

Aplicación del análisis de Sensibilidad Ambiental en la
Zonificación Ecológica-Económica de la microcuenca La
Pedregosa – La Resbalosa. Estado Mérida.

Application of environmental sensitivity analysis in the
ecological-economic zoning of the watershed La Pedregosa – La
Resbalosa. Mérida State.

Yhimaina Trejo¹

Kretheis Márquez¹

Esneira Quiñonez¹

Francisco Rivas²

Fecha de recepción: 26/10/2015

Fecha de aceptación: 21/01/2016

Resumen

La presente investigación pretende incorporar el análisis de sensibilidad ambiental a la zonificación ecológica-económica de una microcuenca ubicada en la ciudad de Mérida-Venezuela, como una herramienta adicional dentro de la metodología comúnmente utilizada en la zonificación de un territorio, permitiendo ir más allá de la simple consideración del uso actual y potencial de la tierra, sino que además considere el potencial de afectación que puede sufrir el área de estudio en función de una serie de factores ambientales y restricciones, que indican la posibilidad de uso del territorio de acuerdo al nivel de alteración que puedan sufrir sus componentes físico-naturales. La metodología parte de unos mapas insumos a saber: i) sensibilidad ambiental de la microcuenca; ii) uso potencial reglamentado; iii) unidades ambientales homogéneas y uso actual. La combinación de los mapas insumo, a través de criterios de decisión, dieron como resultado la zonificación de usos, llegando a determinar diez (10) zonas ecológicas-económicas, las cuales pretenden reflejar los usos más recomendados,

¹Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Universidad de Los Andes, Parque La Isla, Edif. CIDIAT, Apart. Postal 219, 5101-A, Mérida, República Bolivariana de Venezuela, correos electrónicos: yhimaina@ula.ve, kretheis@ula.ve, qesneira@ula.ve

²Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Conjunto Forestal, vía Los Chorros de Milla, Mérida, 5101, Venezuela, correo electrónico: vergara@ula.ve.

considerando las condiciones de fragilidad de sus componentes ambientales. De esta manera se intenta contribuir con el uso sustentable de los recursos naturales y la conservación de la microcuenca.

Palabras clave: Sensibilidad ambiental, zonificación ecológica-económica, uso actual, uso potencial.

Abstract

The present investigation intends to incorporate the analysis of environmental sensitivity to the ecological-economic zoning of a watershed located in the city of Mérida as an additional variable within the traditional methodology commonly used in the zoning of a territory, allowing to go beyond the simple consideration of the current and potential use of the land, but also consider the potential impact that the study area may suffer depending on a series of environmental factors and restrictions, which indicate the possibility of using the territory according to the level of alteration that can suffer its physical-natural components. The methodology proposed part of several maps namely: i) environmental sensitivity of the watershed; ii) potential use regulated; iii) homogeneous environmental units and actual use. The Combination of result of the analysis of environmental sensitivity with actual use and potential regulated of the watershed, through criterions of decision, giving as result the zoning of uses, getting itself to determine ten (10) ecological-economic zones, which are intended to reflect the most appropriate or more recommended uses, considering the conditions of fragility of their environmental components. In this way it is tried to contribute with the sustainable use of the natural resources and the conservation of the watershed.

Keywords: Environmental sensitivity, ecological-economic zoning, current use, potential use.

Introducción

La microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa se encuentra ubicada en la parroquia Lasso La Vega del municipio Libertador del estado Mérida en Venezuela, ocupando una superficie aproximada de 4050 hectáreas, la misma enfrenta problemáticas relacionadas con procesos desordenados y no regulados de ocupación del territorio y un uso inadecuado de los recursos naturales, que trae como consecuencia una afectación en su estado de conservación. Con base en lo anterior se pretende realizar una zonificación ecológica-económica de la microcuenca, tomando en consideración una serie de factores y restricciones a partir del análisis de sensibilidad ambiental, a objeto de determinar los usos más adecuados de los espacios que la conforman y así contribuir en la conservación

de la misma.

La zonificación ecológica-económica (ZEE) es entendida como un proceso de división o parcelamiento, ya sea en forma regular o irregular de una determinada área, conducente a definir zonas individuales que poseen sus propias características y que además poseen un alto grado de uniformidad interna en todos o en ciertos atributos esenciales para propósitos específicos. La caracterización de estas zonas permite la evaluación de las distintas aptitudes de uso para posibles formas de utilización de los recursos [Ponce, 1998].

Por su parte la sensibilidad ambiental es entendida como el potencial de afectación (transformación o cambio) que pueden sufrir los distintos componentes del ambiente como resultado de la alteración de los procesos físicos, bióticos y socioeconómicos generados por las actividades de intervención antrópica del medio o por causa de los diversos procesos de desestabilización natural que experimenta el ambiente [Sandia y Henao, 2001].

En función de las definiciones anteriores la presente investigación pretende incluir el análisis de sensibilidad ambiental de la microcuenca en el proceso de zonificación ecológica-económica, a objeto de plantear una metodología que vaya más allá de la simple consideración del uso actual y potencial, sino que también tome en consideración el potencial de afectación que puede sufrir un área determinada en función de factores ambientales y restricciones, que indican la posibilidad de uso de un territorio de acuerdo al nivel de alteración que pueden soportar los componentes físico-naturales y socioeconómicos que caracterizan al área de estudio.

Materiales y Métodos

El desarrollo de la investigación se ejecutó en tres (3) fases a saber:

Fase I: recopilación, generación, organización y análisis de la información base sobre la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

Consistió en una revisión bibliográfica de fuentes primarias (libros, tesis, artículos de revistas, cartografía, etc.). Las herramientas utilizadas para presentar la información estuvieron basadas en mapas, tablas y figuras. De igual forma en esta fase se procedió a elaborar una descripción de los aspectos físico-naturales de la microcuenca considerando variables topográficas, biológicas, edafológicas, climáticas, usos y cobertura del suelo, entre otras, tomando en cuenta para ello el análisis de la información disponible en otras investigaciones realizadas en el área, así como el procesamiento de imágenes de satélite, en este caso una Imagen Pancromática SPOT de 2,5 m de resolución del año 2010. La descripción de los aspectos físico-naturales fue complementada con su respectiva

representación espacial a través de la generación de mapas temáticos para cada uno de los aspectos físico-naturales desarrollados, cuyo material cartográfico se representó en Proyección Mercator Transversal (UTM), Datum Horizontal: REGVEN Zona 19 Norte GRS 80 y Datum Vertical: Nivel Medio del Mar, a escala 1:25.000.

Fase II: determinación de los niveles de sensibilidad ambiental de la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

La identificación de los niveles de sensibilidad ambiental se hizo a través de un análisis multicriterio que facilitó la toma de decisiones en el proceso de zonificación de la microcuenca mediante el uso del Sistema de Información Geográfica ArcGIS, esto implicó una selección de criterios los cuales se dividieron en factores y restricciones, los factores son generalmente medidos en una escala continua e indican la idoneidad relativa de ciertas áreas para determinados usos, mientras que las restricciones son aquellas que actúan como una característica desfavorable para el desarrollo de usos específicos y por ende sirvieron para excluir algunas zonas dentro del área de estudio. Se seleccionaron cuatro (4) factores y dos (2) restricciones.

Los factores seleccionados fueron los siguientes:

- **Capacidad del espacio para ser urbanizado:** considerado para el análisis multicriterio con el objetivo de determinar la capacidad que tiene el espacio para soportar el uso urbano en función de la inclinación de la pendiente y los niveles de susceptibilidad a movimientos de masa, este último obtenido a partir de un estudio de línea base referente a la zonificación de la susceptibilidad a movimientos de masa para la terraza de Mérida, elaborado por [Ramírez, 2010].
- **Unidades Ecológicas:** se realizó mediante la aplicación de la Clasificación de las Unidades Ecológicas de los Andes Venezolanos (CUEAV), desarrollada por Ataroff y Sarmiento (2003). El objetivo de considerar este factor fue establecer la importancia y valor biológico de cada una de las unidades ecológicas presentes en el área de estudio.
- **Importancia Ecológica:** se eligió para el análisis a objeto de identificar cuáles eran las áreas de mayor importancia ecológica dentro de la microcuenca, considerando de alta importancia aquellas unidades ecológicas que permanecen poco intervenidas, y de baja importancia aquellas unidades que se encuentran fuertemente intervenidas por las distintas actividades antrópicas.
- **Área Urbana:** se tomó en cuenta con la finalidad de identificar la sensibilidad del área urbana de la microcuenca en función del uso presente dentro de la poligonal urbana del área de estudio.

Por otro lado las restricciones consideradas fueron:

- **Zona Protectora a Cuerpos de Agua:** la Ley de aguas (2007) en su artículo 54 define a estas zonas como aquellas que tienen el objetivo fundamental de proteger áreas sensibles de las cuales depende la permanencia y la calidad del recurso y la flora y fauna silvestre asociada. Esta restricción se tomó en consideración con motivo de representar la importancia de conservar los cuerpos de agua en la microcuenca, contemplada en la Ley respectiva.
- **Zona Protectora de Bosques:** Se escogió como restricción para representar las áreas de importancia para la conservación de bosques, contemplada en el artículo 67 de la Ley de Bosques (2013). Una vez seleccionados los factores y con base a su representación cartográfica, se procedió a la realización de los mapas de sensibilidad ambiental y mapas de restricciones para cada uno de los criterios seleccionados, para ello los factores fueron reclasificados de acuerdo a tres (3) categorías de sensibilidad: Alta; Media; y Baja, asignando un valor de 3, 2 y 1 respectivamente. En el caso de las restricciones la reclasificación se hizo en dos categorías: restrictivo asignándole un valor de cero (0), y no restrictivo asignándole un valor de uno (1). En la Tabla 1 se muestran y definen las tres categorías de sensibilidad ambiental para la reclasificación de los factores.

Por otra parte las Tablas 2 y 3 muestran los juicios de reclasificación de las restricciones y los factores utilizados para generar los mapas de sensibilidad y los mapas de restricciones.

Ya hecho el proceso de reclasificación y obtenido los mapas, se procedió a efectuar un análisis multicriterio, requerido en la metodología de la sensibilidad ambiental, para ello se hizo necesario la determinación del peso de cada uno de los factores haciendo uso de la técnica de comparación por pares desarrollada por Saaty (1977) basado en un proceso de toma de decisión conocido y llamado como análisis jerárquico.

Tabla 1: Categorías de Sensibilidad.

Sensibilidad Alta (3)	Sensibilidad Media (2)	Sensibilidad Baja (1)
Las áreas definidas con Alta Sensibilidad implican que los componentes ambientales seleccionados para el análisis (capacidad del espacio para ser urbanizado, unidades ecológicas, importancia ecológica y área urbana), presentan condiciones de alta fragilidad e inestabilidad ambiental ante los diversos procesos de intervención antrópica. Por tanto todas aquellas áreas que presenten una alta sensibilidad serán aquellas que ofrecen mayores restricciones de uso dentro del área de estudio.	Las áreas identificadas con Moderada Sensibilidad implican que los componentes ambientales seleccionados para el análisis, presentan condiciones de moderada fragilidad ambiental por lo cual presentan mayores posibilidades de intervención. Estas áreas ofrecen menores restricciones de uso en comparación con la categoría anterior.	Las áreas de Baja Sensibilidad Ambiental implican que los componentes ambientales ofrecen las mejores y mayores potencialidades para su uso y ocupación. En este sentido estas áreas poseen una mayor capacidad de amortiguación ante las distintas actividades antrópicas ya que las condiciones físicas y bióticas pueden permanecer casi inalteradas ante los diferentes procesos de intervención humana.

Tabla 2: Juicios utilizados para la reclasificación de las restricciones.

Criterios	Juicio de Reclasificación	Grado de Restricción	
		Restrictivo (1)	No Restrictivo (0)
Zonas Protectoras de Cuerpos de Agua	Interpretación del MPPA DEA-Mérida de la Ley de Aguas (Gaceta Oficial Nro 38.595 de Enero de 2007)	Se considera como restrictivo aquellas áreas que poseen una distancia menor de 25 metros de ancho a ambas márgenes de los cursos de agua.	Se considera como no restrictivo aquellas áreas que poseen una distancia mayor de 25 metros de ancho a ambas márgenes de los cursos de agua.
Zona Protectora de Bosques	Ley de Bosques (Gaceta Oficial Nro. 40.122 de Septiembre de 2013)	Se considera como restrictivo aquellas áreas que posean una distancia mínima de trescientos metros (300 m) en línea paralela a filas de montañas y bordes inclinados de mesetas.	Se considera como no restrictivo aquellas áreas que posean una distancia mayor de trescientos metros (300 m) en línea paralela a filas de montañas y bordes inclinados de mesetas.

Tabla 3: Juicios utilizados para la reclasificación de los factores.

Criterios	Juicios de Reclasificación	Sensibilidad Ambiental		
		Alta (3)	Media (2)	Baja (1)
Capacidad del Espacio para ser Urbanizado	Potencialidad que posee el espacio para ser urbanizado, la cual está dada por la consideración de los siguientes aspectos: 1. Inclinação de la pendiente. 2. Niveles de susceptibilidad a movimientos de masa.	Áreas con pendientes mayores al 30 % y niveles de susceptibilidad a movimientos de masa que van de moderados a altos, que se consideran como zonas de baja capacidad del espacio para ser urbanizado.	Áreas con pendientes que van entre 8 y 30 % y moderados niveles de susceptibilidad a movimientos de masa, que se consideran zonas de capacidad media del espacio para ser urbanizado.	Áreas que presentan una alta capacidad del espacio para ser urbanizado, con un predominio de pendientes menores al 8 % y bajos niveles de susceptibilidad a movimientos de masa.
Unidades Ecológicas	Fragilidad de acuerdo a las condiciones ambientales que condicionan el tipo de vegetación existente en un área determinada y su valor biológico, determinada con base a los siguientes criterios: 1. Distribución de la precipitación media anual. 2. Valores de altitud.	Unidades ecológicas de Páramo Altiandino y Páramo Andino, con altitudes que van desde los 3300 hasta los 4200 m.s.n.m., y una distribución de la precipitación media anual que varía entre los 1600 y 1700 mm. Estas áreas presentan un alto grado de fragilidad ante intervenciones antrópicas dado la presencia de especies representativas de los páramos Andinos Venezolanos.	Unidades ecológicas de Selva Nublada Montana Alta y Selva Nublada Montana Baja con altitudes que van de los 1600 hasta los 3300 m.s.n.m., y una precipitación media anual que varía entre los 1450 y 1900mm. Son áreas que presentan niveles medios a altos de fragilidad, pero fueron consideradas como moderadas con base a su capacidad y posibilidades de recuperación mayores a las unidades ecológicas anteriores.	Unidad ecológica de Selva Semicaducifolia Montana ubicada entre altitudes que van desde los 1300 a 1600 m.s.n.m., y una precipitación media anual que varía entre los 1300 y 1600 mm. Son áreas de baja fragilidad con una baja diversidad de especies en comparación con el resto de las unidades ecológicas.
Importancia Ecológica	Sensibilidad de acuerdo al valor e importancia ecológica de las áreas de la microcuenca con base a la identificación de: 1. Áreas protegidas (ABRAES) 2. Áreas con vegetación secundaria altamente intervenida. 3. Áreas de fuerte intervención por el uso urbano.	Áreas Bajo Régimen de Administración Especial con una alta importancia ecológica. Son espacios de gran fragilidad por poseer muestras representativas de ecosistemas y paisajes.	Áreas de una importancia media dado la presencia de bosques y vegetación secundaria intervenida.	Áreas de una importancia baja como consecuencia de la presencia fuerte de una intervención de usos urbanos con muy baja a casi nula vegetación.
Área Urbana	Poligonal del Plan de Ordenación Urbanística del área Metropolitana de Mérida - Ejido - Tabay, que puede ser sometida (desde el punto de vista del Plan) al uso intensivo urbano.	–	–	Área caracterizada por la presencia de un uso predominantemente urbano, mostrando una buena capacidad de amortiguación ante las distintas actividades antrópicas.

El objetivo de la comparación por pares fue determinar la importancia relativa que guardan entre si cada uno de los factores considerados en el análisis. Para poder establecer la importancia relativa o peso de cada factor se realizó una encuesta a un grupo de treinta y ocho (38) especialistas para que asignaran una importancia relativa a la comparación entre dos alternativas, estableciendo que:

- i) Un factor no puede tener igual importancia a otro.
- ii) El grado de importancia de un factor con respecto al otro solo puede tener dos alternativas: 1) mayor importancia, o 2) menor importancia.

La consulta a expertos o especialistas se hizo por medio de la elaboración de una matriz de comparación por pares basada en registrar el peso de cada uno de los factores, en ese sentido la matriz estuvo compuesta por cuatro filas y cuatro columnas (4x4) donde se ubicaron los factores de comparación, en la Tabla 4 se muestra claramente la estructura de esta matriz.

Tabla 4: Matriz de comparación por pares.

Factores		Capacidad del espacio para ser urbanizado (1)	Unidades Ecológicas (2)	Importancia Ecológica (3)	Área Urbana (4)
Capacidad del espacio para ser urbanizado	1				
Unidades Ecológicas	2				
Importancia Ecológica	3				
Área Urbana	4				

Una vez realizada la consulta al grupo de 38 especialistas mediante el uso de la matriz, se procedió a calcular la importancia relativa de los factores seleccionados, con la ayuda de la herramienta Excel.

En primer lugar se calculó el valor de ponderación de cada factor (e) para un especialista o decisor (i), a través de la siguiente ecuación:

$$V_{ei} = \frac{F_{ei}}{P} \quad (1)$$

Donde:

V_{ei} : valor de ponderación de cada factor (e) para un especialista o decisor (i)

F_{ei} : es la frecuencia con la que el factor (e) ha sido elegida por el especialista (i)

P : es el número de decisiones de referencia, es decir, el numero de juicios hechos por cada especialista, la cual viene dada por $n(n - 1)/2$, siendo n el número de factores.

Luego se calculó el peso o importancia relativa final de cada uno de los factores mediante la ecuación:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^m V_{ei}}{\sum_{i=1}^m \sum_{e=1}^n V_{ei}} \quad (2)$$

Donde:

V : peso o importancia relativa final de cada factor

m : es el número total de jueces o especialistas

n : es el número total de factores

El análisis multicriterio fue elaborado haciendo uso del Sistema de Información Geográfica ArcGis a través de la herramienta de análisis espacial correspondiente al modulo de algebra de mapas. Implicó el uso del método de Combinación Lineal por Pesos el cual consiste en multiplicar cada factor por su peso correspondiente para luego adicionarlos, mientras que las restricciones se aplicaron realizando multiplicaciones por cero (0) en aquellas áreas a excluir. Para la aplicación de este método fue necesario trabajar con las mapas de sensibilidad en formato raster con el objetivo de que cada celda o pixel asuma el valor de sensibilidad correspondiente y pueda ser multiplicado por el peso del factor obtenido a través de la matriz de comparación por pares, todo esto permite obtener el mapa final de sensibilidad ambiental de la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa. En la Figura 1 se puede apreciar el proceso metodológico para la obtención del mapa de sensibilidad ambiental.

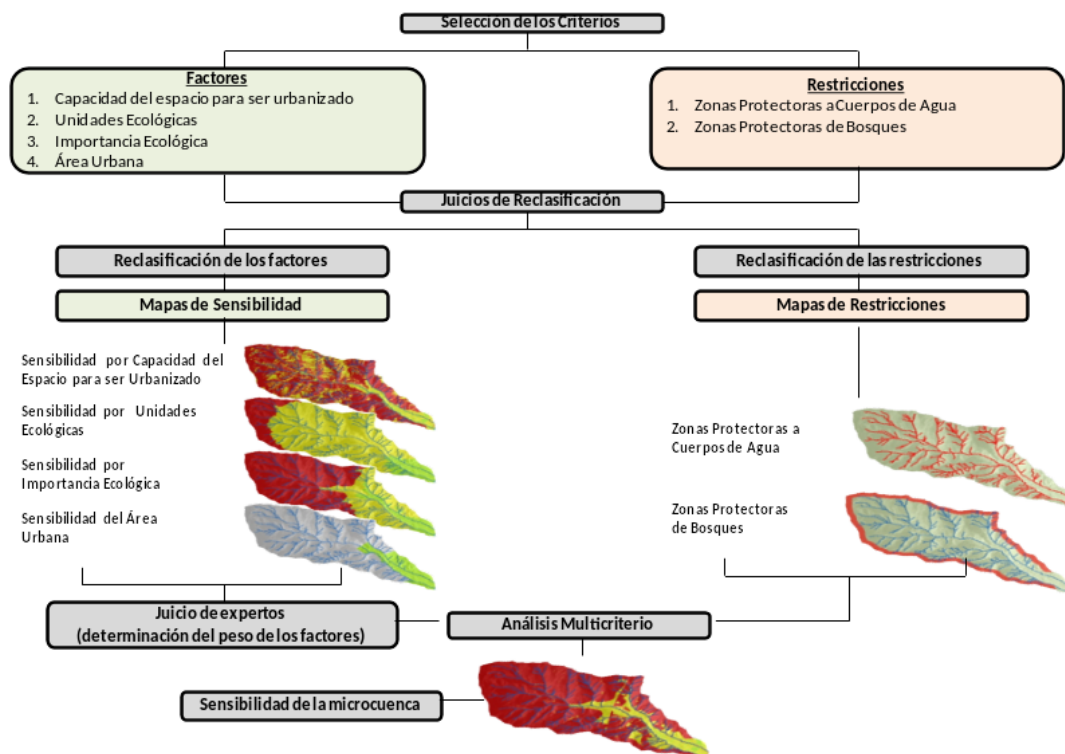


Figura 1: Procedimiento metodológico para la determinación del mapa de Sensibilidad Ambiental de la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

Fase III: Zonificación Ecológica-Económica de la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

La metodología constó de un proceso secuencial de superposición de mapas en tres niveles, cuyo objetivo fue determinar el mejor uso para cada zona en función de sus potencialidades, niveles de sensibilidad ambiental y restricciones. Para llevar a cabo el proceso de Zonificación Ecológica - Económica se hizo necesario la obtención de los siguientes insumos: i) mapa de sensibilidad ambiental de la microcuenca (obtenido en análisis de sensibilidad); ii) mapa de unidades ambientales homogéneas y uso actual, y iii) el mapa de uso potencial reglamentado.

- **Obtención del Mapa de Sensibilidad Ambiental de la Microcuenca.**

El proceso metodológico para la obtención de este mapa fue realizado en el análisis de sensibilidad ambiental previamente descrito en la fase II de la metodología.

- **Obtención del Mapa de Unidades Ambientales Homogéneas y Uso Actual.**

Para la obtención de este mapa, la microcuenca se dividió en unidades ambientales homogéneas, las cuales se delimitaron por medio de la integración de las variables obtenidas de la descripción físico-natural de la microcuenca. Estas áreas se consideraron como unidades constituidas por una cierta homogeneidad interna de carácter biótico y físico, pretendiendo efectuar una síntesis de las características más notables de cada una de las observaciones temáticas.

La definición de estas unidades permitió identificar los diferentes usos actuales que se desarrollan en cada una de ellas y que deben estar en concordancia con las características propias de cada unidad. Estas unidades homogéneas se definieron en tres (3) tipos, las cuales hacen referencia a la dinámica general de la microcuenca, y su clasificación estuvo dada por: unidad natural, unidad rural y unidad urbana.

Una vez identificadas las unidades ambientales homogéneas se procedió a determinar los usos actuales por cada unidad en función de la cobertura del suelo, para ello se hizo uso de la fotointerpretación de la imagen Pancromática SPOT de 2,5 m. de resolución del año 2010, visitas a campo y el estudio de línea base de Ramírez (2010).

- **Obtención del Mapa de Uso Potencial Reglamentado.**

Este mapa es producto de una revisión exhaustiva de las unidades de ordenamiento y la zonificación de usos potenciales en las cuales está dividida la microcuenca actualmente, para ello se tomó en cuenta:

- Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Parque Nacional Sierra de La Culata de fecha 10 de mayo del año 1995.
- Plan de Ordenación Urbanística del Área Metropolitana de Mérida-Ejido-Tabay de fecha 8 de enero de 1999.
- Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Zona Protectora de la Cuenca del Río Albarregas. Estado Mérida, de fecha 1 de febrero del año 1999.

Esta revisión implicó determinar la zonificación de los usos potenciales establecidos por ley en cada unidad de ordenamiento presente en el área de estudio y su posterior digitalización a través del Sistema de Información Geográfica ArcGis.

Una vez obtenidos estos mapas se hizo una superposición secuencial de los

mismos para generar así el mapa de Zonificación Ecológica – Económica de la microcuenca, cuyo proceso metodológico incluyó el uso de unos criterios de decisión (ver Figura 2).

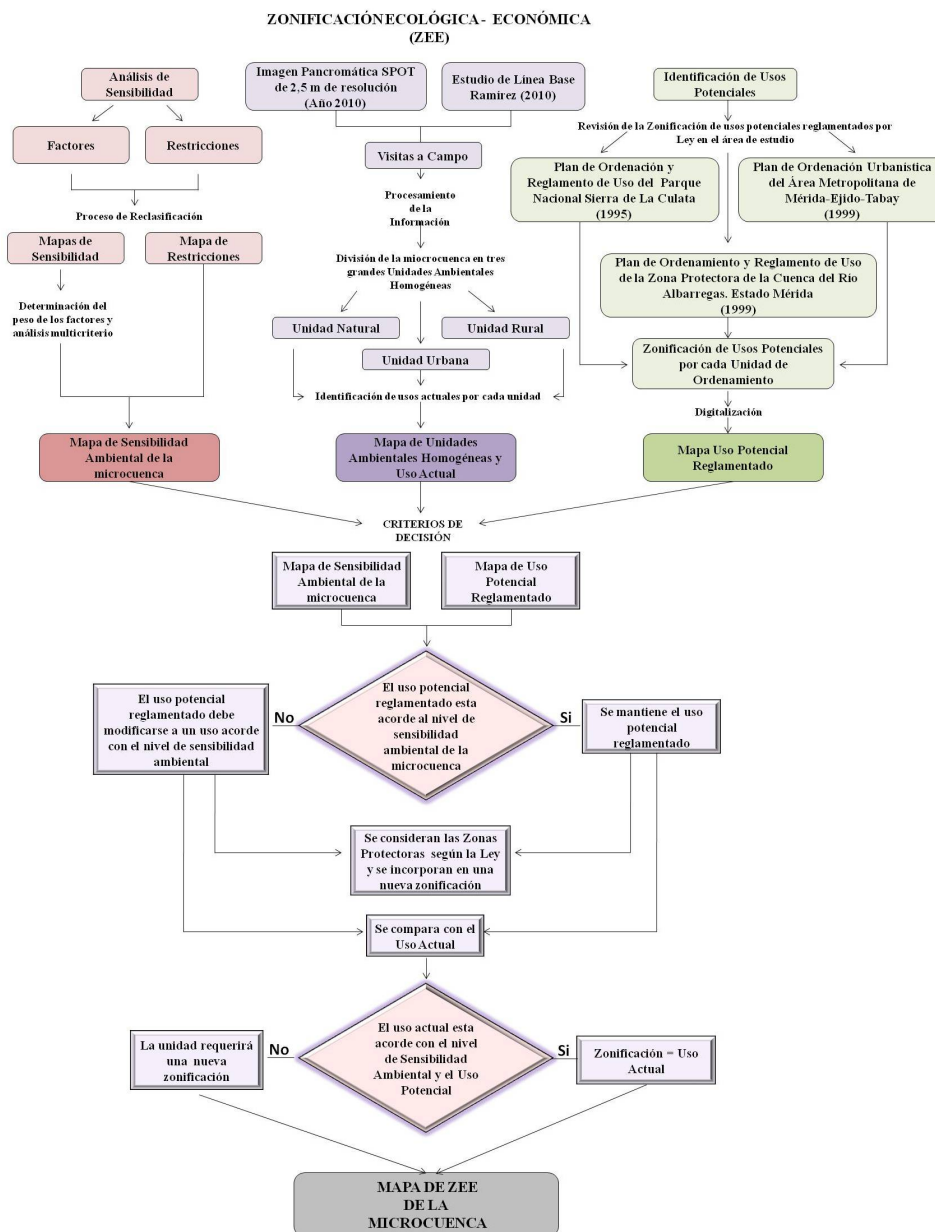


Figura 2: Proceso metodológico para la Zonificación Ecológica - Económica de la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

Resultados y Discusión

La aplicación de la metodología anteriormente descrita permitió la obtención de los siguientes resultados:

Mapas de Sensibilidad Ambiental de los Factores.

Resultaron de la aplicación de los juicios de reclasificación previamente establecidos. En primer lugar se obtuvo el mapa de sensibilidad por capacidad del espacio para ser urbanizado, en este mapa, las áreas de alta sensibilidad están representadas por zonas cuyas pendientes son muy inclinadas, por lo general mayores al 30 %, y altos niveles de susceptibilidad a movimientos de masa; dentro del área de estudio ocupan una superficie de 2747 hectáreas que en términos porcentuales representa el 68 % del total de la microcuenca. Por otra parte las áreas de sensibilidad media ocupan el 28 % y se corresponden a zonas con pendientes menos inclinadas (entre 8 % y 30 %), con moderados niveles de susceptibilidad a movimientos de masa. Las áreas de sensibilidad baja poseen una extensión aproximada de 149 hectáreas y están referidas a zonas que poseen pendientes bajas (< 8 %) y bajos niveles de susceptibilidad a movimientos de masa.

En el mapa de sensibilidad por unidades ecológicas, se manifiestan tres (3) categorías de sensibilidad, destacando en primer lugar las áreas de sensibilidad alta con una superficie aproximada de 633 hectáreas lo que representa el 16 % del total de la microcuenca, ésta se corresponde con las unidades ecológicas de Páramo Andino y Páramo Altiandino. Por otra parte las áreas de sensibilidad media están representadas por las unidades ecológicas de Selva Nublada Montana Alta y Selva Nublada Montana Baja, estas zonas son las de mayor extensión dentro del área de estudio ocupando el 74 %. Por último se tiene que el 10 % restante del total de la microcuenca se corresponde con áreas de sensibilidad baja y está representada por la unidad ecológica de Selva Semicadifolia Montana.

Con respecto al mapa de sensibilidad por importancia ecológica, se tiene que el 63 % de la superficie posee una sensibilidad alta debido a la existencia del Parque Nacional Sierra de La Culata con la presencia de sistemas ecológicos de gran importancia y fragilidad ante las distintas intervenciones antrópicas. Por otra parte se pueden observar áreas de una fragilidad media, ocupando el 27 % de la superficie total del área de estudio y está caracterizada por una vegetación secundaria mayormente intervenida. El 10 % restante de la microcuenca presenta una sensibilidad baja correspondiéndose con áreas donde existe un predominio del uso urbano con muy poca presencia a casi nula vegetación.

Por último se obtuvo el mapa de sensibilidad del área urbana, tomando en consideración la poligonal urbana correspondiente al área de estudio. En tal sentido se tiene que las

Aplicación del análisis de sensibilidad en la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

548 hectáreas que ocupa la poligonal representa el 14% del total de la microcuenca y se corresponde con un nivel bajo de sensibilidad dado a la capacidad de amortiguación que presenta ante las distintas actividades antrópicas. Por su parte en las 3502 hectáreas restantes correspondientes al 86% del área de estudio no aplica el análisis de sensibilidad debido a que solo se evaluó el área urbana.

Los niveles de sensibilidad ambiental para cada uno de los factores considerados, se pueden observar en la Figuras 3.

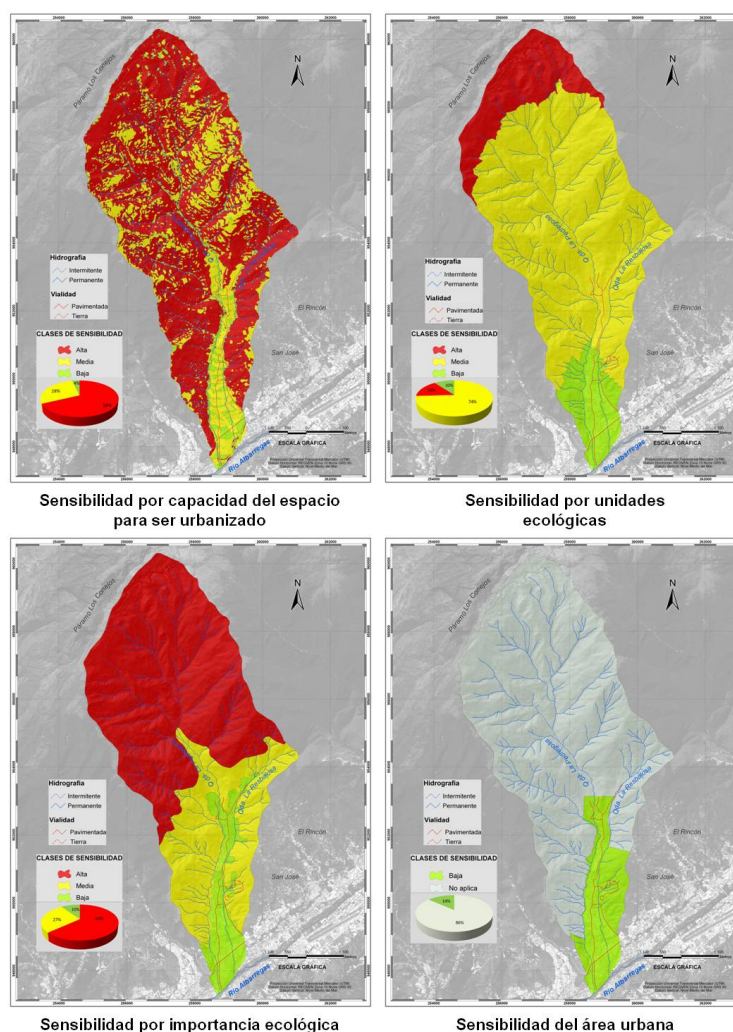


Figura 3: Mapas de sensibilidad ambiental de los factores

Mapas de Restricciones.

Las restricciones en la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa vienen dadas por las zonas protectoras a los cuerpos de agua y las zonas protectoras de bosques (Figura 4).

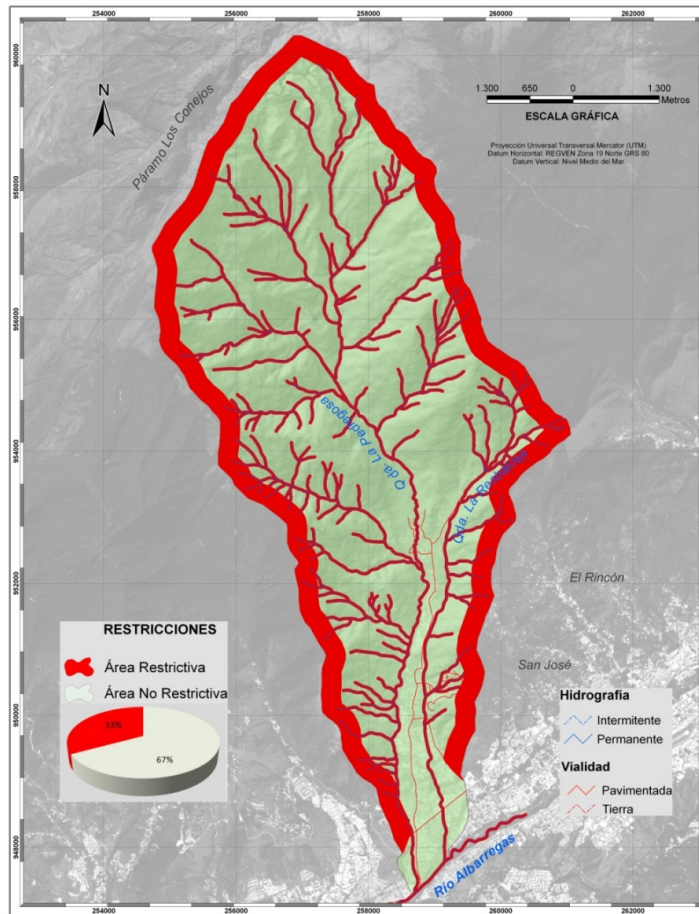


Figura 4: Mapa de Restricciones.

Las restricciones en función de las zonas protectoras a los cuerpos de agua están definidas por una franja de veinticinco metros (25 m) a ambas márgenes de los cursos de agua, esto de acuerdo con la interpretación de la Ley de Aguas que hace el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA), Dirección Estatal Mérida (DEPPA, Mérida). Estas áreas ocupan 584 hectáreas lo que representa el 14,42 % del total del área de estudio.

Las restricciones en función de las zonas protectoras de bosques (de acuerdo con la Ley de Bosques) están definidas por todas aquellas áreas que posean una distancia

mínima de trescientos metros (300 m) en línea paralela a las filas de montañas y bordes inclinados de mesetas. Estas áreas ocupan una superficie de 826 hectáreas, representando el 20,39 % del total del área de estudio.

Pesos de los Factores.

Haciendo uso de la técnica de comparación por pares, desarrollado por el grupo de treinta y ocho (38) especialistas a través del proceso de consultas, y mediante el procesamiento de la información se obtuvieron los pesos correspondientes para cada uno de los factores seleccionados cuyos resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Pesos obtenidos para cada factor.

Factores	Frecuencia total de los factores	Valor porcentual de los factores	Peso de los factores	Importancia (%)
Capacidad de espacio para ser urbanizado	53	8,83	0,232	23,25
Unidades Ecológicas	74	12,33	0,325	32,09
Importancia Ecológica	80	13,33	0,351	35,09
Área Urbana	21	3,50	0,092	9,21

El factor que obtuvo el mayor peso, corresponde a la importancia ecológica con el 35,09 %, seguido se encuentra las unidades ecológicas con el 32,46 %; por otra parte se tiene la capacidad del espacio para ser urbanizado ocupando el tercer lugar en importancia con el 23,25 %; y por último se encuentra el área urbana con el 9,21 %, siendo esta la de menor importancia con respecto a los demás factores.

Mapa de Sensibilidad Ambiental de la Microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

Una vez obtenidos los pesos para cada uno de los factores, así como los mapas de sensibilidad y las restricciones (Zonas protectoras a Cuerpos de Agua y Zonas Protectoras de Bosques) se obtuvo el mapa final de sensibilidad ambiental del área de estudio (Figura 5) a través del análisis multicriterio definido en la metodología.

Como resultado se obtuvo que para la microcuenca existen tres (3) niveles de sensibilidad. En primer lugar destacan las áreas de sensibilidad ambiental alta ocupando una superficie de 3424 hectáreas (85 %), las cuales presentan altas condiciones de

fragilidad e inestabilidad ante los diversos procesos de intervención antrópica que pudieran existir, siendo estas las que ofrecen mayores restricciones de uso. En segundo lugar se tiene que las áreas de sensibilidad media ocupan una superficie de 571 hectáreas (14%), presentando condiciones de moderada fragilidad ambiental y por lo tanto brindan mayores posibilidades de intervención, por último se encuentran las áreas de sensibilidad baja, las cuales no ofrecen restricciones para su uso, ocupando una superficie de solo 55 hectáreas (1%).

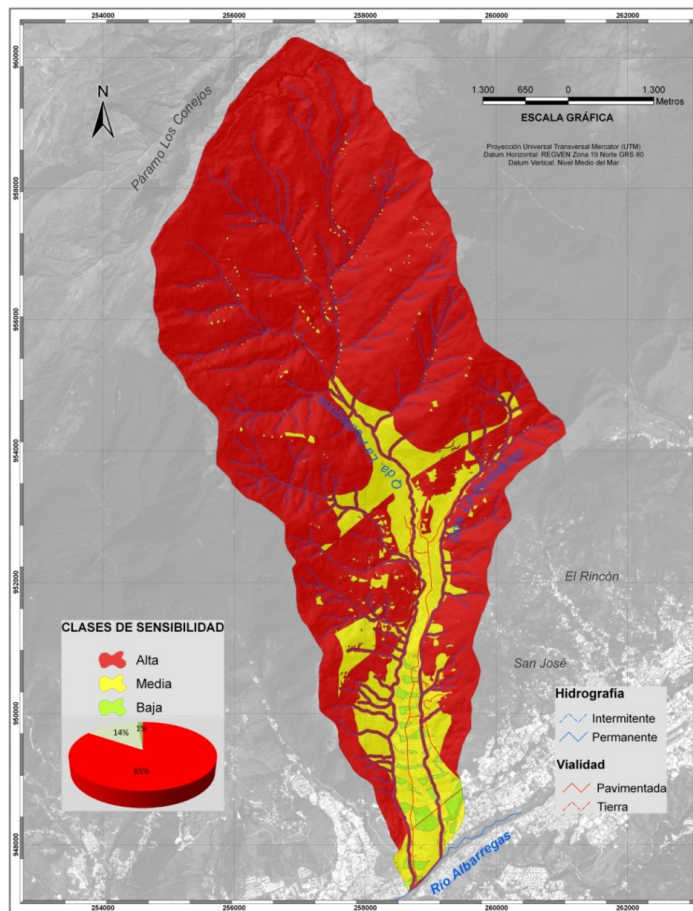


Figura 5: Sensibilidad ambiental de la microcuenca.

Mapa de Unidades Ambientales Homogéneas y Uso Actual, y Mapa de Uso Potencial Reglamentado

A partir de la aplicación de la metodología propuesta en la fase III de la investigación se obtuvo el mapa de unidades ambientales homogéneas y uso actual, y el mapa de uso

potencial Reglamentado, los cuales se pueden observar en la Figura 7.

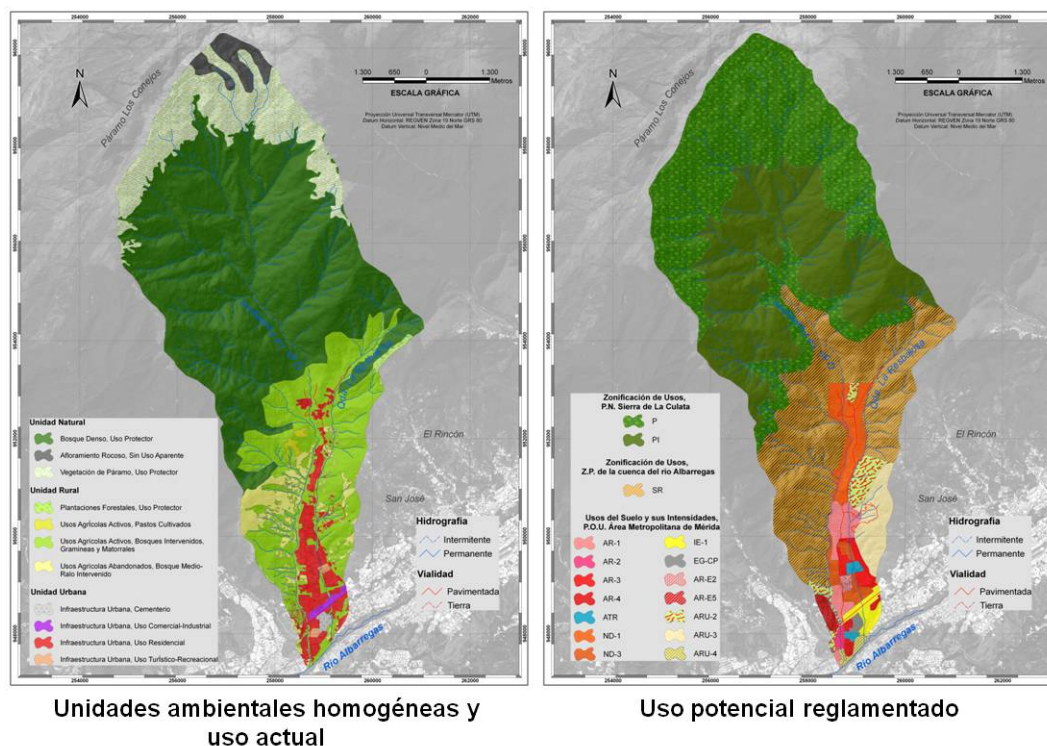


Figura 6: Unidades ambientales homogéneas y uso actual y uso potencial reglamentado
P: Zona Primitiva o Silvestre; **PI:** Zona de Protección Integral; **AU:** Zona de Uso Regulado;
AR-1, AR-2, AR-3 y AR-4: Áreas Residenciales Desarrolladas; **ATR:** Áreas Turísticas y Recreacionales; **ND-1 y ND-3:** Nuevos Desarrollos Residenciales; **IE-1:** Instalaciones Industriales en Parcelamiento; **EG-CP:** Áreas para Servicios Especiales (cementerio); **AR-E2:** Áreas Residenciales de Acción Especial a Consolidar; **AR-E5:** Áreas de Acción Especial de Alto Riesgo Natural; **ARU-2:** Áreas de Protección Integral; **ARU-3:** Áreas de Uso Restringido; **ARU-4:** Áreas Protegidas con Reglamentación Especial.

Zonificación Ecológica-Económica de la microcuenca

Finalmente y ya obtenidos los mapas insumos se procedió a aplicar la metodología y los criterios de decisión para el proceso de zonificación, anteriormente descritos. Es así como se obtuvo la zonificación para el área de estudio, en la cual resultaron diez (10) zonas (ver Figura 7) a saber: i) Zona de Conservación y Recuperación Ecológica; ii) Zona de Protección Integral de Bosques y Aguas; iii) Zona de Protección y Conservación Ecológica; iv) Zona de Uso Restringido; v) Zona de Uso Residencial; vi) Zona de Expansión Urbana

(Densidades Altas – Media); vii) Zona de Expansión Urbana (Densidades Bajas); viii) Zona de Equipamientos Especiales (cementerio); ix) Zona de Uso Industrial – Comercial; y x) Zonas para el Uso Turístico y Recreacional.

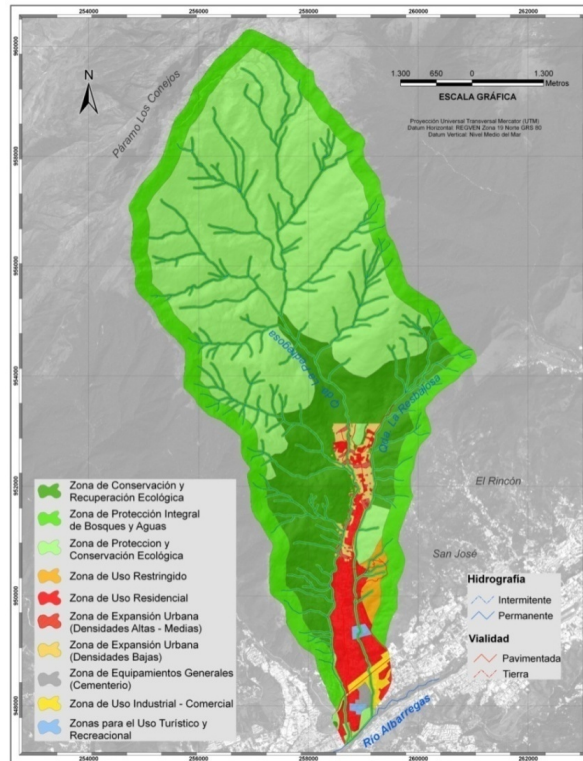


Figura 7: Zonificación Ecológico-Económica.

Al comparar los tres mapas insumos con el mapa de zonificación resultante se tiene que hay algunos usos actuales que se encuentran conformes con los usos reglamentados y con el nivel de sensibilidad ambiental resultante de la microcuenca, por lo que en estas áreas, la zonificación asegura que se puede mantener el uso, tal es el caso de la Zona de Protección y Conservación Ecológica, Zona de Uso Residencial, Zona para el Uso Turístico y Recreacional, Zona de Uso Industrial-Comercial, y la Zona de Equipamientos Generales. En otros casos se observa que algunos usos actuales no están en concordancia con el uso potencial reglamentado ni con el nivel de sensibilidad ambiental por lo que dichas zonas adquirieron una nueva zonificación, tal es el caso de la Zona de Conservación y Recuperación Ecológica Zona de Expansión Urbana (tanto para densidades de población altas medias y bajas), Zona de Protección Integral de Bosques y Aguas y la Zona de Uso Restringido. La Tabla 6 muestra una breve explicación para las zonas resultantes:

Aplicación del análisis de sensibilidad en la microcuenca La Pedregosa – La Resbalosa.

Tabla 6: Definición de las Zonas Ecológicas-Económicas de la microcuenca.

ZEE	Descripción	Usos Recomendados
Zona de Conservación y Recuperación Ecológica	Zona orientada a la conservación de los espacios que se encuentran ubicados entre el Parque Nacional Sierra de La Culata y la Poligonal Urbana que constituyan zonas montañosas de alta fragilidad natural y que ofrecen restricciones para su uso. Implica zonas de recuperación ecológica para el restablecimiento de las condiciones que garantizan la evolución y continuidad de los procesos naturales de aquellos espacios que por haber sido afectados por fenómenos naturales o por explotaciones y aprovechamientos agrícolas no regulados y descontrolados, han ocasionado un deterioro en la vegetación.	Usos de conservación y recuperación ecológica como: 1. Uso agrícola y aprovechamiento sustentable del suelo. 2. Actividades de reforestación y recuperación de áreas degradadas. 3. Vigilancia y guardería ambiental.
Zona de Protección Integral de Bosques y Aguas	Incorpora lo establecido en la normativa legal vigente de la Ley de Aguas y la Ley de Bosques, las cuales definen las zonas protectoras de bosques y aguas. Se ubican a 25 m de los cauces de los cursos de agua y 300 m en línea paralela a las filas de las montañas.	Uso protector para los cuerpos de agua y bosques según lo establecido por la Ley de Aguas y la Ley de Bosques.
Zona de Protección y Conservación Ecológica	Se corresponde con áreas naturales protegidas bajo la figura de ABRAE, ubicada en la unidad del Parque Nacional Sierra de La Culata. Esta zonificación responde directamente con la categoría de manejo definida en la normativa vigente, la cual otorga las regulaciones pertinentes. En ese sentido estas zonas están destinadas a la protección y conservación ecológica de estos espacios dada su fragilidad e importancia natural.	1. Uso Protector. 2. Actividades de investigación científica y educación ambiental. 3. Excursionismo y senderismo. 4. Vigilancia y guardería ambiental. 5. Desarrollo de actividades turísticas de bajo impacto ambiental (Ecoturismo).
Zona de uso Restringido	Comprenden áreas que son afectadas por variables morfoestructurales que restringen el uso urbano y que han sido ocupadas por algunos usos residenciales no planificados y algunas actividades agrícolas, entre mezclados con bosques intervenidos y algunos matorrales.	Infraestructura urbana de usos residenciales unifamiliares aislados y planificados, así como infraestructura de apoyo para algunas actividades agrícolas, compatibles con el ambiente.
Zona de uso Residencial	Comprende espacios estructurados por edificaciones de diferentes tipos de carácter urbano destinados al uso residencial, ubicadas dentro de la poligonal establecida.	Infraestructuras para el uso urbano residencial.
Zona de Expansión Urbana (Densidades Altas - Medias)	Está representada por áreas con algunos espacios vacantes que pueden ser urbanizados, pero que por la presencia de niveles de sensibilidad alta se recomienda densidades medias-altas de población máxima bruta.	Infraestructuras para el uso urbano compatibles con el ambiente con densidades máximas brutas medias – altas.
Zona de Expansión Urbana (Bajas)	Está representada por áreas con algunos espacios vacantes que pueden ser urbanizados, pero que por la presencia de niveles de sensibilidad baja se permiten densidades de población máxima bruta bajas.	Infraestructuras para el uso urbano compatibles con el ambiente con densidades máximas brutas bajas.
Zonas de Equipamientos Especiales (Cementerio)	Incluye el espacio ocupado por el cementerio "La Inmaculada" dentro del área urbana, destinado a prestar un servicio especial de tipo religioso.	Infraestructura de uso urbano (cementerio).
Zona de Uso Industrial y Comercial	Corresponde a áreas que poseen una infraestructura urbana dedicada al uso industrial y comercial, presentan condiciones potenciales para su localización, con una adecuada accesibilidad vial para la movilización de bienes y servicios.	Infraestructuras para el uso urbano industrial y comercial compatibles con el ambiente.
Zonas para el Uso Turístico y Recreacional	Caracteriza por presentar una infraestructura urbana del tipo turístico y recreacional, representado por conjuntos hoteleros y clubs destinados a la recreación y el alojamiento de los turistas.	Infraestructura urbana de uso turístico y recreacional.

Conclusiones

La metodología planteada para la Zonificación Ecológica – Económica (ZEE) permitió llegar a las siguientes conclusiones:

La Zonificación Ecológica – Económica de la microcuenca desarrollada, está fundamentada sobre la base de que los procesos de ocupación del territorio en las cuencas hidrográficas, se caracterizan por ser dinámicos, lo que hace que la misma no sea un resultado estático, por lo que debe ser revisado y actualizado cada vez que se produzcan cambios significativos o se implementen planes o programas que impliquen modificaciones en las condiciones de uso del área. En tal sentido resulta válido decir que las distintas zonas propuestas con esta metodología dependen en gran medida de las condiciones propias existentes en cada unidad hidrográfica y de la evolución y dinámica de éstas.

Una de las ventajas de la metodología propuesta para la zonificación de la microcuenca, es que utiliza un modelo práctico y de fácil aplicación orientado a la consecución de los objetivos planteados que facilitan la interpretación y el análisis de la realidad, en comparación con otras metodologías que hacen uso de un mayor número de variables y que ameritan una mayor experiencia y conocimiento por parte del planificador o investigador.

El presente estudio permite incorporar una variable nueva referida al análisis de sensibilidad ambiental, lo que resulta en una metodología que va más allá de considerar el uso actual y potencial, sino que también toma en consideración el potencial de afectación que puede sufrir un área determinada dentro de la microcuenca en función de factores y restricciones, que indican la posibilidad de uso de un territorio de acuerdo al nivel de alteración que pueden sufrir los componentes físico-naturales y socioeconómicos que caracterizan al área de estudio.

Por último cabe mencionar, que el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituyen una herramienta fundamental para la aplicación de la metodología de zonificación desarrollada, ya que permiten un manejo fácil y adecuado de la información, al integrar las distintas capas de datos que contienen la información base, todo esto puede traducirse en una ventaja a la hora de requerirse modificaciones o adaptaciones para poder preverse o construir otros escenarios deseables o probables.

Bibliografía

- [Ataroff y Sarmiento, 2003] Ataroff, M y Sarmiento, L. 2003. *Diversidad en los Andes de Venezuela*. ICAE. Mérida.
- [Ley de Aguas, 2007] Ley de Aguas. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nro. 38.595. Enero 2, 2007.
- [Ley de Bosques, 2013] Ley de Bosques. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela Nro. 40.122. Septiembre 6, 2013.
- [Plan de Ordenamiento del Parque Nacional Sierra de la Culata] Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso del Parque Nacional Sierra de la Culata. (Decreto No 670). (1995, Mayo 10). Gaceta Oficial de La República de Venezuela, 4.907 (Extraordinario). Mayo 26, 1995.
- [Plan de Ordenamiento de Uso de la Zona Protectora de la Cuenca del Río Albarregas] Plan de Ordenamiento y Reglamento de Uso de la Zona Protectora de la Cuenca del Río Albarregas (Decreto No 13.221). (1999, Enero 13). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, 5.305 (Extraordinario). Febrero 1, 1999.
- [Plan de Ordenamiento Urbano del Área Metropolitana de Mérida - Ejido - Tabay, 1999] Plan de Ordenamiento Urbano del Área Metropolitana de Mérida - Ejido - Tabay. Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 5.303 (Extraordinario). Enero 08, 1999.
- [Ponce, 1998] Ponce, R. 1998. *Zonificación ecológica-económica: una propuesta metodológica para la Amazonia*. Secretaría Pro Tempore, FAO. Caracas. 5p.
- [Ramírez, 2010] Ramírez, N. 2010. *Aplicación de la percepción remota y los sistemas de información geográfica para la zonificación de áreas susceptibles a los movimientos en masa. Caso: terraza de Mérida y sus alrededores*. Monografía de Especialización en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, INPE. Santa María. Brasil.
- [Sandia y Henao, 2001] Sandia, L. y Henao, A. 2001. *Sensibilidad ambiental y sistemas de información geográfica*. Ponencia presentada en el 8avo Encuentro de geógrafos de América Latina. Santiago de Chile.
- [Saaty, 1977] Saaty, T. 1977. *Un método de escalamiento para prioridades en estructuras jerárquicas*. Diario escandinavo de Investigación Forestal.