano, como agente modificador de los espacios, complejidad que de seguirse desarrollando de esta manera sin conocimiento previo a la población y al estado y además sin ningún control, manejo ni planes de conservación la tendencia y proyección de esta zona será la del agotamiento de los recursos naturales, la pérdida y empobrecimiento de los suelos, la erradicación de las zonas boscosas, eliminación de cobertura vegetal autóctona, modificación de los microclimas, expansión de la zona urbana y aumento de los riesgos de las zonas construidas sobre terrenos bajo amenaza naturales, es decir de no llevarse a cabo alternativas de solución y orden, el deterioro de las microcuencas será progresivo y constante entendiéndose que debe existir un manejo integrado de lo económico, político, social, ambiental y cultural.

4.9. Conclusiones y Recomendaciones

4.9.1. Conclusiones

Se puede inferir que las microcuencas presentan graves problemas ambientales, debido a la presión de diversos factores especialmente el antrópico y por ende la ampliación de las zonas urbanizadas, en este caso el crecimiento demográfico sin planificación ha permitido el desarrollo de una serie de usos de la tierra no planificados que acarrearán la aceleración de procesos de degradación ambiental de los recursos naturales apoyados en las fragilidades fisiconaturales, ello a partir de los resultados obtenidos del procesamiento y análisis espacial de las imágenes satelitales bajo diferentes procedimientos para los años 1991, 1997, 2004, 2010 y 2016 en las microcuencas Charaveca, La Chivata, La Gurapa y la García.

- La información digital obtenida, podrá ser usada en la promoción y ejecución de otros estudios posteriores en aras de información adicional, y que pueda servir de base para la toma de decisiones futuras tanto en el área como en cuencas circunvecinas que denoten procesos similares de degradación ambiental.
- Algunas de las variaciones existentes al momento de revisar las imágenes satelitales para su procesamiento en cuanto a su visualización e interpretación, se debe a que están sujetas a condiciones externas, determinadas por una época del año específica para el momento de la toma de la imagen, pudo haber sido en periodo de lluvia o sequía y donde los niveles de humedad, temperatura y cantidad de vegetación varían.
- De acuerdo a la cobertura y uso actual de la tierra, se determinó que la microcuenca posee aún una parte importante de áreas de bosque 2070,12 Ha es decir el 43,29% del área total que deben ser cuidadas y preservadas, para asegurar la permanencia en el tiempo, de ecosistemas frágiles, que a su vez son importantes para mantener las mejores condiciones físico naturales y mantener en parte las necesidades básicas de la población.

- Se pudo comprobar que los procedimientos de edición manual basada en interpretación visual resultaron idóneos y muy importantes pues se generaron grandes cumulo de datos indispensable para ser empleados en la investigación, como la definición de las coberturas de Áreas Urbanizadas, Pastos, Bosque y Áreas sin o con poca vegetación, condición que minimiza los méritos de los procesos automáticos.
- Las diversas validaciones aplicadas permitieron obtener datos confiables y fiables a la hora de proseguir otras investigaciones en la zona en pro de la mejora de las microcuencas que ocupan el área de estudio, obteniéndose un índice de Kappa de 0,92 año 1991-1997, 0,88 año 1997-2004, 0,93 año 2004-2010 y 0,94 año 2010-2016.
- Los resultados muestran en su totalidad bajo las diversas metodologías aplicadas el efecto que ha causado el cambio de cobertura, incrementando la matriz de suelos desnudos o sin vegetación y la disminución de los bordes graduales en los límites del bosque correspondientes a áreas con vegetación lo que acelera los procesos de degradación ambiental y por ende pérdidas de la productividad de los recursos.
- Los resultados representan uno de los primeros análisis preliminares del estado actual de los procesos de degradación ambiental y de los cambios de las coberturas en el área objeto de estudio, pertenecientes a las cuatro microcuencas La Gurapa, La García, La Chivata y La Charaveca; asimismo, la metodología empleada al combinar el análisis multitemporal junto a un análisis morfométrico y a su vez con resultados de NDVI y la localización espacial de procesos de degradación ambiental condensados en una reestructura PFEIR permitieron conocer el avance que ha mantenido las zonas urbanizadas el cual fue de 480,12 Ha aproximadamente. Sin duda, la información debe ser reportada y distribuida entre las instituciones y organizaciones vinculadas directa o indirectamente en el manejo de la tierra y la administración de la región como un insumo para la toma de mejores decisiones.

- Se usó el método de clasificación de Corine Land Cover ya que sus datos son estandarizados, y su caracterización es bastante específica pudiéndose conocer con exactitud en posteriores investigaciones el tipo de clase que se quiso representar, sin caer en divagaciones y características empíricas e individuales de clasificación.
- Los valores de NDVI calculados, permitieron corroborar los avances de las fronteras agrícolas y la dinámica de las coberturas vegetales, pues se tiene que para 2004 existían 4513,46 Ha (94,38%) con vegetación mientras que para el 2016 se encontró que existían 4112,52 Ha (86%) del área con vegetación, demostrándose una disminución favorable y un aumento de las zonas sin vegetación.
- La tasa de deforestación en concordancia con los demás resultados obtenidos, muestran un aumento de las áreas sin cobertura vegetal, en este caso de bosque, se obtuvo un índice de deforestación de 4,83 Ha/año es decir el 0,10%, que aunque sea una tasa baja igualmente sigue siendo positiva.
- La intervención que se observa en la parte alta y media de las microcuencas de acuerdo al análisis de cambio, se evidencia que en la cuenca de la quebrada La Chivata existe una limitante físico natural que favorece su conservación y es la condición topográfica, pues sus altas pendientes que van de 50-100% ocupan el 35,5% del área total, y las pendientes de 30-50% ocupan el 22,6% lo que hacen difícil la implementación de cualquier actividad de carácter antropogénico.
- La metodología PFEIR es una potente herramienta para el análisis de las interrelaciones entre las dinámicas socioeconómicas y los impactos ambientales que repercuten en la sostenibilidad, en la medida que proporciona una visión de la degradación ambiental.

4.9.2. Recomendaciones

- Resulta importante que a partir de la presente investigación se permita realizar evaluaciones más profundas de cárcavas y otros procesos erosivos importantes, con el fin de poder profundizar en otras investigaciones agregando nuevas metodologías y extrayendo nueva información que permita obtener resultados más completos.
- Al momento de proseguir con la presente temática de esta investigación, se hace importante utilizar otros indicadores más exactos y más actualizados para así de esta manera poder obtener resultados actuales y no tan preliminares, pues por deficiencia de insumos se realizó un estudio netamente preliminar, entre ellos los indicadores de población ya que por falta de dato se tomó la expansión urbana para tener una idea de la población asentada.
- Se tuvo presente la comparación de valores de los NDVI para cada fecha, pero para realizar este procedimiento es necesario la realización de otros pre procesamientos y procesamientos digitales de manejo de la imagen satelital para prepararla y obtener resultados confiables sin perturbación, como son métodos de composición y fusión de imágenes que permitan la eliminación de la nubosidad, solo así se pueden obtener valores acordes y confiables con más aproximación, la realización de este procedimiento a partir de la información obtenida en el presente trabajo cumple los requisitos para un estudio completo aparte de dichas imágenes.
- Es recomendable, que la información existente expresada y obtenida en estas áreas permita ver a las instituciones del estado la necesidad de que esta zona de estudio y las áreas circunvecinas sean incluidas en una figura ambiental de protección local, nacional o regional, que haga posible la creación de una propuesta de medida normativa legal que preserve y frene el continuo avance de las actividades generadoras de desequilibrios en la zona.

- Se sugiere incentivar aún más el uso de tecnologías Geomáticas en investigaciones del área, permitiendo la integración de diversas disciplinas de sensores remotos, SIG, cartografía y bases de datos espaciales.
- Para futuras investigaciones, debido a la alta ocupación antrópica de la zona de estudio se deben realizar estudios de la mano con la población en Sistemas de Producción Agropecuarias (SPA), en cuanto a orientaciones de técnicas y de producción que minimicen los impactos.
- Diseñar una Propuesta de Regionalización y Zonificación, para fines de la planificación territorial, que sea adoptada y respetada por las instancias sectoriales, públicas y privadas; como un elemento clave para solventar el irregular patrón de uso de los recursos y mejorar la capacidad de gestión de la estructura política administrativa de la totalidad de la zona de estudio

www.bdigital.ula.ve

Referencias Bibliográficas

- Arias, N. y Gil, P. (2014). Evaluación de Cobertura Boscosa de la Unidad V de la Reserva Forestal Imataca y la Unidad El Manteco I de la Reserva Forestal San Pedro, Mediante la Implementación del Sistema TerraAmazon. (Trabajo de Pregrado). Universidad de los Andes
- Ayala, R. (2005). Abanico El Palon: Evidencia Cosmística del alto grado de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chama, Estado Mérida- Venezuela. *Revista Geográfica venezolana*, 47(1), 85-112.
- Blanco, J., Sarmiento, L. y García, O. (1995). Aplicación de un SIG para la caracterización morfológica y la delimitación de unidades de ladera de una cuenca tropical estacional en la Chamela, Jalisco, México. *Boletín de Investigaciones Geográficas*, 1995. (Especial). 170-183.
- Barredo, J. (1996). *Sistemas de información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del Territorio*. Alcalá, España: RA-MA.
- Barrios, A. (1997). *Erosión y producción de sedimentos en cuencas hidrográficas*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- Barrios, (1999). *Introducción a la Planificación y Formulación de Proyectos de Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- Brea, D., y Balochi, F. (2010). *Procesos de Erosión- Sedimentación en Cauces y Cuencas Volumen 1*. Montevideo, Uruguay: UNESCO.
- Buitrago, E., Arangures, A., y Marquina, J. (2012). Determinación de Cambios en la cobertura Vegetal del cerro El Morro, parroquia Mucuruba, Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 26(2), 85-106
- Burrough, P. 1988. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12. Oxford Science Publ., Oxford, UK.
- Camargo, C. (2012). *Evaluación Multitemporal de procesos de Erosión en Laderas Mediante el uso de Sensores Remotos (Tesis Maestría)*. Universidad de los Andes
- Camargo, C., Vidal, R., y Andrades, J. (2014). Evaluación multitemporal de procesos de erosión en ladera mediante el uso de SIG y sensores remotos en la microcuenca torrencial “La Machiri”, Estado Táchira- Venezuela. *Revista Geográfica Venezuela*, 55(1), 85-99.
- Carvalho, D., Durigon, V., Homem, M., Sampo, A., y Sanches, P. (2014). Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. *Pesq.Agrop.Bras*, 49, 215-224.
- Centro Para la Investigación en Sistemas Sostenibles de producción agropecuaria. (s.f.). *Susceptibilidad y Predicción de la Erosión en suelos de ladera de la zona cafetalera colombiana*. Recuperado el 3 agosto 2016 de <http://www.cipav.org.co/noticias/noticias-n01.html>
- Cisneros, J., Cholasky, C., Cantero, A., Gonzalez, J., y Reynero, M.(2012). *Erosión Hidrica: Principios y Técnicas de Manejo*. Córdoba, Argentina, UniRio.
- CORPOANDES. 1974. *Recursos de Aguas y Tierras para el Desarrollo de la Sub-Región Grita-Tórbes*. N° 5. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

- Congalton, R. comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.54, n. 3, p. 593-600, 1988.
- Chuvieco, E. 2010. *Teledetección Ambiental. La Observación de La Tierra desde el Espacio*. Ariel Ciencia. Barcelona-España.
- Claves para la Taxonomía de Suelos. (2006). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales.
- De Lisio, A. (2013). *Desarrollo Sustentable e Integración Regional*, Caracas, Venezuela: Ildis.
- Delgadillo, A., Ferrer, C., Dugarte, M. (2009). Aspectos Hidrogeomorfológicos de un sector de los Andes merideños (Venezuela): Un intento de zonificación por crecidas y flujos de detritos. *Revista Geográfica venezolana*, 50(1), 59-85.
- Diez, J. (2007). *Obras Hidráulicas para la Corrección de Torrentes. La Corrección del Fenómeno Torrencial*. Extraído el 26 de Septiembre del 2016 desde http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/correcci%F3n_torrentes.pdf
- Elizalde, G., Viloria, J., y Rosales, A. (2004). *Geografía de Suelos de Venezuela*. Instituto de Edafología de la UCV-Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.
- Elizalde, G., y Daza, M. (2011). Evaluación de amenazas de Movimientos en masa en paisajes montañosos: Ejemplo en el Estado Vargas (Venezuela). Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- FAO. (2000). *Manual de Practicas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos*. boletín de tierras y aguas n° 8, 220 p. Extraído el 30 de agosto del 2006, desde http://www.fao.org/ag/ags/agse/agse_s/7mo/iita/iit.htmroma:f.a.o.
- Faustino, j., Jiménez, F., Alpiar, F., y Prins, C. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Cali, Colombia. CATIE
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (FEDERACAFE). (1975). *CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE*. Chinchiná (Colombia). Manual de conservación de suelos de ladera. 1ª edición. Chinchiná Colombia), Cenicafé. 267 p.
- Felicísimo, A. (1994). *Módulos Digitales de Terreno*, Oviedo, España. AMFELI
- Ferrer, C. (1977). *Estudio geomorfológico detallado de la cuenca media-inferior del río Tórbes Estado Táchira*. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela.
- Ferrer, C. (1999). Represamientos y rupturas de embalses naturales (lagunas de obturación) como efectos cosísmicos: Algunos ejemplos en los Andes venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*. 40 (1): 109-121.
- Finol, U. (1972). En la microcuenca “La Machirí”, el hombre perdió la batalla. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
- Franco, R. (2004). *Análisis satelital Multitemporal de los Bosques de Carare- Opon*. Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas, Centro de Investigaciones y Desarrollo científico. Bogotá, Colombia.

- Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS.(2000). Descripción de los Fenómenos de inestabilidad de Laderas Ocurridos en Venezuela, diciembre de 1999. Recuperado el 28 julio del 2016 de <http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/.pdf>
- Gisbert, J., Ibañez, S., y Moreno, H. (2008). Medidas de Conservación de Suelos Frente a la erosión Hídrica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Universitat de Valencia, España.
- Gisbert, J., Ibañez, S., y Moreno, H. (2008). Medidas Mecánicas Extraordinarias de Conservación de suelos. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Universitat de Valencia, España.
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., More, G., Cristóbal, J., Peces, J., y Tejeiro, A. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Lansat del plan nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 36, 51-61.
- Hopf, J. 1972. Proyecto Conservacionista y Corrección de la Cuenca La Machirí, San Cristóbal Edo. Táchira. Corporación de los Andes. Mérida- Venezuela.
- Hoyo, S., Pacheco, C., Bustillo, L y López, R. (2013). Cambio de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca río El Valle, estado Táchira-Venezuela. Periodos: 1991-2003 y 2003-2013. *Revista Forestal Venezolana*, 57(1), 57-77.
- Iañez, S., (2006). Entisoles. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Ambiente. Valencia-España.
- Iañez, S.(2006). Inceptisoles. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronomica y del Medio Ambiente. Valencia-España.
- Ideam, (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidráulica [INAMEH]. (2016). Caracas, Venezuela: Oficina Central.
- Instituto Nacional de Tierras [INTI]. (2014). Táchira, Venezuela: Oficina Regional de tierras del Estado Táchira.
- Jennes, J.(2006). Topography Position Index TPI Landform Slope Classification Standardization Neighborhood Statistics. Schevene Blvd, USA.
- Lavell, A., et al (2003). La gestión local del riesgo: nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC), PNUD.
- León, J. (2001). Estudio y Control de Erosión Hídrica. Ediciones Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- López, N. (1992). Anteproyecto para el control Torrente San José. Universidad de los Andes ULA, Mérida, Venezuela.
- López, R. (2002). Degradación de Suelos Causas, Procesos Evaluación e Investigación. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial CIDIAT Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

- Martinez, J. (1988). Suelo-Paisaje-Erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en el Alt Panedes-Anoia (Cataluña). (Tesis Doctoral). Universitat de Lleida. Lleida, España.
- Márquez, K., Delgado, F., Pérez, J., y López, R. (2012). Determinación de zonas de conservación de suelos. Cuenca alta del río Uribante, Estados Mérida y Táchira- Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 54(2), 195-224
- Méndez, E., Piedra, M., González, A y Jones, J. (2004). *Análisis espacial del uso de la tierra en la cuenca del río Turrialba, Costa Rica*. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3194e/A3194e.pdf>
- Méndez, J. (2004). Uso de la Tierra y Calidad de Vida de la Población en Comunidades Rurales de la Cuenca del Río Mocovíes. Estado Mérida (Tesis Maestría). Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRÍA. 1974. Proyecto de manejo de la cuenca “La Machirí” (Edo. Táchira) Análisis de la cuenca prioridades de tratamiento vol. 1. OFIPLAMC. Mérida-Venezuela.
- Molina, G., Arias, M. y Mejia, J. (2008). Transformaciones espaciales en las microcuencas La Cuesta-La Boba, Estado Mérida-Venezuela. Periodo 1952-2004. *Revista Geográfica venezolana*, 50(1), 109-129.
- Morales, Y., Diéguez, E., Garibay, A., Morales, F., Murillo, A., Falcón, A., y Jiménez, J. (2014). Vulnerabilidad Hidroclimática y Degradación de Suelo en Regiones Agrícolas Semiáridas, 32, 47-58.
- Nasarre, E. y Badía, A. (2006). La Fotografía Aérea y los Sistemas de Información Geográfica en el Análisis de la Morfología Urbana de Terrassa. Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Navarro, J. y Morte, A. (2013). Importancia de los Procesos de Validación Topológica en la Gestión de Alteraciones Catastrales. *Investigaciones Geográficas*, 60(2), 117-138.
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica, España*. OpenLibra.
- Osorio, R; Lozano, E y Graterol, G. (2009). Cartografía de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca alta del río Santo Domingo estado Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, año XLIII, volumen 53(2), 183-190.
- Ovalles, J., y Méndez, E. (2011). Ordenación y desarrollo de cuencas hidrográficas. Mérida: Universidad de Los Andes, talleres gráficos universitarios.
- Ovalles, Y., Méndez, E y Ramírez, G. (2008). Ordenación de cuencas hidrográficas. Un reto al conocimiento, la acción y la gestión. *Revista Forestal Venezolana*, 52(2), 241-252.
- Orozco, P. (2016). Asignación de Usos de la Tierra: proceso y acción central de la ordenación de cuencas hidrográficas. caso: microcuenca río El Valle, municipios José María Vargas y Jáuregui, Estado Táchira (Tesis de Maestría). Universidad de los Andes ULA, Mérida, Venezuela.
- Pacheco, G. (2002). Las iras de la serranía. Lluvias torrenciales, avenidas y deslaves en la Cordillera de la Costa: un enfoque histórico. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.

- Pacheco, C. y Vilanova, E. (2015). Dinámica de los cambios en la cobertura forestal en 27 municipios de los Llanos Occidentales de Venezuela (1990-2010). Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE
- Pacheco, C., Osorio, R., Méndez, A., Flores, E y López, J. (2006). Determinación del uso de la tierra bajo un enfoque de cobertura con imagen ETM+ de Landsat. Cuenca alta del río Grita 2006, estado Táchira-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*. 40, 85-104.
- Pérez, T. (2008). San Cristóbal en la segunda mitad del siglo XX. De ciudad compacta a ciudad desagregada. San Cristóbal, Venezuela: FEUNET
- Pernía, E., y Lopez, J. (1997). Una metodología práctica de generación de información de imágenes de percepción remota para los SIG. *Revista de Teledetección*.
- PDVSA. 2009. Código Estratigráfico de las Cuencas Petroleras de Venezuela. Revisada el 15 de julio de 2009 desde <http://www.pdvsa.com/lexico/138w.htm>
- Pinheiro, R. y Taborda, C. (2014). Clasificación Morfológica del Relieve Uruguayo Basada en Modelo Digitales de elevación y Técnicas Geomorfométricas. *Geografía y sistemas de información geográfica (GEOSIG)*.6(6), 19-36.
- Pla, I. (Junio 2015). Evaluación de las Interacciones de la Procesos Hidrológicos con procesos de degradación de suelos bajo cambios climáticos. En I. Pla (Presidente), VII Simposio Nacional Control de la Degradación y Restauración de suelos. Universitat de Lleida, Bilbao.
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M. y Garrido, A. (2008). Propuesta para la Generación Semiautomatizada de Unidades de Paisajes Fundamentos y Métodos. México-D.F: Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Investigaciones de Geografía Ambiental.
- PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS. 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p.
- Pulgarin, N. (2011). Desarrollo de un Modelo de Gestión Sostenible del Agua, Microcuenca la Bermejala, Medellín Colombia. (Tesis Maestría). Universitat Politècnica de Catalunya UPC, Barcelona, España.
- Ramírez, O., Peñaloza, R. Arellano, R., y Contreras, G. (2011). Carcavas de la Machirí, Un problema ambiental olvidado. Extraído el día 15 de Junio de 2016 desde <http://carcavasmachiri.webcindario.com/index.html>
- Regoyos, M. (2003). Metodología para la evaluación de la erosión Hídrica con modelos informáticos. Aplicación del Modelo gowepp a dos pequeñas cuencas en Madrid, (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de Ingenieros agrónomos, Madrid, España.
- República Bolivariana de Venezuela. (2004). Plan de ordenación del territorio del Estado Táchira. Táchira, Venezuela: Gobernación del Estado Táchira.
- República Bolivariana de Venezuela. (2001). Decreto con Rango y Fuerza de Ley de Tierras y Desarrollo Agrario. Caracas, Venezuela: Asamblea Nacional.

- República Bolivariana de Venezuela (1999). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, Venezuela: Asamblea Nacional.
- Rivera, H. (1999). Control de Carcavas Remontantes en zonas de ladera mediante tratamientos Biológicos. Extraído el día 5 de octubre de 2016 desde http://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/avance_tecnico_0264
- Roa, J. (2005). Estimación de áreas Susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: Cuenca del Río Mocoties, Estado Mérida-Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, 48(2), 183-219.
- Rondón, J., Vidal, R. (2005). Establecimiento de la cubierta vegetal en áreas degradadas (Principios y Metodos). Revista Forestal Venezolana. 38,63-82.
- Sanhuesa, G., Reyes, M., Bassaber, C. y Acevedo, P. (2002). Impacto del incendio Forestal del año 2002 en el predio la Fusta, Lonquimay. Evaluación Multitemporal de la diversidad, utilizando imágenes satelitales etm+, aster y ali. Universidad de la frontera, Temuco-Chile.
- SPOT IMAGE. (2005). Ficha Técnica: Resolución y modos espectrales. Revisada el 15 de julio de 2010 desde www.spotimage.com
- Saavedra, S. (1996). La administración frente al desarrollo sustentable. Economía, 21(12), 131-155.
- Suárez V., L. (1993). Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Venezuela.
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Suárez, J. (2001). "Control de Erosión en zonas tropicales". Ediciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- Suarez, J. (2001). Control de Erosión en zonas Tropicales. Bucaramanga, Colombia: UIS División de Editorial y Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
- Suarez, J. (2002). Diseño de muros de suelo reforzados con geo sintéticos. Escuela de ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Strahler, N. y Strahler, A. (1989). Geografía Física. EEUU: OMEGA.
- Vargas, R., Tokugawa, K., Francke, S. y Makita, K. (1998). Manual de control de Erosión. Santiago de Chile, Chile: Ministerio de Agricultura.
- Vázquez, N., y Perpinya, B. (2007). Una aproximación al crecimiento de áreas urbanas a través de fotografía aérea y de sistemas de información geográfica. La ciudad de Terrassa como caso de estudio. Cuadernos Geográficos, 2007, 39. 185-201.
- Vidal, R., y Suarez, D. (2004). Diseño de un programa bajo ambiente Windows para el cálculo de diques en la corrección de torrentes. Revista forestal latinoamericana, 35, 97-111.

Vidal, R. (2009). Control de Torrentes. CT2. Presentado en la asignatura Ingeniería de Torrentes. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Junio. Mérida-Venezuela.

Vivas, L. (2012). Geotemas. Mérida, Venezuela: Fondo Editorial Simón Rodríguez.

www.bdigital.ula.ve